

Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära
Examensarbete TVIT-5069
Lund 2019

Klimatpåverkan av energi- effektiviseringsåtgärder i samverkan med installation av solceller

- En LCA-studie av ett nära-nollenergihus

Lisa Krasniqi
Elif Rahman



LUNDS
UNIVERSITET

Klimatpåverkan av energieffektiviseringsåtgärder i samverkan med installation av solceller

- En LCA-studie av ett nära-nollenergihus

Lisa Krasniqi
Elif Rahman

Examensarbete

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

© Lisa Krasniqi och Elif Rahman

ISRN LUTVDG/ TVIT-5069
Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00

Sammanfattning

Från år 2021 ska alla nybyggnationer i Europa vara nära-nollenergibyggnader. Detta innebär att byggnaders energianvändning bör vara låg och i mycket hög grad tillförs i form från förnybara energikällor som produceras på plats eller i närheten. Syftet med de höga energikraven är att påskynda takten för att skapa ett mer energieffektivt byggande. Den minskade energianvändningen tillsammans med en ökad användning av förnybar energi medför en lägre klimatpåverkan.

Byggsektorn står för en betydande del av växthusgasutsläppen, cirka 33 procent av de globala koldioxidutsläppen har en direkt koppling till byggsektorn. Ett långsiktigt utsläppsmål, beslutat av riksdagen, innefattar att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären.

I arbetet har en teoristudie utförts för att ge kunskap och förståelse om livscykelanalys, solcellsteknik och energieffektiviseringsåtgärder. Ämnesområdena ger en grund till att utföra arbetets fallstudie. I fallstudien har en 2 plans nära-nollenergivilla projekterad av Karin Petterssons Arkitektbyrå AB utretts. Husets solpaneler, integrerade i taket, ska med egenproducerad el täcka det årliga energibehovet. Hur typhuset kan energieffektiviseras med tre olika åtgärder undersöks med energiberäkningar. Förutom villans energianvändning är en undersökning av energieffektiviseringsåtgärdernas klimatpåverkan central. Med hjälp av Byggsektorns Miljöberäkningsprogram (BM1.0) har en livscykelanalys gjorts som studerar och jämför de olika åtgärdernas globala uppvärmningspotential i [kg CO₂e]. Det vill säga hur mycket koldioxidekvivalenter som besparas genom minskad elproduktion av husets solpaneler på årsbasis.

Av de energiåtgärder som undersökts påvisas det i resultatet att en minskning av typhusets isoleringstjocklek är lämplig att göra. Rapportens resultat indikerar även att solpaneler har en låg klimatpåverkan i jämförelse med energieffektiviseringsåtgärderna. Typhusets övriga konstruktionsdelar bör, för att uppnå den lägsta klimatpåverkan, bevaras enligt ursprungskonstruktion.

Abstract

From year 2021, all new buildings in Europe will be net zero-energy buildings. This means that the building's energy is supplied from renewable energy sources that are produced on site or nearby. The purpose of the high energy requirements is to accelerate the pace of creating more energy-efficient constructions. The reduced energy consumption, together with increased use of renewable energy, will result in a lower climate change.

The building sector accounts for a significant part of greenhouse gas emissions. About 33 percent of global carbon dioxide emissions have a direct link to the building sector. A long-term emission goal, decided by the parliament, includes that by year 2045, Sweden shall not emit any net emissions of greenhouse gases to the atmosphere.

In the thesis, a theory study has been carried out to provide knowledge and understanding of life cycle assessment, solar cell technology and energy efficiency measures. The subject areas provide a basis for performing the case study of the work. The case study has been carried out to investigate a 1.5-house net zero-energy villa designed by Karin Pettersson's Arkitektbyrå AB. The house's solar panels, integrated in the ceiling, should with their own produced electricity cover the annual energy requirement. How the type house can be made more energy efficient with three different measures is examined with energy calculations. In addition to the villa's energy use, a study of the energy efficiency measures' climate impact is central. With the help of Byggsektorn Miljöberäkningsprogram (BM1.0), a life-cycle analysis is done that studies and compares the global warming potential of the various measures in [kg CO₂e]. Thus, how much carbon dioxide equivalents are saved through reduced electricity production of the house's solar panels on an annual basis.

From the energy measures that have been investigated, it is shown in the result that a reduction of the type house's insulation thickness is suitable. The report's results also indicate that solar panels have a low climate impact compared to the energy efficiency measures. The other construction parts of the house should be preserved according to the original design in order to achieve the lowest climate impact.

Förord

Detta examensarbete på 22,5 hp, som skrivs på avdelningen för Installations- och klimatiseringslära, är den avslutande delen i vår utbildning till Högskoleingenjör inom Byggt teknik med arkitektur på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet är utfört i samarbete med Karin Petterssons Arkitektbyrå AB under vårterminen 2019. Arbetet ska ge en inblick i vilka ändringar som kan utföras på ett av deras projekterade typhus. Förändringarna ska stå till grund för att energieffektivisera huset samt minska dess miljöpåverkan.

Först vill vi tacka vår handledare Karin Farsäter Doktorand vid Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära för goda råd, synpunkter och vägledning under arbetets gång. Vi vill även ge ett stort tack till Fredrik Lindblom på Karin Petterssons Arkitektbyrå AB för all hjälp och förtroendet att få göra vårt examensarbete hos er. Ett stort tack riktas även till examinatorn Åsa Wahlström adjungerad professor som bistått med sin expertis inom ämnet energianvändning och energieffektivitet i byggnader.

Slutligen vill vi tacka de personer som avlagt tid för att svara på frågor och funderingar kring arbetet.

Helsingborg i juni 2019
Elif Rahman och Lisa Krasniqi

Terminologi

A_{temp}	Tempererad golvarea.
Byggnadens energianvändning	Den energi som vid normalt brukande under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi).
Byggnadens specifika energianvändning	Byggnadens energianvändning fördelat på A_{temp} uttryckt i kWh/(m ² år). Hushållsenergi räknas inte med.
Elmix	Ett land som producerar el från olika källor så som kol, vind, vatten och kärnkraft har en elmix. Begreppet kan även användas på större skalor som nordisk elmix och europeisk elmix.
Energiprestanda	Ett mått på den energi som går åt till uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och för byggnadens fastighetsel. Anges som byggnadens primärenergital.
Energiåterbetalningstid	Anger hur lång tid det tar att generera motsvarande mängd energi som används vid tillverkning, transport och drift. För solceller är den ca 3-5 år i Sverige.
Emissioner	Utsläpp av miljö- och hälsoskadliga ämnen som påverkar miljön.
EPD	Miljövarudeklaration eller Environmental Product Declaration (EPD) är ett obundet dokument som redovisar tydlig och jämförbar information om produkters miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv.

Förnybar energi	Förnybar energi har sitt ursprung i källor som förnyas i snabb takt. Exempel på förnybar energi är vattenkraft, vindkraft, solenergi och bioenergi.
Funktionell enhet	En referensenhet på det som är syftet med arbetet. Är syftet att producera el kan enheten vara 1 kWh elenergi, är det att bygga bostäder kan det vara m ² boyta.
GWP	Global uppvärmningspotential, GWP, är ett mått på hur mycket koldioxidekvivalenter som släpps ut.
Inmatningstariff	El som produceras av en solpanelsanläggning, som matas in i elnätet och ersätts med ett fördefinierat pris.
ISO	Internationella standardiseringsorganisationen som arbetar med att ta fram industriell och kommersiell standardisering.
Klimatfotspår	En tjänst/produkts totala utsläpp av alla växthusgaser.
Koldioxidekvivalenter (CO ₂ e)	För att kunna jämföra olika växthusgaser med varandra räknas de om till koldioxidekvivalenter (e står för ekvivalent).
LCA	Livscykelanalys (Life Cycle Assessment) är en metod som används för att räkna ut en produkts eller tjänsts miljöpåverkan under dess livscykel, det vill säga från råvara till återanvändning, återvinning eller avfall.

Lågenergihus	Lågenergihus är ett samlingsbegrepp för olika typer av byggnader som använder mindre energi än vad byggnormerna (BBR) kräver.
Klimatpåverkan	I examensarbetet definieras klimatpåverkan som den globala uppvärmningspotentialen i [kg CO ₂ e].
Kristallina kiselcell	Benämns vidare som monokristallina eller polykristallina. Monokristallina kiselceller tillverkas av en kiselkristall och polykristallina av flera kristaller.
Nära-nollenergihus	Enligt energiprestandadirektivets definition är det en byggnad med hög energiprestanda. Nära nollmängden eller den låga mängden energi som krävs bör i hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor som produceras på plats eller i närheten.
Primärenergital	Ett mått på byggnadens energiprestanda.
Solpanel	Flera solceller som är sammankopplade.
Wattpeaks (Wp)	Solceller mäts i wattpeaks (Wp). En wattpeak indikerar hur mycket energi solceller genererar när det fungerar som bäst.
U-värde (W/m ² °C)	Värmegenomgångskoefficienten (U) är en egenskap som anger hur väl en byggnadsdel eller byggnadsmaterial isolerar. Det vill säga ett mått på hur mycket värme som passerar genom en kvadratmeter av materialet vid en specifik temperatur.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract.....	ii
Förord	iii
Terminologi	v
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Frågeställning.....	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Metodval	3
2 Teori	5
2.1 Nära-nollenergihus enligt Boverket.....	5
2.2 Livscykelanalys.....	6
2.2.1 Miljövarudeklaration (EPD).....	7
2.3 Solcellsteknik.....	8
2.3.1 Kristallina kiselceller och dess klimatpåverkan	8
2.3.2 Kristallina kiselcellers klimatavtryck i Sverige enligt Svensk Solenergi	10
2.3.3 Solcellers klimatpåverkan i kg CO ₂ e/Atemp och år	11
2.3.4 Orienteringen och lutningens betydelse för elproduktion	12
2.3.5 Ekonomi och lönsamhet	12
2.3.6 Regelverk gällande solceller	13
2.4 Energieffektiviseringsåtgärder	14
2.4.1 Utredning av isoleringstjocklek i klimatskalets ytterväggar	14
2.4.2 Koljernteknik och platta på mark	15
2.4.3 Värmetröga byggnader.....	15
2.4.4 Till- och frånluftssystem med återvinning.	16
3 Metod	17
3.1 Teoristudie	17
3.2 Funktionell enhet	17
3.3 Fallstudie.....	17
3.3.1 Förutsättningar	18
3.3.2 Nära-nollenergihus	18
3.3.3 Energiberäkning	19
3.3.4 Beräkning av solinstrålning och solelproduktion.....	20
3.3.5 LCA-studie.....	20
3.3.6 Monokristallina kiselceller	21
3.3.7 Energieffektiviseringsåtgärder	21
3.3.7.1 Isoleringstjocklek	21
3.3.7.2 Grund av foamglas eller platta på mark.....	22
3.3.7.3 Våtrummetts anslutande innerväggar	23
3.3.7.4 Tillvägagångssätt vid beräkning.....	24

4	Resultat	29
4.1	Monokristallina kiselsolceller	29
4.1.1	Klimatpåverkan	29
4.1.2	Solsystemets effektförlust	29
4.1.3	Solpanelens toppeffekt samt dess årliga elproduktion	30
4.2	Energieffektiviseringsåtgärder	31
4.2.1	Utredning av isoleringstjocklek i klimatskalets ytterväggar	31
4.2.1.1	Typhusets isolering i ytterväggen.....	31
4.2.1.2	Tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm.....	34
4.2.1.3	Tillägg av ett isoleringsskikt på 70 mm.....	35
4.2.1.4	Tillägg av ett isoleringsskikt på 95 mm.....	37
4.2.1.5	Reduktion av ett isoleringsskikt på 50 mm	39
4.2.1.6	Sammanfattning.....	40
4.2.2	Utredning av grund	41
4.2.2.1	Foamglasgrund	41
4.2.2.2	Platta på mark	43
4.2.2.3	Reviderad platta på mark.....	44
4.2.2.4	Sammanfattning.....	46
4.2.3	Innerväggar	47
4.2.3.1	Innerväggar enligt ursprungskonstruktion.....	47
4.2.3.2	Innerväggar i anslutning till våtrum av betong.....	49
4.2.3.3	Sammanfattning.....	51
4.2.4	Sammanfattning av energieffektiviseringsåtgärder	52
5	Diskussion	55
6	Slutsats	59
	Referenser	61
	Bilagor.....	67
	Bilaga A – Typhuset och dess planlösning	67
	Bilaga B - Detaljplan	68
	Bilaga C – EPD: Electricity generated in photovoltaic power plant	69
	Bilaga D - Information om solpaneler	70
	Bilaga E - Indata från PVGIS	71
	Bilaga F - Isoleringstjocklek 220 mm.....	72
	Bilaga G - Tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm	73
	Bilaga H - Tillägg av ett isoleringsskikt på 70 mm	74
	Bilaga I - Tillägg av ett isoleringsskikt på 95 mm.....	75
	Bilaga J - Reduktion av ett isoleringsskikt på 50 mm	76
	Bilaga K - Foamglasgrund.....	77
	Bilaga L - Platta på mark	78
	Bilaga M - Reviderad platta på mark.....	79
	Bilaga N - Innerväggar enligt ursprungskonstruktion	80
	Bilaga O - Innerväggar i anslutning till våtrum av betong	81

1 Inledning

Följande kapitel innehåller arbetets bakgrundsbeskrivning, syfte och mål med tillhörande frågeställning samt avgränsningar som är antagna i studien.

1.1 Bakgrund

Från och med år 2020 ska alla nya byggnader i Europa vara nära-nollenergibyggnader (Boverket, 2015a). ”En nära-nollenergibyggnad definieras enligt Energinämnadirektivet som: ”En byggnad som har mycket hög energiprestanda... . Nära nollmängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten.” (European Parliament, Council of the European Union 2010). Avsikten med de höga energikraven är att pådriva takten för att skapa ett allt mer energieffektivt byggande i Europa. En ökad användning av förnybar energi och en minskad energianvändning medför en lägre klimatpåverkan (Boverket, 2015a).

År 2050 förväntas världens energianvändning fördubblas och till år 2100 tredubblas. Bland flera olika förnyelsebara energikällor så värderas solenergi som det mest lovande alternativet för att möta det framtida energibehovet. Det beror på att den mängd solljus som träffar jordens yta beräknas vara omkring 6000 gånger större än den mängd energi som konsumeras av människors aktivitet idag. Intresset för att utveckla effektiva solceller, förutom att lösa framtida energibehov, drivs även av dess möjlighet att bemöta problematik kring fossila bränslen, kärnkraft och global uppvärmning (Chen, R., & Persson, C. 2017).

I förstudien *klimat- och miljöanpassade byggregler* skriven av Boverket fastställs att bygg- och fastighetssektorn står för en betydande del av samhällets klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv (Boverket, 2018a). År 2016 svarade sektorn för utsläpp av växthusgaser på cirka 12,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter i Sverige. Det här motsvarar ungefär 21 % av de totala växthusgasutsläppen. Utöver det har cirka 33 % av de internationella koldioxidutsläppen en direkt koppling till byggsektorn (Boverket, 2015b). Sektorn bidrar även med utsläpp på cirka 8,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter utomlands via importvaror (Boverket, 2019a). Ett långsiktigt utsläppsmål, beslutat av riksdagen, innefattar att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. För att målet ska kunna nås behöver bygg- och fastighetssektorn göra sitt bidrag (Boverket, 2019b).

Ett förslag från Boverket är att år 2020 ska livscykelperspektivet vara en utgångspunkt för all ny- och ombyggnation (Boverket, 2018a). Analyser av problem ur ett livscykelperspektiv kan ge beslutsunderlag så att problemförflyttning och suboptimering undviks. Beroende på produkterna och systemets utformning uppstår olika mil-

jötpåverkan under faserna i en livscykel. Genom att jämföra olika produkter som uppfyller samma funktion med hjälp av en livscykelanalys, kan det alternativ som ger lägst belastningen väljas (Rydh, Lindahl och Tingström 2002, 31)

Livscykelanalys, LCA, är en metod som används för att räkna ut en produkts eller en tjänsts miljöpåverkan under dess livscykel, det vill säga från råvara till återvinning, återanvändning eller avfall. De skeden som ingår i en byggnads livscykelanalys är produktskedet, byggproduktionsskedet, användningsskedet och slutskedet (Boverket, 2019c). Däremot konstaterades det i en utredning gjord av Boverket att drivkraften i Sverige är liten för att kunna tillämpa livscykelberäkningar i syfte att minska byggandets miljöpåverkan (Boverket, 2018a). Det här då det föreligger en brist på kunskap gällande livscykelanalys som ett verktyg för att kunna analysera bygg- och fastighetssektorns påverkan på miljön (Boverket, 2018b).

1.2 Syfte och mål

Arbetets syfte är att undersöka det mest effektiva förfarandet för att minska påverkan på klimatet när olika energieffektiviseringsåtgärder ställs mot att installera solceller. Arbete kommer därmed granska klimatpåverkan av olika konstruktionslösningar där energianvändning och materialval inkluderas. Resultatet av LCA-analyserna kommer göra det möjligt att analysera vilken åtgärd som är mest lämplig för att minimera den globala uppvärmningspotentialen.

1.3 Frågeställning

- Vilka energiåtgärder för typhusets isoleringstjocklek, grundkonstruktion och innerväggar bidrar till en mindre klimatpåverkan?
- Ger energieffektiviseringsåtgärder mindre klimatpåverkan än installation av solceller?

1.4 Avgränsningar

- Avgränsningar kring byggmaterial för livscykelanalysen görs enligt IVL:s resursregister i Byggsektorns Miljöberäkningsprogram (BM1.0).
- Arbetet begränsas till att hantera ett fristående 2 plans nollenergivilla.
- Typhusets takytor vetter mot norr och söder.
- Solpanelerna som studeras är från tillverkaren SoliTek av modellen "SOLID SOLRIF M.
- Solel som produceras av de installerade solpanelerna ska täcka villans energianvändning på en årsbasis. Solelen ska användas under samma timma i villan. De månader där överskottsproduktion sker ska solelen säljas och under de månader där solelproduktionen är för låg kommer el köpas från elnätet. Vid beräkning av klimatpåverkan beaktas enbart CO₂e-belastningen från solcellsanläggningen. Det vill säga den el som säljs har samma CO₂e-belastning som den som köps tillbaka under ett år.
- FTX-system ska installeras där luftburet värmesystem används.

1.5 Metodval

För att besvara arbetets frågeställningar har en fallstudie genomförts, det vill säga en studie av ett specifikt fall. Denna typ av studie fungerar bra för småskaliga utredningar som möjliggör djupdykning inom ämnet (Denscombe 2014). En kvantitativ analys har gjorts genom att på ett systematiskt sätt insamla kvantifierbar och empirisk data (Nationalencyklopedin 2019). Detta har gjorts med hjälp av datorverktygen Strusofts energiberäkningsprogram VIP-Energy och Byggsektornsmiljöberäkningsverktyg. Datainsamlingen kommer att ligga till grund för rapportens resultat.

2 Teori

I följande kapitel presenteras den teoretiska ramen som ligger till grund för studien. Teoridelen är uppdelad i livscykelanalys, solceller samt energieffektiviseringsåtgärder.

2.1 Nära-nollenergihus enligt Boverket

Energiprestanda direktivet är ett EU-direktiv framtaget av Energy Performance of Building Directive (EPBD) som funnits sedan 2002 (Boverket, 2018c). I direktivet ställs kravet att alla nya byggnader år 2020 ska vara nära-nollenergibyggnader (Energi & Klimatrådgivningen, 2016). EPBD har i Sverige implementerats i bland annat BBR där Boverket ansvarar för föreskrifterna gällande energihushållning. Under våren 2018 omarbetades EU-direktivet om byggnaders energiprestanda och Sverige fick 20 månader på sig att införa direktivets krav i svenska regler (Boverket, 2018c).

I Boverkets byggregler BBR, avsnitt 9 Energihushållning, infördes regler gällande nära-nollenergi (Boverket, 2018d). För att kunna bedöma en byggnads energiprestanda infördes specifik energianvändning. Den 1 juli 2017 omarbetade Boverket avsnitt 9 och en ändring gjordes som innebar att metoden för att bedöma en byggnads energiprestanda ändrades från specifik energianvändning till primärenergital. Detta skulle börja gälla den 1 januari 2019 och fram tills dess kunde både specifik energianvändning och primärenergital användas. Kravnivåerna för de olika metoderna är ungefär densamma, skillnaden låg främst i hur en byggnads energiprestanda beskrevs. Primärenergifaktorer för olika energislag valdes, vid ändringen till primärenergital, så att de motsvarar de krav som gällde enligt metoden för specifik energianvändning (Boverket, 2018e). Tabell 9:2a i avsnitt 9 som framgår av BFS 2018:4 – BBR 26 beskriver det högsta tillåtna primärenergitalet för olika bostäder (Boverkets författningssamling, 2018).

Tabell 9:2a: Högsta tillåtna primärenergital, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage, för småhus, flerbostadshus och lokaler.

	Energiprestanda uttryckt som primärenergital (EP_{pet}) [kWh/m ² A_{temp} och år]	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) [W/m ² K]	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus	90	4,5 + $1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1)^{1)}$	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A_{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	85 ⁴⁾	4,5 + $1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1)^{1), 5)}$	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokaler	80 ²⁾	4,5 + $1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1)^{1), 3)}$	0,60	Enligt avsnitt 9:26
Lokal där A_{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6

Begreppet nära-nollenergibyggnad, som kommer från energiprestandadirektivet, är även infört i svenska regler genom 3 kap. 14 § PBF. Regelverket om energideklarerationer i föreskrifter, förordningar och i lagar samt regelverket för nya byggnader i BBR, PBL och PBF är anpassade efter energiprestandadirektivets krav. Det vill säga att EU:s krav på nära-nollenergibyggnader uppfylls genom att följa svenska regler och svensk lagstiftning (Boverket, 2018e).

2.2 Livscykelanalys

Intresset för och användandet av livscykelanalyser växte fram i början av 1990-talet. Från att endast granska material- och energiflöden, utvecklades metoden vidare till att även bedöma miljöpåverkan för att kunna identifiera viktiga miljöaspekter. Under samma årtionde påbörjade International Organization for Standardization (ISO) arbetet med att skapa en standardiserad beskrivning av livscykelanalysmetodiken, ISO 14040-serien. Den standardiserade metoden ISO 14040:2006 beskriver processen att genomföra en LCA (Rydh, Lindahl och Tingström 2002, 35).

Livscykelanalys (LCA) är som tidigare nämnt en metod för att beräkna en produkts eller en tjänsts miljöpåverkan under dess hela livscykel. Analysen omfattar råvaruutvinning, tillverkningsprocesser, användning eller drift samt avfallshantering. I detta inkluderas även samtliga transporter och all energiåtgång i varje led (Boverket, 2019c).

I en byggnads livscykelanalys ingår följande skeden: produktskedet, byggproduktions-skedet, användningsskedet och slutskedet (Tabell 1). I en LCA är det viktigt att alla kända miljöaspekter beaktas för att kunna beräkna bidraget till flera så kallade miljöpåverkanskategorier, såsom klimatpåverkan, marknära ozon, giftfri miljö samt försurning (Erlandsson, M. et al 2013).

Tabell 1: En produkts eller tjänsts livscykel uppdelat i skeden och informationsmoduler (Källa: Erlansson, M. 2018)

A Byggskedet					B Användningsskedet							C Slutskedet			
A1-3 Produktskedet			A4-5 Byggproduktionsskedet												
Råvaruutvinning	Transport	Tillverkning	Transport	Bygg- och installationsprocessen	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Ombyggnad	Driftenergi	Driftens vattenanvändning	Demontering	Transport	Restprodukthantering	Bortskaffning
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4

Att använda LCA som ett verktyg för att styra mot byggnader med så låg miljöpåverkan som möjligt under dess livscykel, har under 20 år betonats som avgörande för att minska bebyggelsens påverkan på miljön. Inom byggsektorn har syftet, utöver minskad miljöpåverkan, varit att öka kunskapen hos branschens aktörer. Målet är att höja och effektivisera nyttjandet av produkter och material som över tid kan ge ekologisk, ekonomiska och social nytta (Malmqvist, T., & Erlandsson, M. 2017).

2.2.1 Miljövarudeklaration (EPD)

Miljövarudeklaration eller Environmental Product Declaration (EPD) är ett obundet dokument som redovisar tydlig och jämförbar information om produkters miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv (Environdec, 2019). Informationen i en EPD är baserad på en livscykelanalys av produkten och ger produktspecifik miljöinformation. En EPD är därför en viktig datakälla vid utförandet av en LCA för en byggnad (Boverket, 2019d).

2.3 Solcellsteknik

Naturvårdsverket skriver om FN:s klimatpanels fjärde rapport och Stern-rapporten som berör de stora riskerna med klimatförändringar (Naturvårdsverket, 2010). Detta har till följd ökat intresset för förnybara energikällor. För alla sektorer utom transportsektorn gäller den svenska regeringens mål att till år 2020 ska 50 % av energikällorna vara förnybara (Naturvårdsverket, 2010). Bland flera olika förnyelsebara energikällor så värderas solenergi som det mest lovande alternativet för att möta det framtida energibehovet (Chen, R., & Persson, C. 2017). Det beror på att solinstrålningen står för det största förnybara energiflödet på jorden, med ett flöde som motsvarar cirka 5–10 000 gånger den nuvarande globala energianvändningen. Instrålningen kan användas för att generera värme eller producera el. På grund av Sveriges nordliga läge kan endast hälften så mycket solinstrålning tas emot jämfört med de länder där instrålningen är som högst. Det här medför att det ställs betydligt högre krav på de tekniker som används för att de ska bli ekonomiskt konkurrenskraftiga. I dagsläget finns det två huvudsakliga tekniker för att producera el med hjälp av solenergi. Den ena tekniken är solceller i vilka man fångar in de fotoner som utgör solstrålningen för att sedan omvandla dessa till el. Den andra tekniken använder speglar för att lagra strålarna som sedan används för att producera en värmegradient som kan driva elgeneratorer som i sin tur genererar el. Tekniken är dock inte lämplig att använda i Sverige på grund av den låga solinstrålningen (Naturvårdsverket, 2010).

Den huvudsakliga strukturen hos en solcell är en ställning som en modul sedan monteras på. Mer ingående fungerar solcellsteknik på så sätt att solens strålar tas tillvara för att skapa en elektrisk spänning mellan solcellens fram- och baksida. En ledning är kopplad mellan framsidan och baksidan som från den elektriska spänningen bildar likström. En så kallad växelriktare som omvandlar likström till växelström används när elen ska förbrukas i en fastighet. Genom att sätta ihop solceller skapas större anläggningar kallade solpaneler, en normal placering för dessa är på fastighetens tak eller fasader (Vattenfall, 2019a). Vidare definieras el producerat av solen som solel eller solkraft. Solel innebär den el som hushåll själv kan framställa och solkraft är den el som köps via elhandelsbolag (Vattenfall, 2019b).

2.3.1 Kristallina kiselceller och dess klimatpåverkan

Oberoende tillvägagångssätt ger all framställning av energiupphov till en viss klimatpåverkan. Vid jämförelse med el producerat av fossila bränslen konstateras det att solel har en väsentligt mindre påverkan (Energimyndigheten, 2018a). Bland dagens olika solcellsteknologier är typerna kristallina kiselceller och tunnfilmsceller de två grundläggande. Kristallina kiselceller är den ledande tekniken på marknaden med mer än 90 % av marknadsandelarna 2017 (Chen, R., & Persson, C. 2017). Beroende på vilket typ av system som används kan solceller framställa mellan 50 till 150 kWh elektricitet per kvadratmeter och år. År 2017 var den installerade effekten från solceller ungefär 231 MW vilket är 65 % högre jämfört med 2016 (Naturskyddsföreningen, 2011).

Solcellernas huvudsakliga klimatpåverkan sker vid tillverkning där energiåtgång och materialval utgör de största delarna. Majoriteten av världens solcellsproduktion sker idag i Kina. I deras tillverkningsprocess av solceller används bland annat kol som energikälla, vilket bidrar till en ökad klimatpåverkan. Vid beräkning av solcellernas bidrag till utsläpp är därför information som var de framställs och vilken energi som använts vid tillverkning viktig (Energimyndigheten, 2018a). Fler faktorer som gruvarbete, transport, drift, avveckling och återvinning eller kassering av solceller har sin inverkan på solcellernas totala klimatfotspår (Thyselius 2018).

I ett examensarbete gjord vid Kungliga Tekniska Högskolan undersöktes en solcellsanläggning ur ett livscykelperspektiv. Resultatet i studien visar att den mest koldioxid-mässigt belastade processen under solcellsanläggningens livscykel är produktion av det kristallina kisel som används i solcellerna. Detta beror på att kisel framställs från kisel-dioxid som är en energikrävande process (Raouz, K 2017). Trots den energikrävande processen uppges kisel-solceller idag ha en energiåterbetalningstid på 3 till 5 år och en livslängd på 25 till 30 år, det här gäller även vid lägre solinstrålning. Dagens solceller antas generera minst 4 till 6 gånger så mycket energi jämfört med vad som krävs vid tillverkningen (Naturskyddsföreningen, 2011). Förutom kisel används metaller som koppar, silver och dopningsmaterial vid tillverkning av kisel-solceller. Malmbrytningen av koppar och silver samt metallproduktionen kan ge emissioner i form av lakvatten från slagghögar innehållande metaller. Vid produktion av kristallina kiselceller används lösningsmedel och vid montering av solcellerna krävs normalt en ställning som produceras av stål eller aluminium. På samma sätt bidrar dessa metaller till utsläpp från slagghögar (Naturvårdsverket, 2010).

Utan hänsyn till att solenergi är den snabbast växande energikällan i världen saknar majoriteten av alla länder en plan för vad som ska göras med solpanelerna när de slutat fungera. År 2016 uppskattade Renewable Energy Agency att det fanns 250 000 ton kasserade solpaneler runt om i världen. År 2050 beräknas antalet komma att växa till 78 miljoner ton. I Sverige räknas avfall av solpaneler in i Weee-direktivet (EU-nivå) som hanterar elektroniskt avfall. Enligt Linda Kaneryd, handläggare på Energimyndigheten, innebär direktivet att återförsäljare på den svenska marknaden måste teckna ett avtal med ett insamlingssystem som är godkänt av Naturvårdsverket. Vidare berättar hon att man inte återvinner solpaneler separat, det man tar hand om är glaset och aluminiumramen. De sällsynta jordartsmetaller som finns i panelerna återvinns inte i dagsläget (Rosengren 2018).

Dr. Ronghzen Chen och Dr. Clas Persson för Advanced Science News skriver i sin artikel att forskare föreslagit nya potentiella material för solceller som bland annat är giftfria och billiga. En lyckad applicering på solceller hade inneburit att mindre råvaror behöver användas vid tillverkning utan att effekten försämras (Chen, R., & Persson, C. 2017).

2.3.2 Kristallina kiselsolcellers klimatavtryck i Sverige enligt Svensk Solenergi

Solcellsanläggningar har inga direkta koldioxidutsläpp när anläggningen är färdiginstallerad och producerar el. Detta är en viktig aspekt som måste beaktas när klimatavtrycket för soler diskuteras. Det huvudsakliga utsläppet av växthusgaser sker vid tillverkning av komponenterna i en solcell där majoriteten av en solcells klimatavtryck ligger i den el som används vid tillverkning. I Kina, där flest solceller produceras, används mycket kol i kraftverken vid tillverkning. I en livscykelanalys inkluderas därmed utsläppen från kolkraftverken (Svensk Solenergi, 2018).

Det genomsnittliga utsläppet till följd av soler uppskattades i en vetenskaplig artikel publicerad i Nature Communications (Louwen, A. et al. 2016) till mellan 20 och 25 g CO₂/kWh år 2016. Resultatet baserades på att solcellstillverkningen sker i Kina och en solinstrålning på 1 700 kWh/(m²år). I Sverige är solinstrålningen något lägre och därav blir elproduktionen mindre. Enligt Svensk Solenergi får en modul i Stockholmsregionen, vänd mot syd och i 30 graders lutning en solinstrålning motsvarande 1 150–1 200 kWh/(m²år). Med hjälp av en förenklad omräkning ges det genomsnittliga utsläppet för soler i Sverige mellan 28 och 35 g CO₂/kWh (Svensk Solenergi, 2018).

Utsläppet i gram koldioxid per kilowattimme för polykristallina solceller:

$$\frac{1700}{1200} \cdot 20 = 28 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$$

Utsläppet i gram koldioxid per kilowattimme för monokristallina solceller:

$$\frac{1700}{1200} \cdot 25 = 35 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$$

I samma vetenskapliga artikel skriver författarna att tillverkning av ett solcellssystem i form av primärenergi har idag ett totalt energibehov på cirka 15 MJ/W_p. Vid omräkning av behovet till elektrisk energi blir det 1,3 kWh/W_p. Adderas klimatutsläppen för de kinesiska kolkraftverken på cirka 900 g CO₂/kWh samt den förväntade elproduktionen från en solcellsanläggning i Sverige under en livstid på 30 år, fås resultatet mellan 30 och 40 g CO₂/kWh (Svensk Solenergi, 2018).

Att framställa rent kisel är den processen under tillverkningen av en solcellsmodul som är mest energikrävande. Processen sägs ta ungefär 60 % av energin medan de resterande 40 % går åt vid tillverkning av modulerna (Luo, W. et al 2018). Majoriteten av världens kiselframställning sker däremot i länder utanför Kina. Bland dessa länder finns Tyskland, USA, Sydkorea och Japan. Dessutom är majoriteten av alla installerade solcellsanläggningar idag i Sverige inte tillverkade i Kina (Svensk Solenergi, 2018).

Ungefärliga siffror visar att 11 % av solcellsanläggningarna som installerades i Sverige år 2017 tillverkades i Kina. Resten var tillverkade i Vietnam (22 %), Thailand (17 %), Malaysia (12 %) Tyskland (10 %), Sydkorea (8 %). Alla ovan nämnda länder har lägre koldioxidutsläpp gällande framställning av kisel och tillverkning av moduler än Kina. Detta beror på att dessa länder har en högre andel förnybar elproduktion eller kärnkraft. För att påvisa ursprungselens inverkan på klimatavtrycket har Svensk Solenergi gjort en beräkning. I beräkningarna används vattenkraftsel med ett klimatavtryck på 10 g CO₂/kWh för framställning av kisel och tillverkning av solcellsmoduler. Resultatet ger ett klimatavtryck för solelen på under 10 g CO₂/kWh. Solelen producerad av moduler från dessa länder ger därmed ett lägre koldioxidutsläpp än de 30 CO₂/kWh från solcellsmoduler tillverkade i Kina (Svensk Solenergi, 2018).

Enligt Svensk Solenergi har de flesta solcellstillverkare installerat solpaneler på sina tak. En aspekt som bör tas i åtanke är att dessa tillverkare använder den egenproducerade solelen för att täcka en del av fabriken elbehov. Förutom att tillverkarna finns i länder med renare elmix än Kina är det möjligt att de även använder den egenproducerade solelen för tillverkning av moduler. Om elen som används vid tillverkning kommer från elnätet är det svårt att veta elens ursprung. Vid en livscykelanalys beräknas det därför i detta fall med landets elmix. Det approximativa klimatavtrycket från den producerade solelen ligger på 20–25 g CO₂/kWh. Dessa siffror är betydligt lägre än de ungefärliga 900 g CO₂/kWh för Kinas elmix som använts för att få fram utsläppet för svensk solsel på cirka 30 g CO₂/kWh (Svensk Solenergi, 2018).

Det kan konstateras att det inte finns tillräckligt med underlag för att avgöra det exakta klimatavtrycket som solelen orsakar idag i Sverige. Faktorer som har en stor påverkan är i vilket land solcellerna tillverkas och vilken el som används vid tillverkningen. Svensk Solenergi skriver slutligen att dagens siffra för svensk solsel troligtvis ligger under 20 g CO₂/kWh (Svensk Solenergi, 2018).

2.3.3 Solcellers klimatpåverkan i kg CO₂e/Atemp och år

I en studie, *Life-cycle assessment of Photovoltaic systems*, skriven av Nikola Panalov genomförs en livscykelanalys på en solpanelmodell, DL 145, från företaget Gaia Solar. Studien har som mål att bestämma klimatpåverkan samt återbetalningstiden för en solpanel. Utöver det belyser arbetet stegen från hela produktionskedjan och identifierar emissioner från vagg till grav. Solpanelmodellen som studeras har en installerad eleffekt på 3 000 W_p (watt peak power) och består av monokristallina solceller som installerats på ett snedtak i Köpenhamn, Danmark. Solpanelmodellen antas installeras på en 1-plansvilla inom en radie på 50 km från Gaia Solar i Köpenhamn. Panalov nämner i sin studie att det är av betydelse då strålningen vid husets läge ska motsvara strålningen som erhålls vid Gaia Solar för att resultatet ska vara representativt.

I studien används olika parametrar givna av Gaia Solar samt olika beräkningssystem. Panalov konstaterar i sin studie att de största potentiella utsläppen som bidrar till GWP kommer från solcellsproduktionen följt av takinstallation. Den totala globala

uppvärmningspotentialen för ett 3 000 W_p solpanelsystem är 0,053 kg CO₂e/kWh Elen som används är en kombination av dansk elmix och egenproducerad solet av Gaia Solar (Panalov, N 2014).

Tabell 2: Parametrar som används i studien Life-cycle assessment of Photovoltaic systems (Källa: Panalov, N 2014)

Installed effect	3 000 W_p
Panel capacity	145 W _p
Panel amount	20,70
Panel efficiency	14,20%
Cells per panel	36
Cells, amount	745,20
Inverter efficiency	93,5%
PV systems efficiency	13,28%
Specific annual yield	925 Wh/W _p
Degradation rate	0,5%/year
Lifetime expectancy	30 years

2.3.4 Orienteringen och lutningens betydelse för elproduktion

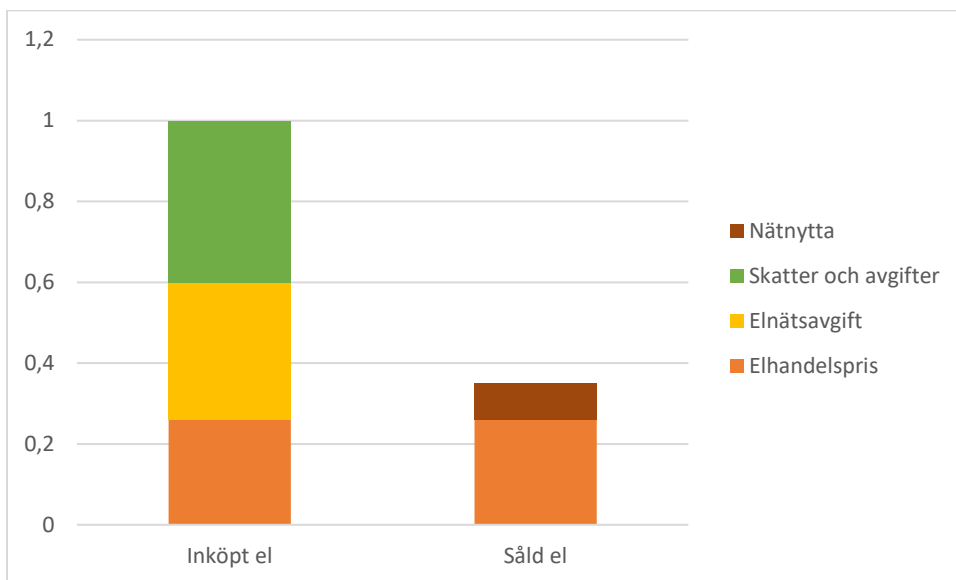
För att erhålla maximal elproduktion från solceller ska modulerna lutas 45 grader och orienteras mot söder. Däremot konstateras det i rapporten *Solceller i byggnader – nya möjligheter!* att orienteringen av solceller inte är så kritisk. Tak placerade mot väderstreck mellan sydost och sydväst ger 5 % mindre produktion än söder (Energimyndigheten, 2019)

2.3.5 Ekonomi och lönsamhet

Med hjälp av en investeringskalkyl kan återbetalningstiden för en solcellsanläggning beräknas. Kalkylen tar bland annat hänsyn till vad elen som solcellerna producerar kostar (Energimyndigheten, 2018b). Genom att sälja överskottselen till elhandelsbolag kan hushållen gå med vinst på sin egenproducerade el (Palm, 2017). Enligt Framtidens Solel ska hushållet, för att uppnå den bästa lönsamheten, använda så stor del som möjligt av den producerade elen och inte sälja den. Detta då solet som används direkt har värdet för det inköpta elpriset (Framtidens Solel, 2019). I en studie gjord av Jenny Palm på uppdrag av energimyndigheten påvisas det att den omständliga administrationen kring solceller utgör ett hinder vid försäljning. Dessutom kan konkurrerande energiåtgärder som att tilläggsisolera och byta värmesystem vara bättre investeringar än att skaffa solceller i vissa fall (Palm, 2017).

Priset på inköpt solet består av tre delar; elhandelspris, elnätsavgift samt statliga skatter och avgifter. En viktig aspekt som Framtidens Solel påpekar är att elhandelsbolag betalar olika vid försäljning av husets överskottsproduktion. Solelen säljs på mark-

nadens villkor med ersättning för elhandelspriset och den nätnytta som fås för minskade nätförluster, värdet på elen blir därför lägre än priset på den köpta (Figur 1). Det finns även bolag som tar en avgift för administrationen samt inmatningsabonnemang för att föra ut solelen. Däremot har vissa elhandelsbolag en inmatningstariff som ger solelen ett större värde. Värdet för såld el höjs ytterligare med en skattereduktion på 60 öre/kWh som fås för överskottselen (Framtidens Solel, 2019).



Figur 1: Pris för inköpt respektive såld solel (Källa: Framtidens solel 2019)

2.3.6 Regelverk gällande solceller

När solelproduktionen överstiger hushållets energibehov förs den överblivna elen in till elnätet och kan därefter säljas. Som privatperson måste ett avtal tecknas med ett elhandelsföretag som köper el från så kallade mikroproducenter. Majoriteten av elhandelsbolagen kräver att hushållet även köper el från företaget. Företagets elpris och dess inköpspris för överskottsproduktionen är viktiga parametrar att ta hänsyn till vid investering. Utan ett påskrivet avtal fås ingen ersättning för den el som förs in på elnätet (Energimarknadsbyrån, 2019).

För solceller och annan mikroproduktion av förnybar el har hushållet, efter begäran, rätt till skattereduktion. För att mikroproducenten ska få rätt till reduktionen enligt skattelagen krävs det att somliga förutsättningar uppfylls: en anmälan till elhandelsbolaget om att hushållet producerar förnybar el som förs in till elnätet krävs. Solcellsanläggningen måste bland annat ha samma anslutningspunkt som uttagsabonnemanget, det vill säga att anläggningen har samma huvudsäkring och samma elmätare som även används för elanvändningen. Anslutningspunkten till elnätet får inte överstiga 100 ampere (Energimarknadsbyrån, 2019).

För att investeringen i en solcellsanläggning ska vara lönsam för ett hushåll är befrielsen från att betala moms för den sålda elen viktig. Lagen säger att detta gäller då mikroproducenter har en försäljning där beskattningsunderlaget inte överstiger 30 000 kronor under ett beskattningsår. Begreppet beskattningsunderlag innebär det belopp som momsen läggs på. För momsbefrielse måste mikroproducenter anmäla detta till skatteverket (Energimarknadsbyrån, 2019).

Energiskatt betalas inte om solcellsanläggningens toppeffekt understiger 255 kW. Om mikroproducenter äger fler mindre solcellsanläggningar som tillsammans överstiger 255 kW i toppeffekt måste en sänkt energiskatt betalas på 0,5 öre/kWh för den förbrukade elen. Överstiger solcellsanläggningen en installerad toppeffekt på 255 kW måste producenten betala den normala energiskatten på 32,5 öre/kWh för den använda elen (Energimarknadsbyrån, 2019).

2.4 Energieffektiviseringsåtgärder

Agneta Persson (2002) understryker i sin faktarapport att utformning av byggnader har, på grund av dess långa livslängd, en viktig betydelse för energianvändningen. Lufttätethet, isolering och köldbryggor påverkar byggnadens totala energianvändning och är mycket svåra samt kostsamma att åtgärda i efterhand. Redan vid projektering av en ny byggnad är därför dessa aspekter viktiga att beakta. Med hjälp av insatser för energihushållning har uppvärmningsbehovet för byggnader under de två senaste decennierna tydligt minskat. Detta har varit möjligt då en genomtänkt byggnadskonstruktion med god värmeisolering och lufttätethet i klimatskalet samt kontrollerad ventilation och värmeåtervinning varit grundläggande (Persson, A. 2002).

För att skapa en större drivkraft att minska byggnadens miljöbelastning har riksdagen satt som mål att halvera den specifika energianvändningen i bebyggelse fram till år 2050. För att kunna nå målet krävs, som tidigare nämnts, att nyproducerade byggnader från tidigt skede projekteras energieffektivt. En mer effektiv energianvändning är en utgångspunkt för att Sverige ska kunna nå miljömålen. Bostäder står idag för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning. En minskning av energianvändningen innebär att mindre energi behöver tillföras vilket kan ge lägre utsläpp av bland annat koldioxid och andra växthusgaser. En minskad energianvändning kan exempelvis uppnås med hjälp av följande byggtekniska åtgärder: ökad isoleringstjocklek, lufttätare grund och värmetröga byggelement (Naturvårdsverket, 2018).

2.4.1 Utredning av isoleringstjocklek i klimatskalets ytterväggar

Klimatskalet definieras som utsidan av en byggnad där väggar, tak och golv men även fönster och dörrar ingår (Boverket, 2007). Konstruktionsdelarnas primära funktion är att vara klimatskyddande, det vill säga klara av påfrestningar från nederbörd och vind, strålning och temperaturvariationer, biologisk påverkan samt isolera mot värmeförluster och klara påkänningar från fukt och vatten (Petersson, B. 2018a). Klimatskalets isoleringsförmåga avgör hur väl byggnaden är isolerad (Boverket, 2007). Genom klimatskalets ytterväggar sker energiförluster som måste vidtas. Vanliga insatser är öka

isoleringstjockleken som är en av de åtgärder där störst miljövinst kan uppnås (Naturskyddsföreningen, 2013).

2.4.2 Koljernteknik och platta på mark

Koljernteknik är en unik och patenterad byggnadsmetod som ger huset en lägre energianvändning. Metoden innebär att foamglas (cellisolering) sammanfogas med hjälp av med plåtprofiler till bjälklagselement som sedan bildar grundplattan (Foamglas, 2019a). Plattan läggs på ett lager av makadam som fungerar som ett dränerande skikt. Foamglaset består av 60 % återvunnet glas från bland annat fönster- och bilrutor. Det återvunna glaset smälts samman med sand, mineraler och kol (Foamglas, 2019b). Efter tillverkning och bearbetning får det slutliga materialet, foamglaset, en hög porositet med nästan enbart slutna porer. Materialet blir därför till skillnad från andra isoleringsmaterial mer lufttät samtidigt som det uppfyller både tryckhållfastheten och den värmeisoleringsförmågan som krävs för en normal villa (Foamglas, 2019a).

Koljerntekniken ger en lägre energianvändning eftersom cellglasisoleringen inte ger upphov till köldbryggor som exempelvis betong (Foamglas, 2019a). En vanlig husgrundstyp idag är golv på mark, även kallat för platta på mark. Normalt är golv på mark en betongplatta som ligger på marken med ett underliggande kapillärbrytande och dränerande skikt. Betongplattan kan vara utan särskild värmeisolering, eller försedd med värmeisolering över eller under betongplattan (Pettersson, B. 2018b).

2.4.3 Värmetröga byggnader

Den svenska standarden SS24300-1 förevisar hur värmetröga byggnader kan minimera effektbehovet vid uppvärmning. Standarden används bland annat vid projektering av byggnader som ska uppfylla BBR:s krav på energihushållning (Isover, 2019a). Att en byggnad är värmetrög innebär att den kan lagra överskottsvärme i de invändiga stommarna för att sedan avge värmen när temperaturen i byggnaden sjunker. Detta är möjligt ifall byggnadens ytor består av material med relativt hög värmekapacitet som exempelvis betong (Karlsson, J et al. 2010). Materialskikten som aktivt deltar i värmeutbytet måste även ha direktkontakt med inomhusluften (Isover, 2019a).

Överskottsvärmen som lagrats i en stomme kan användas på två sätt för att sänka energianvändningen: passivt eller aktivt. Passiv värmelagring innebär att värmeöverföringen sker naturligt genom att en temperaturskillnad uppstår som leder till värmetransport, till exempel mellan varm inomhusluft till en kall betongvägg. Aktiv värmelagring innebär att värmeöverföringen från en byggnadsdel till en annan sker med hjälp av fläktar eller pumpar (Karlsson, J et al. 2010).

I en tung byggnad räcker inte endast material med hög värmekapacitet utan byggnadens värmeförluster måste även minimeras. Den lagrade värmen ska inte transporteras ut genom klimatskalet eller via ventilationssystemet utan återanvändas för att värma upp inomhusluften (Isover, 2019a). Därför är ett anpassat värme- och kylsystem en essentiell förutsättning för att sänka energianvändningen. För att kunna dra

nytta av den värmelagrande egenskapen krävs att systemet tillåter temperaturvariationer. För ett värme- och kylsystemet som via reglering håller en konstant temperatur spelar en god värmelagrande förmåga ingen roll för energianvändningen (Karlsson, J et al. 2010).

2.4.4 Till- och frånluftssystem med återvinning.

För att lågenergihus ska fungera behövs ett kontrollerat FTX-system (Ernströmgruppen AB, 2016). Förkortningen FTX-system står för till- och frånluftssystem med värmväxlare där luften kan filtreras, värmas och eventuellt kylas. Två kanalsystem behövs, ett för till- och ett för frånluft. Värmespridningen i huset kan göras på två olika sätt: vattenburen eller luftburen värme. Vattenburen värme innebär att huset värms upp med hjälp av uppvärmt vatten som cirkulerar i ett slutet rörsystem till radiatorer eller golvvärme. Att ett system är luftburet innebär att värme- och ventilationssystemet är kombinerat. Systemet fungerar genom att temperaturen på tilluften är så hög att den tillförda energin motsvarar värmeförlusterna. (Warfvinge, C., & Dahlblom, M. 2010)

I en studie utförd av Gabriel Rojas vid universitetet i Innsbruck har komfort och ekonomi vid luftburen respektive vattenburen värme jämförts. Studien visade att 80 % av byggherrarna som deltog föredrog radiatorer. Detta då det fanns oro att luftburen värme skulle vara svårare att reglera samt att problem med torr luft skulle uppstå. I studien utfördes även en simulering av luftfuktighet vid olika uppvärmningssystem, där kunde ingen skillnad konstateras. Däremot kunde det enligt simuleringen påvisas att reglerbarheten vid luftvärme var sämre. Utöver simuleringar genomfördes en studie av kostnaderna på sju lågenergihus i Innsbruck. Studien påvisade att luftvärmesystemet var 50 % billigare att installera än ett radiatorsystem (Jansson, B-M 2015). Det beror på att lågenergihus behöver lite tillskottsvärme och att ett värmebatteri enkelt kan installeras i ventilationssystemet istället för att bygga ett vattenburet system (Adalberth, K. et al 2010).

3 Metod

I följande avsnitt förklaras och motiveras metodval och strategi för examensarbetet. Tillvägagångssätt, inhämtning av data och genomförda analyser klargörs.

3.1 Teoristudie

En teoristudie har med hjälp av fakta från rapporter, undersökningar, artiklar, böcker samt andra källor genomförts för att ge en grundläggande bakgrund till arbetet inom klimatpåverkan, livscykelanalyser, solceller, energieffektiva åtgärder, med mera. Information som angetts i arbetet grundar sig till stor del på rapporter och undersökningar från myndigheter och institut så som Boverket, Naturvårdsverket och IVL. Utöver myndighetskällor och offentliga hemsidor har även fakta från vetenskapliga artiklar använts som hittats med hjälp av olika sökmotorer som LubCat, Google Scholar, DiVA och Scencedirect. Studien har också baserats på böcker och miljövarudeklarationer (EPD:er) kopplade till ämnesområdet.

Sökord vid studie: Livscykelanalys, Life cycle assesement, Energieffektiva åtgärder, Energieffektiviseringsåtgärder, Solceller, Isolering, Miljöpåverkan byggsektorn, Klimatpåverkan byggsektorn, Koljernteknik, Platta på mark, LCA-verktyg, EPD, miljövarudeklaration.

3.2 Funktionell enhet

Vid val av arbetets funktionella enhet har krav och önskemål från Karin Petterssons Arkitektbyrå AB tagits i beaktning. Huset är projekterat för en familj om fyra och ska vara ett nära-nollenergihus som uppfyller Boverkets byggregler (BBR26) gällande primärenergital där det högsta tillåtna värdet får uppgå till $90 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år (se tabell 9:2a). Dessutom ska husets solpaneler, integrerade i taket, med sin egenproducerade sol täcka husets årliga energianvändning. Med kraven som utgångspunkt har den funktionella enheten satts till klimatpåverkan, den globala uppvärmningspotentialen GWP i $[\text{kg CO}_2\text{e}]$, under en tidsperiod på 50 år per fallstudiehus.

3.3 Fallstudie

Arbetets utgångspunkt är ett typhus projekterat av Karin Petterssons Arkitektbyrå AB (Bilaga A). På byggnaden har tre olika energieffektiviseringsåtgärder utförts, det här för att undersöka ifall husets klimatpåverkan kan minimeras. Förutom att huset ska uppnå ett nära-nollenergihus enligt BBR26 kommer monokristallina kiselceller installeras på taket för att styrka att ett nära-nollenergihus uppfylls enligt energiprestandadirektivets definition.

I fallstudien har det även valts att utgå ifrån att kiselcellerna täcker husets energibehov på en årsbasis. Beroende på vilken energieffektiviseringsåtgärd som görs kommer olika stora solcellsanläggningar krävas för att täcka energibehovet. De olika åtgärderna har ställts mot huset ursprungliga konstruktion för att se vilket alternativ

som har minst global uppvärmningspotential. Arbetet är således ämnat för att ge Karin Petterssons Arkitektbyrå AB en översiktsbild över vilka ändringar eller åtgärder som är lämpliga att utföra för att minimera byggnadens klimatpåverkan. Även om dessa åtgärder ställs mot varandra ska arbete ligga till grund för att identifiera kopplingar eller ge alternativa lösningar på kombinationer. I samråd med Petterssons har det bestämts att följande åtgärder ska utredas: typhusets isoleringstjocklek, olika grundkonstruktioner och materialbyte av innerväggarna som är i anslutning till våtrummen.

För att utföra fallstudien har resultatet i rapporten byggts på energiberäkningar och LCA:er. Livscykelanalyser har gjorts med hjälp av Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM1.0 och energiberäkningar i Strusofts energiberäkningsprogram VIP-Energy.

3.3.1 Förutsättningar

Det projekterade typhuset är en 2-plansvilla planerat att byggas i Ängelholm. Karin Petterssons Arkitektbyrå AB har tillhandahållit en detaljplan över ett obebyggt område. På ritningen utgås det att huset ska byggas på tomt nummer 18:22 (Bilaga B). Takets lutning är 30° och har takytor som vetter mot syd och norr. Husets placering har i sin tur en avgörande roll för produktion av solel.

Vidare har tillgång till utskrivna ritningar samt en revit-fil erhållits från Petterssons för att kunna göra mängdberäkningar. Beräkningarna används i sin tur i programmet BM1.0 för att kunna avgöra hur mycket den specifika mängden material har för klimatpåverkan. Solcellerna som ska installeras på husets tak har också en klimatpåverkan. Monokristallina kisel-solcellen "SOLID SOLRIF M.60", med en livslängd på 50 år, tillverkad av SoliTek ska köpas in. Tillverkaren garanterar en viss effekt under 30 år (SoliTek, 2019). För att beräkna mängden solceller som krävs för att täcka energibehovet på en årsbasis, för de olika fallen, ligger två olika VIP-filer som utgångspunkt. Dessa energiberäkningar är gjorda av Goverde & Co AB på uppdrag av Petterssons.

3.3.2 Nära-nollenergihus

I arbetets bakgrund beskrivs definitionen av ett nära-nollenergihus som: "En byggnad som har mycket hög energiprestanda... . Nära nollmängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten." I Boverkets byggregler, BBR avsnitt 9 Energihushållning, är regler gällande nära-nollenergi införda. Bland flera ändringar i avsnittet är de viktigaste gällande nära-nollenergi följande:

- Systemgränsen ändras från levererad energi till byggnaden till primärenergi.
- Byggnadens energiprestanda anges som primärenergital (EP_{pet}). Det tidigare begreppet specifik energianvändning försvinner.

- Primärenergifaktorer införs för el, fjärrvärme, fjärrkyla, biobränsle, olja och gas.
- Kategorin elvärmdda byggnader försvinner.
- De fyra klimatzonerna ersätts av geografiska justeringsfaktorer på kommun-nivå.

Fram till den 1 januari 2019 kunde specifik energianvändning användas för att ange en byggnads energiprestanda. Den specifika energianvändningen ersattes därefter mot primärenergital (Boverket, 2018d).

3.3.3 Energiberäkning

För att beräkna byggnadens energianvändning har programmet VIP-Energy använts. Programmet används främst för att beräkna byggnadens energiprestanda baserat på olika faktorer som är mätbara och kända. VIP-Energy är uppbyggt kring en dynamisk beräkningsmodell med en timvis kalkyl. Det är ämnat för att beräkna en byggnads energianvändning under en längre period, omfattar oftast ett år, men kan även undersöka kortare tidsperioder. Olika klimatfaktorer som lufttemperatur, vind, sol och luftfuktighet tas till hänsyn vid beräkning av energiflöden. VIP-Energy är optimerat för att beräkna totala energianvändningen och är inte avsedd för dimensionering av effektbehov för värme och kyla. Detta påverkar vilka parametrar som går att ställa in och vilka parametrar som redan är förvalda i programmet (VIP-Energy, 2019). Då BBR:s krav finns inlagda i programmet kan färdiga bygghandlingar fås (Strusoft, 2019).

I arbetet har flera energisimuleringar genomförts med hjälp av VIP-Energy filer från Goverde & Co AB. I filerna finns delar av byggnadens ursprungliga geometri och resterande indata såsom värmesystem och ventilation. Typhuset har ett installerat FTX-system med luftburen värme där solcellerna ska täcka ett behov som förses med en värmepump. Filerna saknar viss information som är viktig för att kunna genomföra en simulering. Dessa har därför uppdaterats och byggnadsdelar som innerväggar och bjälklag har lagts till. Indatan har använts för att beräkna husets energianvändning som sedan kommer att ligga till grund för andelen solceller som behövs för att täcka energibehovet. När mängden solceller är känt kan en undersökning av dess klimatpåverkan göras.

Energisimuleringar har därefter gjorts för respektive energieffektiviseringsåtgärd. Det här för att undersöka om energibehovet minskar. Resultatet av solcellernas klimatpåverkan från den ursprungliga grundkonstruktionen har sedan ställts mot resultatet av solcellernas klimatpåverkan från respektive energieffektiviseringsåtgärd.

I samråd med Goverde & Co konstaterades det att inga köldbryggor är inlagda i VIP-filerna utan att de istället tagit hänsyn till en osäkerhetsfaktor, *delta-U*. Delta U-värden används för att reglera det U-värde som erhålls av materialskiktens tjocklek och värmeledningstal (VIP-Energy, 2019). Då husets är projekterat tät har köldbryggorna väldigt liten påverkan på det slutliga resultatet.

3.3.4 Beräkning av solinstrålning och soletproduktion

För att beräkna solinstrålningen och soletproduktionen har PVGIS 4, Climate-SAF PVGIS, använts. Databasens beräkningar är framtagna från satellitbilder under en 12-årsperiod. I arbetet kommer den uppskattade elproduktionen för solpanelen att beräknas med hjälp av information från revit-filen, solpanelen samt husets placering.

3.3.5 LCA-studie

I arbetet har LCA:er genomförts på ursprungskonstruktionen samt på de energieffektiviseringsåtgärder som undersöks. Livscykelanalysen görs med hjälp av Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM1.0) som IVL Svenska Miljöinstitutet lanserat. BM1.0 är ett verktyg som baseras på livscykelanalysmetodik och tar fram en klimatdeklaration för en byggnad. Med hjälp av verktyget kan storleken på en byggnads klimatpåverkan fås samt hur utsläppen kan minskas genom byte av materialval och produktionsätt. Verktyget innehåller en färdig databas med klimatdata för de byggresurser som används på svensk marknad. Resurserna i programmet har valts ut för att uppnå krav enligt Miljöbyggnad 3.0. Indata för BM1.0 fås via mängdberäkning av en byggnad. Därefter beräknas byggnadens klimatpåverkan grundat på materialproduktion, transporter och byggproduktion för de material som finns i byggnaden (Erlandsson, M. 2017).

För att genomföra en LCA behövs en sammanställning över de resurser som ingår från råvaruutvinning till avfall, återvinning eller återanvändning. En byggnads livscykel är uppdelad i ett antal standardiserade livscykelkedor som i sin tur består av ett antal informationsmoduler, se Tabell 1. Informationsmodulerna A1 till A5 innefattar hela byggskedet och beräkningarna i BM1.0 avser endast dessa (Tabell 1). Sammanställningen av resurser används av användaren vid beräkningar i BM1.0. De kopplas i programmet till de byggdelar som ska ingå, till exempel klimatskal och grundkonstruktion. Momentet heter mappning och sker manuellt i BM1.0. För att mappa väljs en glad, någorlunda glad eller en sur figur (Figur 2). Figurerna beskriver hur pass lik respektive byggnadsdel i programmet är jämfört med byggnadsdelen i ett eget projekt (Erlandsson, M. 2018).



Figur 2: Figurer som används vid mappning i Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (Källa: BM1.0)

BM1.0 innehåller bara byggmaterial angivna i kg. Materialmängderna i typhuset för respektive byggnadsdel är givet i olika enheter vilket medför att en omräkning till kg har gjorts. För att erhålla klimatpåverkan har sedan respektive byggnadsdels samtliga material lagts in. Därefter har en rapport med materialens klimatpåverkan givet i kgCO₂e erhållits. I rapporten visas varje materials påverkan från informationsmodu-

lerna A1-A5. Klimatpåverkan som fås i BM1.0 kommer sedan att adderas med solcellernas klimatpåverkan för att få den totala påverkan på klimatet från samtliga material.

3.3.6 Monokristallina kiselsolceller

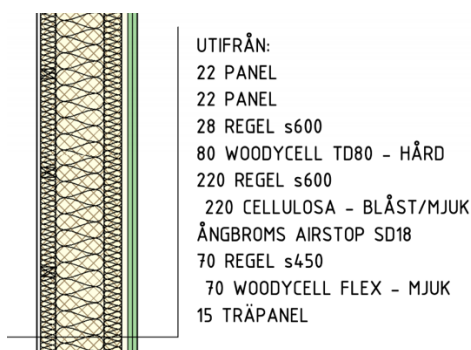
Att utföra en livscykelanalys på solceller är ett väldigt tidskrävande och komplicerat arbete. För att kunna jämföra klimatpåverkan från de olika energiåtgärderna kombinerat med solcellernas klimatpåverkan behövs siffror på solcellernas utsläpp. För att erhålla ungefärliga siffror har arbetet utgått från värdet i studien *Life-cycle assessment of Photovoltaic systems* (Palanov, N 2014). Värdet som används är en GWP på 0,053 kg CO₂e/kWh för ett solpanelsystem med en installerad eleffekt på 3 000 W. Det har sedan tillämpats på resultatet som erhålls i examensarbetet. Värdet från resultatet i examensarbetet har sedan jämförts med värden från en EPD, *Electricity generated in photovoltaic power plant El Romero Solar 196 MW* (Bilaga C) (Environdec, 2017). Resultatet från EPD:en är dock baserat på polykristallina solceller vilket kommer att ge annorlunda värden, EPD kommer därför att användas som en riktlinje.

För att beräkna hur mycket solceller som krävs för att täcka husets energibehov har datorprogrammet PVGIS använts. Programmet beräknar förväntad solinstrålning givet för specifik indata. Förutsättningarna för solinstrålning varierar över året liksom behovet av energi. Trots att den producerade solen och husets energibehov möjligtvis förhåller sig annorlunda till varandra är solcellernas uppgift att täcka energibehovet på en årsbasis. I samband med dimensioneringen kan klimatpåverkan för solcellsanläggningen beräknas. Detta görs genom att ta mängden [kWh] som solpanelerna producerar multiplicerat med de framtagna värdena för utsläpp.

3.3.7 Energieffektiviseringsåtgärder

3.3.7.1 Isoleringstjocklek

Ytterväggen som Petterssons har konstruerat har skikt enligt Figur 3 nedan:



Figur 3: Ytterväggskonstruktion enligt typhuset (Källa: Karin Petterssons Arkitektbyrå AB)

I arbetet har en utredning av isoleringstjockleken utförts. Det här för att se hur energianvändningen samt klimatpåverkan kan minimeras. För att genomföra det har isoleringstjockleken i ursprungskonstruktionen ökat, endast med verkliga dimensioner. Reglarna i typhuset är av dimension 45x220 mm och för att inte använda lättreglar med större dimensioner har ett nytt skikt med regler och isolering lagts till. Att lättreglar inte används beror på att byggnadens bärlighet måste kontrolleras på nytt och det ligger utanför arbetets ramar.

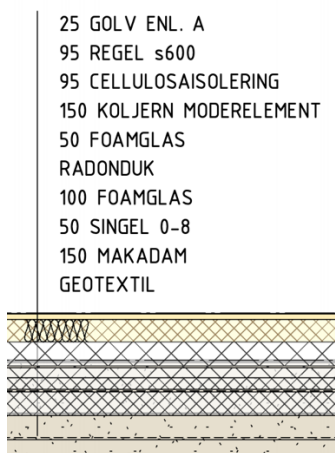
En reduktion av ytterväggarnas isoleringstjocklek har också utretts. Detta anses inte vara en energieffektiviseringsåtgärd då typhusets energianvändning troligtvis kommer höjas. Det görs istället i syfte för att jämföra klimatpåverkan från en ökad isoleringstjocklek och en reducerad isoleringstjocklek. Mängden isolering har via givna ritningar beräknas och en omräkning av enhet har gjorts. I VIP-Energy har energisimuleringar utförts för att granska husets energianvändning för respektive isoleringstjocklek och från IVL:s register i BM1.0 har materialet mest likt isoleringen och reglarna i konstruktionen använts.

3.3.7.2 Grund av foamglas eller platta på mark

Tre fall gällande grunden har granskats där ytterväggens isoleringstjocklek är enligt typhuset, 220 mm. Första fallet är enligt Petterssons konstruktionsritningar, en grund av foamglas, se Figur 4. Materialet finns inte i IVL:s register (BM1.0) vilket orsakar att grundmaterialet har beaktas för att sedan använda ett liknande i programmet.

Andra fallet studerar en platta på mark, det vill säga en betongplatta. Förutsättningarna och tillvägagångssättet är likt första fallet. Klimatpåverkan för de två första fallen beräknas sedan i BM1.0. För att beräkna husets energianvändning för respektive fall har energisimuleringar i VIP genomförts för att sedan beräkna hur mycket solpaneler som behövs för att täcka energibehovet. Klimatpåverkan från andelen solpaneler adderas sedan till klimatpåverkan från de två olika fallen.

I det tredje fallet görs en jämförelse mellan en reviderad platta på mark som har samma U-värde som foamglasgrunden. Detta för att utvärdera klimatpåverkan från två olika grundkonstruktioner som ger typhuset samma energianvändning. Då både grunderna har samma energianvändning blir det ingen skillnad i antal solpaneler. Det medför en oförändrad klimatpåverkan gällande den aspekten. Det U-värde som utgås ifrån är foamglasgrundens. För att åstadkomma samma U-värde ändras materialskikten i platta på marken.

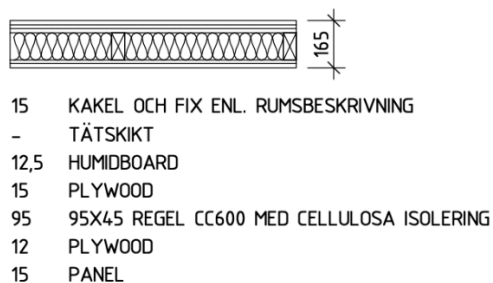


Figur 4: Grundkonstruktion med foamglas i typhuset (Källa: Karin Petterssons Arkitektbyrå AB)

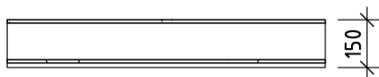
3.3.7.3 Våtrummetts anslutande innerväggar

Typhusets alla innerväggar har en stomme av trä eller tegel, se Figur 5, Figur 6, Figur 7. För att energieffektivisera huset ytterligare är det möjligt att istället använda betong som byggmaterial. Denna förändring innebär att materialet kan lagra värme betydligt bättre och på så sätt minska energianvändningen. Åtgärden är lämplig att göra i rum där mycket värme alstras, därav har det i detta arbete valts att undersöka innerväggarna i anslutning till våtrummet.

För att undersöka om åtgärden är mer energieffektiv har en energisimulering gjorts på grundfallet och därefter åtgärden. Om skillnad i energianvändning uppstår kommer klimatpåverkan för respektive fall utredas.

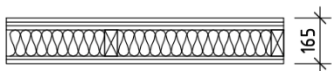


Figur 5: Våtrumsinnervägg 1, VT1 (Källa: Karin Petterssons Arkitektbyrå AB)



- 15 KAKEL OCH FIX ENL. RUMSBESKRIVNING
- 10 PUTS
- 115 POROTHERM
- 10 PUTS

Figur 6: Våtrumsinnervägg 2, VT2 (Källa: Karin Petterssons Arkitektbyrå AB)



- 15 KAKEL OCH FIX ENL. RUMSBESKRIVNING
- TÄTSKIKT
- 12,5 HUMIDBOARD
- 15 PLYWOOD
- 95 95X45 REGEL CC600 MED CELLULOSA ISOLERING
- 12 PLYWOOD
- 15 PANEL

Figur 7: Våtrumsinnervägg 3, VT3 (Källa: Karin Petterssons Arkitektbyrå AB)

3.3.7.4 Tillvägagångssätt vid beräkning

Från VIP-filerna fås, via en simulering, husets energianvändning E_a . Den totala energianvändningen på årsbasis i [kWh] beräknas med hjälp av:

$$E_{a,\text{år}} = E_a \cdot A_{\text{temp}} \quad [\text{kWh}/\text{år}] \quad (\text{ekv.1})$$

där A_{temp} avser den area för våningsplan som värms mer än 10 °C i byggnaden enligt Boverket. I typhuset är $A_{\text{temp}} = 136,60 \text{ m}^2$ och beräknades med hjälp av revit-filen. Förutom A_{temp} har andra mätvärden på byggnadsdelar erhållits från revit- och VIP-filerna, se Tabell 3 och Tabell 4.

Tabell 3: Area och volymer för byggnadsdelar

Byggnadsdel	Area (m ²)	Volym (m ³)
Tak	102,54	-
Ytterväggar	179,05	-
Grund	88,80	-
Våtrumsinnervägg 1 (VT1)	31,84	5,21
Våtrumsinnervägg 2 (VT2)	19,83	2,98
Våtrumsinnervägg 3 (VT3)	4,32	1,17

Tabell 4: Densiteter för olika byggnadsmaterial

Byggnadsmaterial	Densitet (kg/m ³)
Skiffer takplattor	2 600
Träreglor/Träpanel	500
Cellulosa lösullisolering	40
Foamglas	25
Cellplast	25
Betong	2 300
Humidboard	120
Ljudisolering	50
Puts	2 000
Tegel	1 500

När energianvändningen är given har antalet solpaneler som krävs för att täcka husets elbehov beräknats. För att inte erhålla något årsöverskott, och uppnå ett nära-nollenergihus enligt BBR26 krav, ska den årliga elproduktionen vara lika stor som husets totala årsbehov. Med hjälp av PVGIS fås en solpanels årliga elproduktion. För att beräkna antalet solpaneler som krävs för att täcka husets årliga behov divideras årsbehovet med elproduktionen för en solpanel.

$$n = \frac{E_{a,år}}{E_{p,solpanel}} \quad [\text{st}] \quad (\text{ekv.2})$$

När antalet solpaneler, som krävs för att täcka husets elbehov, är givna kan solpanelernas totala produktion beräknas med hjälp av följande ekvation.

$$E_p = n \cdot E_{p,solpanel} \quad [\text{kWh/år}] \quad (\text{ekv.3})$$

Solpanelernas klimatpåverkan beräknas sedan med hjälp av GWP-värdet på 0,053 kg CO₂e/kWh. För att få solpanelernas totala klimatpåverkan, per producerad kilowattimme, multipliceras elproduktionen med GWP-värdet samt 50 år som är enligt tillverkarna panelernas livslängd.

$$GWP_{solpanel} = E_p \cdot GWP \cdot 50 \quad [\text{kgCO}_2\text{e}] \quad (\text{ekv.4})$$

Variert antal solpaneler ger inte bara en skillnad i klimatutsläpp, utan mängden taktäckning blir också annorlunda. I Revit-filen kan det utläsas att takbeläggningen ska vara av typen skiffertakplattor. För att kunna beräkna skifferplattornas klimatpåverkan tillsammans med resterande byggmaterial i BM1.0 har en omräkning gjorts, för respektive material, från [m³] eller [m²] till [kg].

Med kännedom om hur många solpaneler som behövs har taktäckningens massa beräknats. Solpanelerna ska placeras på taket som vetter mot syd och för att beräkna andelen integrerade solpaneler och andelen skiffertakplattor har först den södra takarean beräknats. Den totala takarean, enligt Tabell 3, halveras och på så sätt fås den södra takytan.

$$A_{tak,syd} = \frac{A_{tak}}{2} \quad [m^2] \quad (\text{ekv.5})$$

För att kontrollera att mängden solpaneler, som krävs för att täcka energibehovet på en årsbasis, får plats på takytan beräknas dess totala area. Arean för solpanelen beräknas genom antalet solpaneler multiplicerat med dess storlek. Enligt SoliTek har solpanelerna en storlek på 1720x1024 mm, dess area blir därför $A_{solpanel} = 1,76m^2$. Solpanelanläggningens totala area beräknas med ekv.6.

$$A_{solpaneler} = n \cdot A_{solpanel} \quad [m^2] \quad (\text{ekv.6})$$

Med solpanelernas area given undersöks det ifall de får plats på södra takytan. Får panelerna plats beräknas resterande takarea som skiffertakplattorna kommer att täcka. Takplattorna beräknas genom att subtraheras takets area med solpanelernas area.

$$A_{skiffer} = A_{tak,syd} - A_{solpaneler} \quad [m^2] \quad (\text{ekv.7})$$

På nordskiffers hemsida fås tjockleken $d = 7$ mm för takskifferprodukten "Samaca 49" (Nordskiffer, 2019). Värdet används för att beräkna volymen takskiffer och där efter massan. Takskiffer är av 100 % natursten och har en densitet enligt Tabell 4. Volymen och massan för takskiffer beräknas med hjälp av ekv.8 och 10.

$$V = A \cdot d \quad [m^3] \quad (\text{ekv.8})$$

När volymen är given görs en omskrivning av ekv.9 för att beräkna massan.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [kg/m^3] \quad (\text{ekv.9})$$

Massan beräknas enligt följande ekvation:

$$m = \rho \cdot V \quad [kg] \quad (\text{ekv.10})$$

En mängdberäkning av cellulosisoleringen samt reglarna görs för att ta reda på materialens klimatpåverkan i BM1.0. Med hjälp av byggnadsdelens area, se Tabell 3, har värdet multiplicerats med tjockleken för att erhålla volymen, ekv.8. Enligt Isover är regelandelen för träreglar med cc 600 normalt 12 %. Andelen gäller för vanligt 45 mm hyvlat virke i regelstomme och bjälklag (Isover, 2019b). För att få reglarnas respektive isoleringens volym har materialskiktets totala volym multiplicerats 12 % respektive 88 %.

$$V_{material} = procentandel \cdot V_{skikt} \quad [m^3] \quad (ekv.11)$$

När massan för respektive material är beräknat har deras klimatpåverkan, den globala uppvärmningspotentialen i [kg fås eCO₂e per m² A_{temp}], beräknats i BM1.0. En omräkning har gjorts till [kg CO₂e] för att sedan addera solpanelernas klimatpåverkan och på så sätt erhålla utredningens totala klimatpåverkan.

$$GWP_{kg,CO_2e} = GWP_{kg,CO_2e,m^2A_{temp}} \cdot A_{temp} \quad [kg \text{ CO}_2\text{e}] \quad (ekv.12)$$

4 Resultat

I följande avsnitt presenteras en sammanställning av åtgärders beräknade klimatpåverkan.

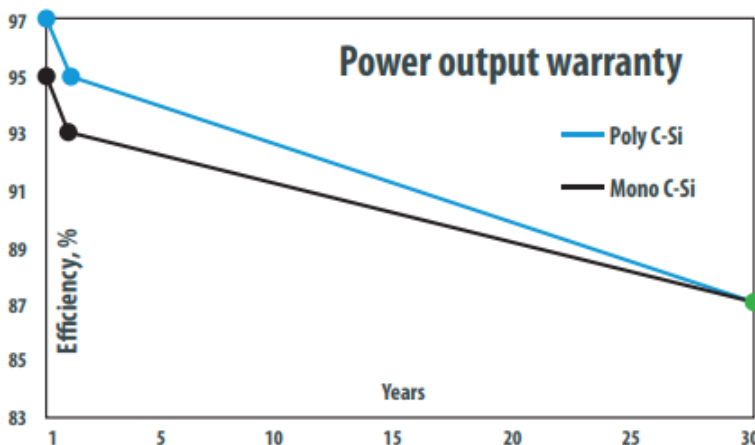
4.1 Monokristallina kiselceller

4.1.1 Klimatpåverkan

Solcellerna som kommer att användas på taket är som tidigare nämnt monokristallina kiselcellen "SOLID SOLRIF M.60" tillverkad av SoliTek. Företaget är etablerat i Litauen där även produktionen av solpanelerna sker. För att beräkna solpanelernas klimatpåverkan i detta arbete kommer GWP-värdet på 0,053 kg CO₂e/kWh att användas. Den framtagna siffran grundar sig i att en solpanel är installerad med en elefekt på 3 000 W_p och att den är tillverkad i Danmark.

4.1.2 Solsystemets effektförlust

Med hjälp av produktinformation taget från SoliTek:s hemsida kan solsystemets förluster beräknas (Bilaga D). Figur 8 visar den garanterade effekten som solpanelen har under en tidsperiod på 30 år. Enligt tillverkaren har solpanelen en uppskattad livslängd på 50 år. För att kunna få fram effektiviteten vid 50 år beräknas den linjära lutningen av Mono C-si. I Figur 8 avläses värden från år 1 och år 30 då effekten minskar linjärt mellan åren. Detta ger ett mer korrekt värde när effektiviteten vid 50 år beräknas. En viss osäkerhet i avläsning av diagrammet bör ha i åtanke. För att få ett korrekt värde på lutningen har y- respektive x-värdena (1, 93) och (30, 87) används enligt nedan:



Figur 8: Solpanelernas garanterade effekt under en tidsperiod om 30 år (Källa: Solitek 2019).

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{93-87}{1-30} = \frac{6}{-29} \approx -0,21 \%$$

Beräkning visar att effekten för solpanelen minskar med ca 0,21 % varje år. För att få ett värde på solpanelens effekt 50 år efter installation kommer den årliga minskningen under 49 år att användas. Det här då den procentuella effektminskningen endast gäller mellan år 1 och år 50, det vill säga 49 år.

$$W_{minskning,49} = 49 \cdot 0,21 \approx 10,14 \%$$

Värdet har minskat med 10,14 % på 49 år. Effekten vid 50 år beräknas till:

$$W_{50} = 93 - 10,14 = 82,86 \% \approx 83 \%$$

För att få systemets uppskattade medelförlust har solpanelernas medeleffekt från det att den är installerad beräknats. Vid beräkning av medeleffekten har därför effekten på 95 % som solpanelen har vid installation använts. Med hjälp av medeleffekten har sedan andelen förlorad effekt i systemet erhållits.

$$W_{medel} = \frac{95+83}{2} = 89 \%$$

ger en förlorad effekt på 11 %

Den förlorade medeleffekten har tillsammans med toppeffekten och inställningarna i kapitel 4.1.3 *Solpanelens topp effekt samt dess årliga elproduktion* använts som indata i PVGIS för att ta reda på hur mycket solel en solpanel genererar på ett år.

4.1.3 Solpanelens topp effekt samt dess årliga elproduktion

I Figur 9 avläses den maximala effekten, topp effekten, för en solpanel med 6x10 monokristallina kisel solceller till 300 W.

Electrical data (STC*)	Regular Transparency		Increased Transparency					
	10		20		30		45	
Transparency %								
Maximum Power (W _p)	300	270	270	240	230	210	165	150
Cell Configuration	6x10		6x9		6x8		4x9	
Cell Technology	Mono C-Si	Poly C-Si	Mono C-Si	Poly C-Si	Mono C-Si	Poly C-Si	Mono C-Si	Poly C-Si
Open circuit Voltage (V _{oc} /V)	40,35	38,31	35,51	34,74	35,56	31,40	23,67	23,38
Short circuit Current (I _{sc} /A)	9,55	9,18	9,89	9,51	9,88	9,40	9,87	20,70
Max Power Voltage (V _{mp} /V)	32,93	31,40	28,94	27,49	25,72	24,60	19,29	17,67
Max Power Current (I _{mp} /A)	9,15	8,68	9,34	8,93	9,33	8,87	9,32	8,86
Module Efficiency (η)	17,03%	15,33%	15,33%	13,63%	13,06%	11,92%	9,37%	8,52%
Efficiency when installed (η)	17,77%	15,99%	15,99%	14,21%	13,62%	12,44%	9,77%	8,88%
Max System Voltage (V)	1500				1500			
Max Current (A)	15				15			
Power Tolerance	0/+5W				0/+5W			

*Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/sq. m., spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25 C

Figur 9: Solpanelernas garanterade effekt under en tidsperiod om 30 år (Källa: Solitek 2019).

Topp effekten 300 W tillsammans med värdet på systemets förluster 11 % används som indata i PVGIS för att beräkna den årliga elproduktionen för en solpanel. Inställningarna i PVGIS kommer vara Climate-SAF PVGIS (för "Radiation Database") och "Crystalline silicon (PV-technology)" som typ av solcell. Enligt förutsättningarna är typhuset beläget i Ängelholm med en taklutning på 30°.

Takytorna vetter mot syd och norr, solpanelernas placering kommer att vara på sydliga taket. Detta är även inställningar som anges i programmet. Resultatet som erhålls med angivna indata är 283 kWh per år (Bilaga E).

4.2 Energieffektiviseringsåtgärder

4.2.1 Utredning av isoleringstjocklek i klimatskalets ytterväggar

I delkapitlets sammanfattning jämförs energiberäkningar och utsläpp av GWP för de olika isoleringstjocklekarna. Typhusets ytterväggskonstruktion används som utgångspunkt vid förändring av isoleringsskiktet.

4.2.1.1 Typhusets isolering i ytterväggen

Med en isoleringstjocklek på 220 mm blir den totala väggstjockleken 457 mm.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Med samtliga parametrar inlagda i VIP-Energy blir husets energianvändning $E_a = 37,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$. Huset kräver även en eleffekt på $2\,800 \text{ W}_p$ som kan ses i Bilaga F. Husets årliga energianvändning fås med hjälp av ekv.1 till $E_{a,\text{år}} = 5\,040,20 \text{ kWh}/\text{år}$.

Andelen solpaneler som krävs för att täcka elbehovet på en årsbasis beräknas med ekv.2. Med en solpanel som producerar 283 kWh per år behövs således 18 solpaneler för att täcka husets årliga energianvändning. Enligt ekv.3 producerar 18 solpaneler totalt 5 094 kWh/år. Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan görs med hjälp av GWP-värdet på 0,053 kg CO₂e/kWh. För att få solpanelernas totala klimatpåverkan multipliceras elproduktionen med GWP-värdet samt panelernas livslängd.

$$GWP_{\text{solpaneler}} = 5\,094 \cdot 0,053 \cdot 50 = 13\,499,1 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Om husets inte skulle vara placerat i sitt optimala läge skulle solpanelerna producera olika mycket el. För att påvisa detta presenteras i Tabell 5 solpanelernas orientering, årliga produktion för en solpanel, hur många paneler krävas för att täcka årsbehovet samt dess klimatpåverkan.

Tabell 5: En solpanels elproduktion och klimatpåverkan beroende på orientering

Orientering	En solpanels årliga produktion [kWh/år]	Hur många solpaneler krävs för att täcka årliga behovet [kWh]	Solpanelernas klimatpåverkan under 50 år [kg CO ₂ e]
Söder	283	18	13 499,10
Väster	229	23	13 957,55
Norr	115	33	13 554,75
Öster	230	22	13 409,00

Från Tabell 5 kan det konstateras att det är mest lämpligt att placera solpanelerna på södra takytan om förutsättningar tillåter det. Om husets tak vetter mot orienteringarna väst och öst är en placering på det östra taket mest lämpligt.

Solpanelernas klimatpåverkan i jämförelse med EPD:en

I EPD:en *Electricity generated in photovoltaic power plant El Romero Solar 196 MW* kan ett värde på 20,12 g CO₂e utläsas. Den globala uppvärmningspotentialen är utsläppet för 1 kWh producerad i solpanelsanläggningen ”El Romero 196 MW photovoltaic power plant”. För att använda GWP-värdet har en omräkning till enheten [kg CO₂e] gjorts.

$$GWP_{kg} = \frac{GWP_g}{1000} = \frac{20,12}{1000} \approx 0,020 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Beräknas klimatpåverkan under 50 år för 18 solpaneler med en årlig produktion på 5 094 kWh/år fås den globala uppvärmningspotentialen till:

$$GWP_{solpaneler} = 5\,094 \cdot 0,020 \cdot 50 = 5\,094 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Skillnaden i utsläpp mellan GWP-värdet 0,053 kg CO₂e, som kontinuerligt används i arbetet, och GWP-värdet 0,020 kg CO₂e taget från EPD:en är 8 405,1 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Vid beräkning av taktäckningen har först den sydliga takarean beräknats. Den totala takarean enligt Tabell 3 halveras och arean för det södra taket blir därmed

$A_{\text{tak,syd}} = 51,27 \text{ m}^2$. För att kontrollera att mängden solpaneler, som krävs för att täcka energibehovet på en årsbasis, får plats på takytan beräknas dess totala area. Arealen för solpanelerna med hjälp av ekv.5 fås till $A_{\text{solpanel}} = 31,68 \text{ m}^2$. Solpanelerna med en area på $31,68 \text{ m}^2$ får således plats på den södra takytan. För att beräkna resterande tak area som skiffertakplattorna kommer täcka subtraheras takets area med solpanelernas area.

$A_{\text{skiffer}} = 51,27 - 31,68 = 19,59 \text{ m}^2$. Då arean för takskiffertak fås kan volymen och massan beräknas med hjälp av ekv.8 och ekv.10. Värdena beräknas till $V_{\text{skiffer}} = 0,14 \text{ m}^3$ och $m_{\text{skiffer}} = 356 \text{ kg}$ (Bilaga F).

Mängdberäkning av isoleringsskiktet

Med hjälp av ytterväggarnas area, se Tabell 3, har värdet multiplicerats med isoleringstjockleken för att erhålla volymen. Skiktets totala volym beräknas till $V_{\text{skikt}} = 39,39 \text{ m}^3$. För att få reglarnas respektive isoleringens volym multipliceras materialskiktets totala volym med 12 % respektive 88 %, se ekv.11.

Med densiteten för träreglarna och cellulosaisolering enligt Tabell 4 beräknas massan och volymen enligt ekv.11 och ekv.10.

$$V_{reglar} = 0,12 \cdot 39,39 = 4,73 \text{ m}^3$$

$$m_{reglar} = 500 \cdot 4,73 = 2\,365 \text{ kg}$$

$$V_{cellulosa} = 0,88 \cdot 39,39 = 34,66 \text{ m}^3$$

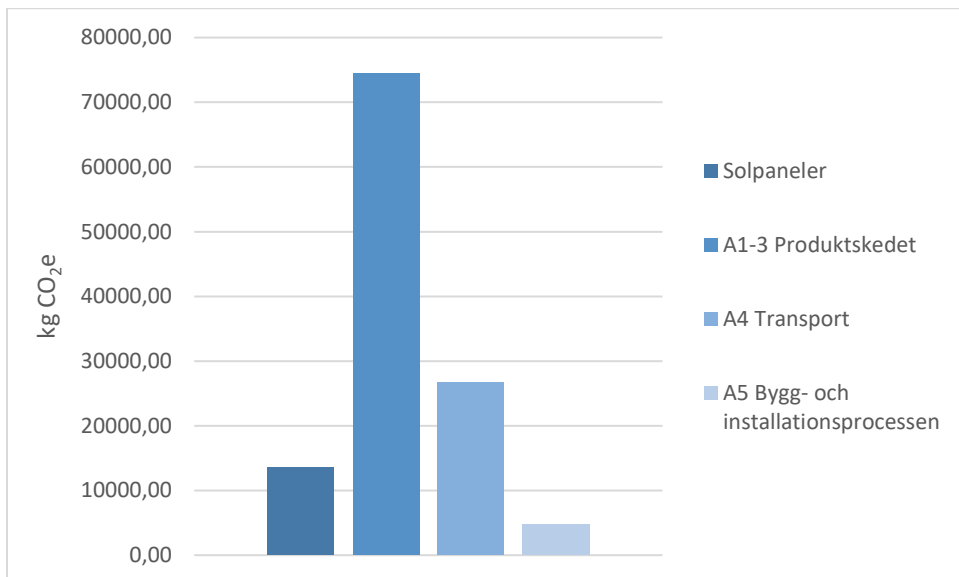
$$m_{cellulosa} = 40 \cdot 34,66 = 1\,386,40 \text{ kg}$$

Taktäckningens och isoleringsskiktets klimatpåverkan i BM1.0

I BM1.0 fås klimatpåverkan av skiffertakplattorna samt cellulosaisoleringen och reglarna till 774,8 kg CO₂e per m² A_{temp}. Med hjälp av ekv.12 har en omräkning till [kg CO₂e] gjorts, se Tabell 6, för att sedan addera till solpanelernas klimatpåverkan.

Tabell 6: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och isoleringstjocklek på 220 mm

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	544,79	74 418,31
A4 Transport	195,31	26 679,35
A5 Bygg- och installationsprocessen	34,7	4 740,02
	Σ 774,8	Σ 105 837,68



Figur 10: Isoleringens (220 mm) klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för ursprungskonstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$105\,837,68 + 13\,499,1 \approx 119\,340 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.1.2 Tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm

Med en isoleringstjocklek på 220 mm och ett tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm blir den totala väggstjockleken 502 mm.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Beräkningar för tillägg av ett isoleringsskikt görs likt ovan. Från energisimulering i VIP-Energy fås energianvändning till $E_a = 36,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga G. Därefter beräknas den årliga energianvändningen till $E_{\text{år}} = 4\,944,91 \text{ kWh}/\text{år}$. För att täcka energianvändningen behövs 18 solpaneler som har en klimatpåverkan på 13 499,1 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Då det krävs 18 stycken solpaneler för att täcka elbehovet på en årsbasis kommer massan för skifferplattorna att bli $m_{\text{skiffer}} = 356 \text{ kg}$.

Mängdberäkning av isoleringsskiktet

På samma sätt som i ursprungskonstruktionen används ytterväggarnas area som multipliceras med isoleringstjockleken för att erhålla volymen. Skiktets totala volym beräknas med ekv.8:

$$V_{\text{skikt}} = (0,220 + 0,045) \cdot 179,05 = 47,45 \text{ m}^3$$

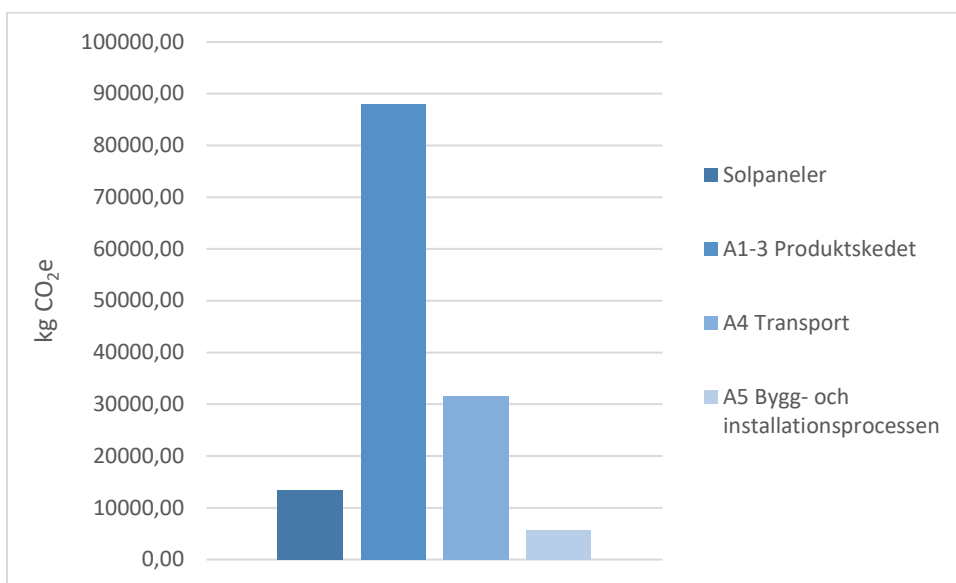
Med skiktets totala volym har sedan volymen och massan för reglar och cellulosa beräknats. Värdena fås till $V_{\text{reglar}} = 5,69 \text{ m}^3$, $m_{\text{reglar}} = 2\,845 \text{ kg}$, $V_{\text{cellulosa}} = 41,76 \text{ m}^3$ och $m_{\text{cellulosa}} = 1\,670,4 \text{ kg}$ (Bilaga G).

Taktäckningens och isoleringsskiktets klimatpåverkan i BM1.0

I BM1.0 fås klimatpåverkan av skiffertakplattorna samt cellulosaisoleringen och reglarna till 916,83 kg CO₂e per m² A_{temp}, se Tabell 7.

Tabell 7: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	643,72	87 932,15
A4 Transport	231,64	31 642,02
A5 Bygg- och installationsprocessen	41,47	5 664,80
	Σ 916,83	Σ 125 238,98



Figur 11: Isoleringens (45 + 220 mm) klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$125\,238,98 + 13\,499,1 \approx 138\,740 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.1.3 Tillägg av ett isoleringsskikt på 70 mm

Med en isoleringstjocklek på 220 mm och ett tillägg av ett isoleringsskikt på 70 mm blir den totala väggstjockleken 527 mm.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Från energisimulering i VIP-Energy fås energianvändning till $E_a = 36,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga H. Den årliga energianvändningen fås till $E_{\text{år}} = 4\,917,60 \text{ kWh}/\text{år}$. För att täcka energianvändningen behövs 18 stycken solpaneler som har en klimatpåverkan på 13 499,1 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Massan för skifferplattorna fås till $m_{skiffer} = 356$ kg med hjälp av ekv.10.

Mängdberäkning av isoleringsskiktet

Arean för ytterväggarna multipliceras med isoleringstjockleken för att få dess volym. Skiktets totala volym beräknas enligt:

$$V_{skikt} = (0,220 + 0,070) \cdot 179,05 = 51,92 \text{ m}^3$$

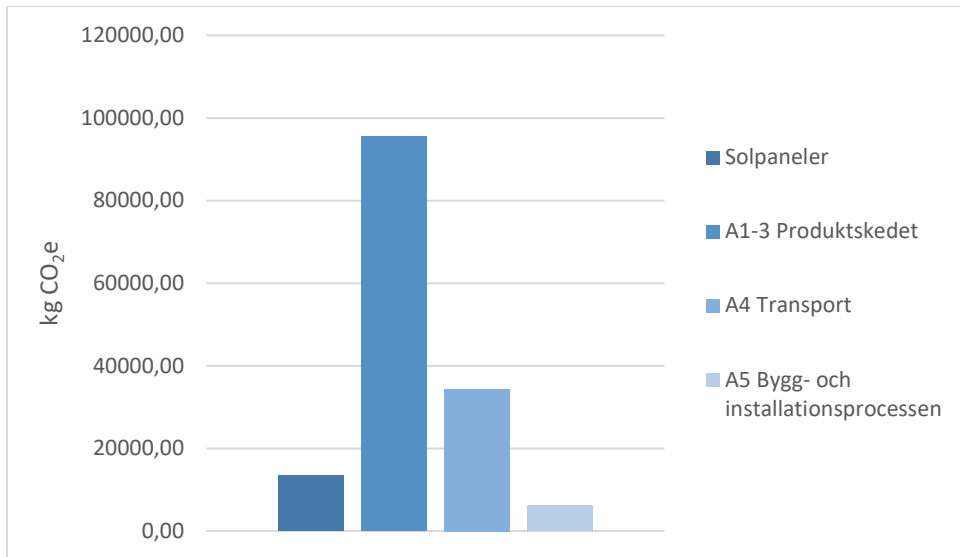
Med skiktets totala volym har sedan volymen och massan för regler och cellulosa beräknats. Värdena fås till $V_{reglar} = 6,23 \text{ m}^3$, $m_{reglar} = 3\,115$ kg, $V_{cellulosa} = 45,69 \text{ m}^3$ och $m_{cellulosa} = 1\,827,6$ kg (Bilaga H).

Taktäckningens och isoleringsskiktets klimatpåverkan i BM1.0

Taktäckningen samt cellulosaisoleringen och reglarnas klimatpåverkan fås i BM1.0 till 996,08 kg CO₂e per m² A_{temp} se Tabell 8.

Tabell 8: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och tillägg av ett isoleringsskikt på 70 mm

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	698,89	95 468,37
A4 Transport	251,95	34 416,37
A5 Bygg- och installationsprocessen	45,24	6 179,78
	∑ 996,08	∑ 136 064,53



Figur 12: Isoleringens (70 + 220 mm) klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$136\,064,72 + 13\,499,1 \approx 149\,570 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.1.4 Tillägg av ett isoleringsskikt på 95 mm

Med en isoleringstjocklek på 220 mm och ett tillägg av ett isoleringsskikt på 95 mm blir den totala väggstjockleken 552 mm.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Från energisimulering fås energianvändning till $E_a = 37,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$. Den årliga energianvändningen fås till $E_{\text{år}} = 4\,876,62 \text{ kWh/år}$, se Bilaga I. För att täcka energianvändningen behövs 18 stycken solpaneler som har en klimatpåverkan på 13 499,1 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Massan för skifferplattorna fås till $m_{\text{skiffer}} = 356 \text{ kg}$ med hjälp av ekv.10.

Mängdberäkning av isoleringsskiktet

Arean för ytterväggarna multipliceras med isoleringstjockleken för att få dess volym. Skiktets totala volym beräknas enligt nedan:

$$V_{\text{skikt}} = (0,220 + 0,095) \cdot 179,05 = 56,40 \text{ m}^3$$

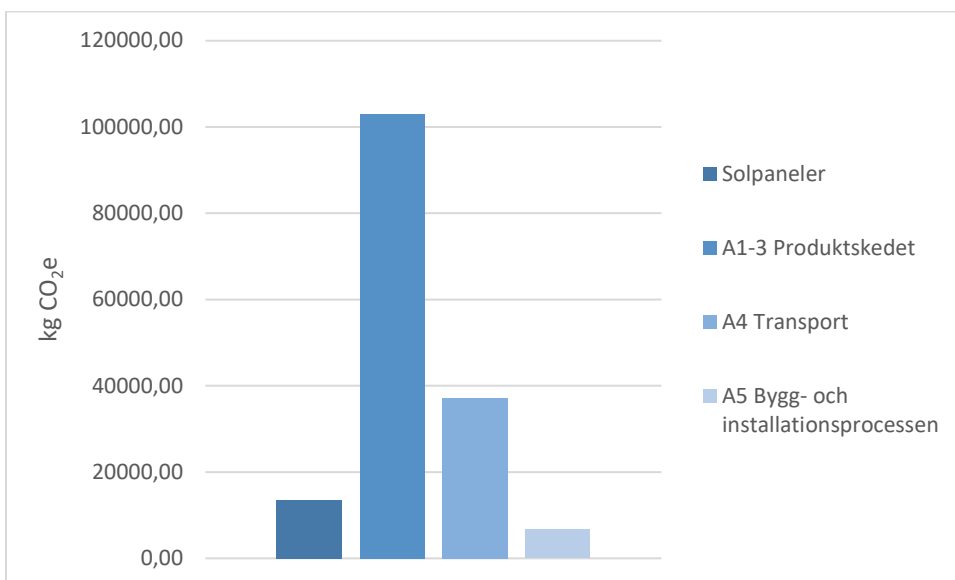
Med skiktets totala volym har sedan volymen och massan för regler och cellulosa beräknats. Värdena fås till $V_{reglar} = 6,77 \text{ m}^3$, $m_{reglar} = 3\,385 \text{ kg}$, $V_{cellulosa} = 49,63 \text{ m}^3$ och $m_{cellulosa} = 1\,985,2 \text{ kg}$ (Bilaga I).

Taktäckningens och isoleringsskiktets klimatpåverkan i BM1.0

Taktäckningen samt cellulosaisoleringen och reglarnas klimatpåverkan fås i BM1.0 till $1\,075,43 \text{ kg CO}_2\text{e per m}^2 A_{temp}$.

Tabell 9: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och tillägg av ett isoleringsskikt på 95 mm

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	754,13	103 014,16
A4 Transport	272,28	37 193,45
A5 Bygg- och installationsprocessen	49,02	6 696,13
	Σ 1 075,43	Σ 146 903,74



Figur 13: Isoleringens (95 + 220 mm) klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$146\,903,74 + 13\,499,1 \approx 160\,410 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.1.5 Reduktion av ett isoleringsskikt på 50 mm

Med en isoleringstjocklek på 170 mm blir den totala väggstjockleken 407 mm.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Vid en reducering av isoleringsskiktet med 50 mm blir husets energianvändning $E_a = 38,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga J. Den årliga energianvändningen fås till $E_{a,\text{år}} = 5\,190,80 \text{ kWh/år}$. För att täcka husets årliga energianvändning krävs i detta fall 19 stycken solpaneler som producerar $5\,377 \text{ kWh/år}$ och har en klimatpåverkan på $14\,249,05 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Mängdberäkning av taktäckning

För att kontrollera att 19 solpaneler får plats på takytan beräknas dess totala area enligt ekv.6 till $A_{\text{solpaneler}} = 33,44 \text{ m}^2$. Solpanelerna med en area på $33,44 \text{ m}^2$ får således plats på den södra takytan. För att beräkna resterande takarea som skiffertakplattorna kommer täcka subtraheras takets area med solpanelernas area. Arealen för skifferplattorna beräknas till $A_{\text{skiffer}} = 17,83 \text{ m}^2$. Volymen och massan för takplattor fås sedan med hjälp av ekv.8 och ekv.10 till $V_{\text{skiffer}} = 0,12 \text{ m}^3$ och $m_{\text{skiffer}} = 312 \text{ kg}$.

Mängdberäkning av isoleringsskiktet

Skiktets totala volym beräknas enligt:

$$V_{\text{skikt}} = 0,170 \cdot 179,05 = 30,44 \text{ m}^3$$

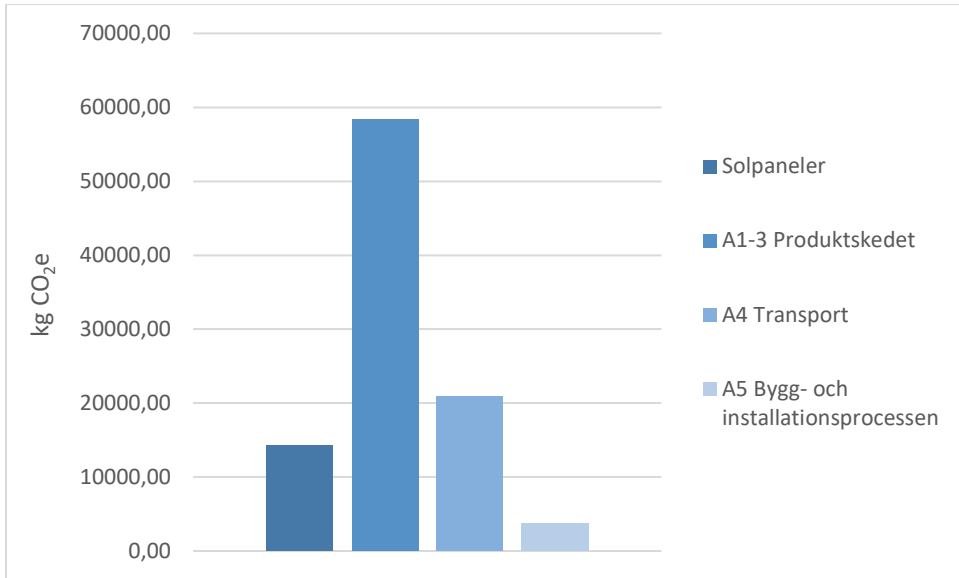
Med skiktets totala volym har sedan volymen och massan för regler och cellulosa beräknats. Värdena fås till $V_{\text{reglar}} = 3,65 \text{ m}^3$, $m_{\text{reglar}} = 1\,825 \text{ kg}$, $V_{\text{cellulosa}} = 26,79 \text{ m}^3$ och $m_{\text{cellulosa}} = 1\,071,6 \text{ kg}$ (Bilaga J).

Taktäckningens och isoleringsskiktets klimatpåverkan i BM1.0

Skiffer takplattorna samt cellulosaisoleringen och reglarnas klimatpåverkan fås i BM1.0 till $606,52 \text{ kg CO}_2\text{e per m}^2 A_{\text{temp}}$.

Tabell 10: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och en isoleringstjocklek på 170 mm

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	426,99	58 326,83
A4 Transport	152,57	20 841,06
A5 Bygg- och installationsprocessen	26,96	3 682,74
	Σ 606,52	Σ 82 850,63



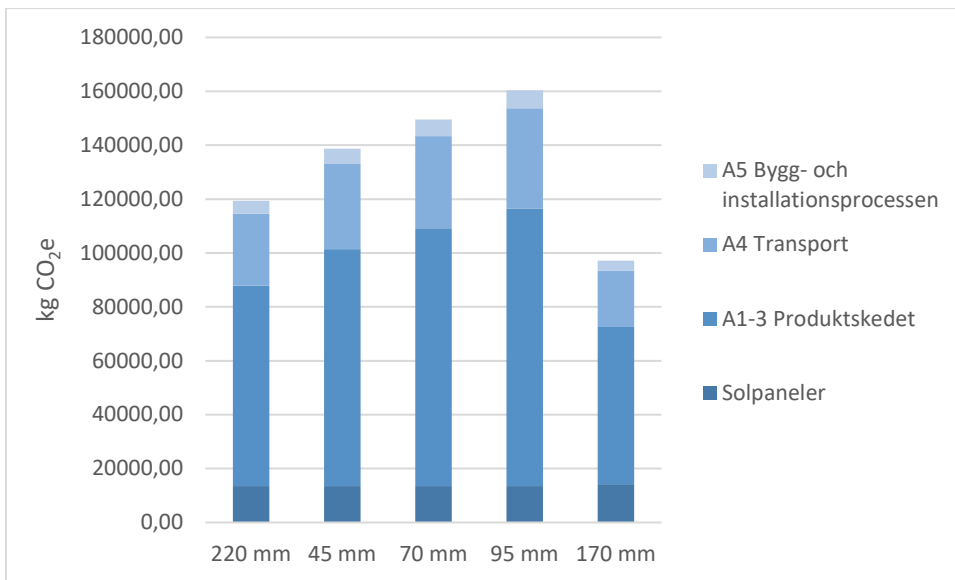
Figur 14: Isoleringens (170 mm) klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$82\,850,63 + 14\,249,05 \approx 97\,100 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.1.6 Sammanfattning

I Figur 15 kan klimatpåverkan för de olika isoleringstjocklekarna jämföras. Avläsning ger att isoleringstjockleken 170 mm med 19 solpaneler ger lägst klimatpåverkan.



Figur 15: Ett sammansatt resultat av de olika isoleringarnas tillsammans med solpanelers klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5.

4.2.2 Utredning av grund

4.2.2.1 Foamglasgrund

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Foamglasgrunden tillhör ursprungsstrukturen som Karin Petterssons Arkitektbyrå har projekterat. Därav blir energianvändningen $E_a = 37,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga K. Med ekv.1 fås den årliga energianvändningen till $E_{a,\text{år}} = 5\,054,20 \text{ kWh}$. För att täcka husets elbehov krävs 18 stycken solpaneler som har en klimatpåverkan på $13\,499,1 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Mängdberäkning av taktäckning

Med samma andel solpaneler som övriga fall fås massan för taktäckningen till $m_{\text{skiffer}} = 356 \text{ kg}$.

Mängdberäkning av foamglasgrunden

En mängdberäkning av grundkonstruktionens delar har gjorts för att ta reda på materialens klimatpåverkan. Med hjälp av grundens area $A_{\text{grund}} = 88,8 \text{ m}^2$, se Tabell 3, har värdet multipliceras med materialjocklekarna för att erhålla volymen. Konstruktionen består av 22 mm träpanel, 95 mm cellulosaisolering med regler samt 300 mm foamglas (Figur 4).

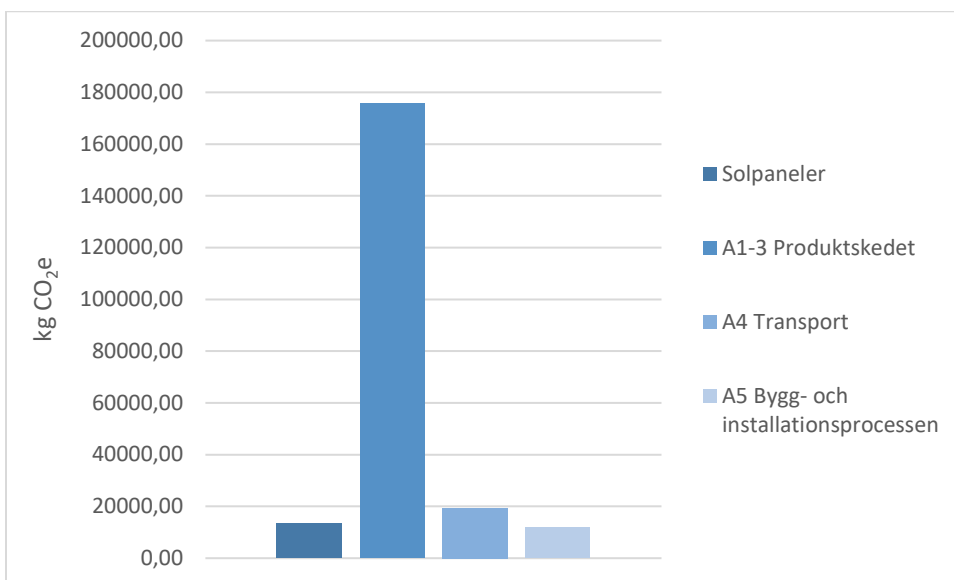
Volymen och massan för träpanelen beräknas enligt ekv.8 och ekv.10 till $V_{panel} = 1,95 \text{ m}^3$ och $m_{panel} = 975 \text{ kg}$. Isoleringen och reglarnas totala volym fås till $V_{cellulosa,reglar} = 8,44 \text{ m}^3$. Reglarna och isoleringens volym erhålls med hjälp av ekv.11 till $V_{reglar} = 1,01 \text{ m}^3$ och $V_{cellulosa} = 7,43 \text{ m}^3$. Massan för skikten fås med hjälp av ekv.10 till $m_{reglar} = 505 \text{ kg}$ och $m_{cellulosa} = 297,20 \text{ kg}$. Grundens sista skikt, foamglas, fås till $V_{foamglas} = 26,64 \text{ m}^3$ och $m_{foamglas} = 666 \text{ kg}$ (Bilaga K).

Taktäckningens och grundens klimatpåverkan i BM1.0

I BM1.0 fås klimatpåverkan av skiffertakplattorna samt foamglasgrunden till $1\,515,29 \text{ kg CO}_2\text{e per m}^2 A_{temp}$.

Tabell 11: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och foamglasgrund

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	1 286,48	175 733,17
A4 Transport	142,37	19 447,74
A5 Bygg- och installationsprocessen	86,44	11 807,70
	∑ 1 515,29	∑ 206 988,61



Figur 16: Foamglasgrundens klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för ursprungskonstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$206\,988,61 + 13\,499,1 \approx 220\,490 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.2.2 Platta på mark

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Från simuleringen kan en energianvändning för platta på mark erhållas till $E_a = 37,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga L. Med hjälp av ekv.1 fås den årliga energianvändningen $E_{\text{år}} = 5\,095,18 \text{ kWh}/\text{år}$. För att beräkna hur många solpaneler som krävs används ekv.2, beräkningen visar att 19 stycken solpaneler krävs för att täcka elbehovet på en årsbasis. Solpanelernas totala klimatpåverkan blir 14 249,05 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Med tjockleken för produkten "Samaca 49" från nordskiffers hemsida kan volymen beräknas. Volymen användes därefter i ekv.10 för att beräkna massan $m_{\text{skiffer}} = 312 \text{ kg}$.

Mängdberäkning av platta på mark

En mängdberäkning av grundkonstruktionens delar görs för att ta reda på materialens klimatpåverkan. Med hjälp av grundens area kan värdet enligt ekv.8 multipliceras med materialtjocklekarna för att erhålla volymen. Enligt en av VIP-Energy filerna består konstruktionen av 250 mm cellplast, 100 mm betong samt 20 mm träpanel.

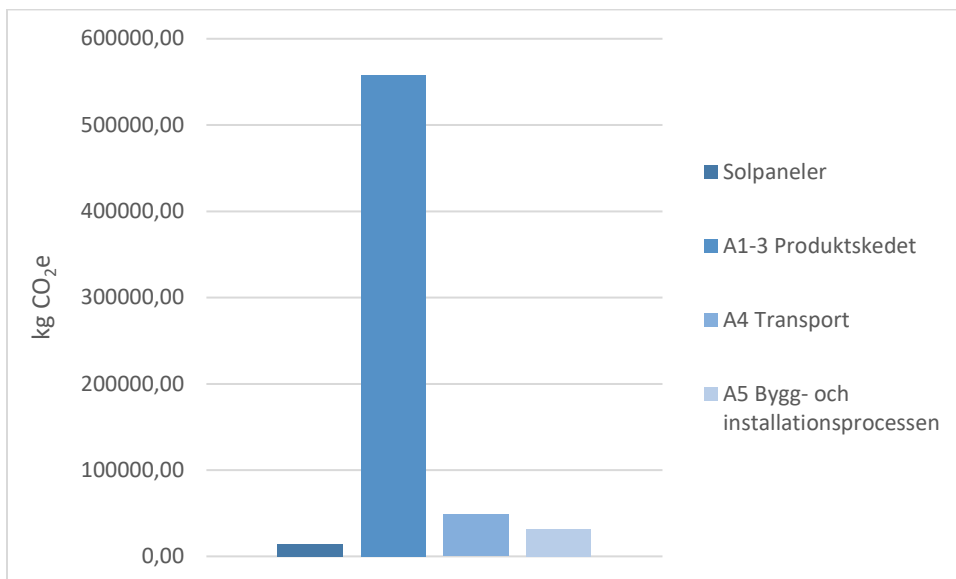
För att beräkna materialens volym multipliceras arean för grunden med respektive materials tjocklek. Utifrån ekv.10 multipliceras volymen med materialens densitet och massorna fås till $m_{\text{panel}} = 890 \text{ kg}$, $m_{\text{betong}} = 20\,424 \text{ kg}$ och $m_{\text{cellplast}} = 555 \text{ kg}$ (Bilaga L).

Taktäckningens och grundens klimatpåverkan i BM1.0

I BM1.0 fås klimatpåverkan av skiffertakplattorna samt grunden till 4 671,99 kg CO₂e per m² A_{temp}. Se Tabell 12 för en djupare inblick i klimatutsläppen för varje skede samt omräkningen till [kg CO₂e].

Tabell 12: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och platta på mark

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	4 082,17	557 624,42
A4 Transport	354,22	48 386,45
A5 Bygg- och installationsprocessen	235,6	32 182,96
	Σ 4 671,99	Σ 638 193,83



Figur 17: Platta på mark klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$638\,193,83 + 14\,249,05 \approx 652\,442,88 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.2.3 Reviderad platta på mark

För att platta på mark ska uppnå samma U-värde som foamglasgrunden har en ökning av 100 mm cellplast tillförts till konstruktionen. Med hjälp av indata för materialen kunde en U-värdesberäkning erhållas i VIP-Energy. Då konstruktionerna har samma U-värde kommer energianvändningen att vara likadan för platta på mark som för foamglaslet. Energianvändningen för både grunderna är 37,0 kWh/(m²år), se Bilaga M.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Med hjälp av ekv.1 fås den årliga energianvändningen $E_{\text{år}} = 5\,054,20 \text{ kWh/år}$. För att täcka husets elbehov krävs 18 stycken solpaneler som har en klimatpåverkan på $13\,499,1 \text{ kg CO}_2\text{e}$.

Mängdberäkning av taktäckning

Med 18 stycken solpaneler fås taktäckningens massa till $m_{\text{skiffer}} = 356 \text{ kg}$.

Mängdberäkning av reviderad platta på mark

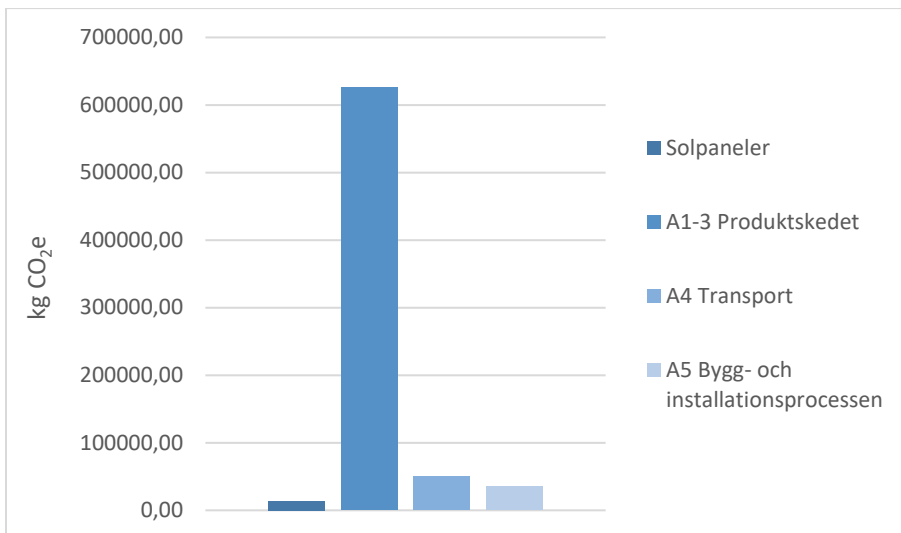
Konstruktionen ser ut på följande sätt: 350 mm cellplast, 100 mm betong och 20 mm panel. Skillnaden mellan 4.2.3.2 *Platta på mark* och den reviderade platta på marken är ett tillägg på 100 mm cellplast. Massan för de resterande materialskikten är därför den samma, $m_{\text{betong}} = 20\,424 \text{ kg}$ och $m_{\text{panel}} = 890 \text{ kg}$. Volymen och massan för cellplasten beräknas enligt ekv.8 och ekv.10 till $V_{\text{cellplast}} = 31,08 \text{ m}^3$ och $m_{\text{cellplast}} = 777 \text{ kg}$ (Bilaga M).

Taktäckningens och grundens klimatpåverkan i BM1.0

I BM1.0 fås klimatpåverkan av skiffertakplattorna samt grunden till $5\,210,22 \text{ kg CO}_2\text{e}$ per $\text{m}^2 A_{\text{temp}}$.

Tabell 13: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och reviderad platta på mark

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	4 582,39	625 954,47
A4 Transport	366,87	50 114,44
A5 Bygg- och installationsprocessen	260,96	35 647,14
	∑ 5 210,22	∑ 711 716,05



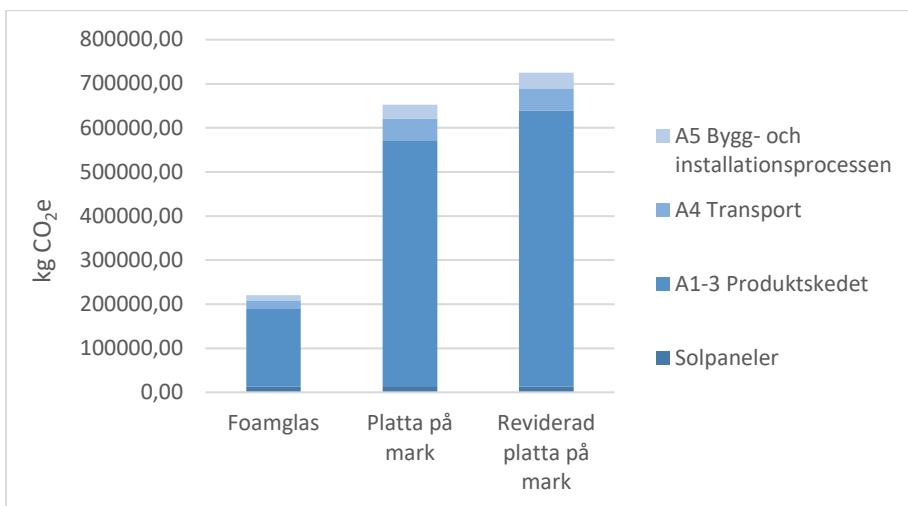
Figur 18: Den reviderade platta på mark klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5 och solpanelernas klimatpåverkan

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$711\,716,05 + 13\,499,1 \approx 725\,220 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.2.4 Sammanfattning

I Figur 19 kan klimatpåverkan för de olika konstruktionsgrunderna jämföras. Diagrammet visar att foamglasgrunden med 18 solpaneler ger lägst klimatpåverkan.



Figur 19: De olika grundernas tillsammans med solpanelers klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5.

4.2.3 Innerväggar

Innerväggarna som behandlas i följande avsnitt är husets våtrumsinnerväggar.

4.2.3.1 Innerväggar enligt ursprungskonstruktion

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Innerväggarna tillhör ursprungskonstruktionen och husets energianvändning blir därför densamma som tidigare utredningar av ursprungskonstruktionen, $E_a = 37,0$ kWh/(m²år), se Bilaga N. Med ekv.1 fås den årliga energianvändningen till $E_{\text{år}} = 5054,20$ kWh/år. För att täcka husets elbehov krävs 18 stycken solpaneler med en klimatpåverkan på 13 499,1 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Med 18 stycken solpaneler blir skiffertakplattornas massa $m_{\text{skiffer}} = 356$ kg.

Mängdberäkning av innerväggar

En mängdberäkning av innerväggarnas delar görs för att ta reda på materialens klimatpåverkan. I ursprungskonstruktionen finns tre olika innerväggar i anslutning till våtrummen. För att förenkla beräkningar har samma material från de tre väggarna slagits ihop. Från Tabell 3 har areorna för väggarna erhållits.

Arean multipliceras sedan med materialtjocklekarna för att beräkna volymen. Konstruktionsväggarna kan ses i Figur 5, Figur 6 och Figur 7. Densiteter som använts vid beräkningar är från Tabell 4.

$$V_{\text{humidboard}} = 0,0125 \cdot (31,84 + 4,32) = 0,45 \text{ m}^3$$
$$m_{\text{humidboard}} = 720 \cdot 0,45 = 324 \text{ kg}$$

$$V_{\text{plywood}} = 0,027 \cdot (31,84 + 4,32) = 0,98 \text{ m}^3$$
$$m_{\text{plywood}} = 720 \cdot 0,98 = 705,6 \text{ kg}$$

$$V_{\text{puts}} = 0,02 \cdot 19,83 = 0,40 \text{ m}^3$$
$$m_{\text{puts}} = 2000 \cdot 0,40 = 800 \text{ kg}$$

$$V_{\text{tegel}} = 0,115 \cdot 19,83 = 2,28 \text{ m}^3$$
$$m_{\text{tegel}} = 1500 \cdot 2,28 = 3\,420 \text{ kg}$$

För att beräkna skiktet med cellulosisolering och reglar har regelprocenten enligt Isover använts. För att få reglarnas respektive isoleringens volym multipliceras materialskiktets totala volym med 12 % respektive 88 %. Med hjälp av ekv.8 har volymen för väggen VT1 beräknas till:

$$V_{cellulosa,reglar} = 0,095 \cdot 31,84 = 3,02 \text{ m}^3$$

Därefter beräknas respektive skikts volym samt massa:

$$V_{reglar,VT1} = 0,12 \cdot 3,02 = 0,36 \text{ m}^3$$

$$m_{reglar,VT1} = 500 \cdot 0,36 = 180 \text{ kg}$$

$$V_{cellulosa} = 0,88 \cdot 3,02 = 2,66 \text{ m}^3$$

$$m_{cellulosa} = 40 \cdot 2,66 = 106,4 \text{ kg}$$

I innerväggen, VT3, finns ett skikt med reglar och ljudisolering. Skiktets volym och materialens volym samt massa beräknas med ekv.8, ekv.11 och ekv.10.

$$V_{ljudisol,reglar} = 0,22 \cdot 4,32 = 0,95 \text{ m}^3$$

$$V_{reglar,VT3} = 0,12 \cdot 0,95 = 0,114 \text{ m}^3$$

$$m_{reglar,VT3} = 500 \cdot 0,114 = 57 \text{ kg}$$

$$V_{ljudisolering} = 0,88 \cdot 0,95 = 0,84 \text{ m}^3$$

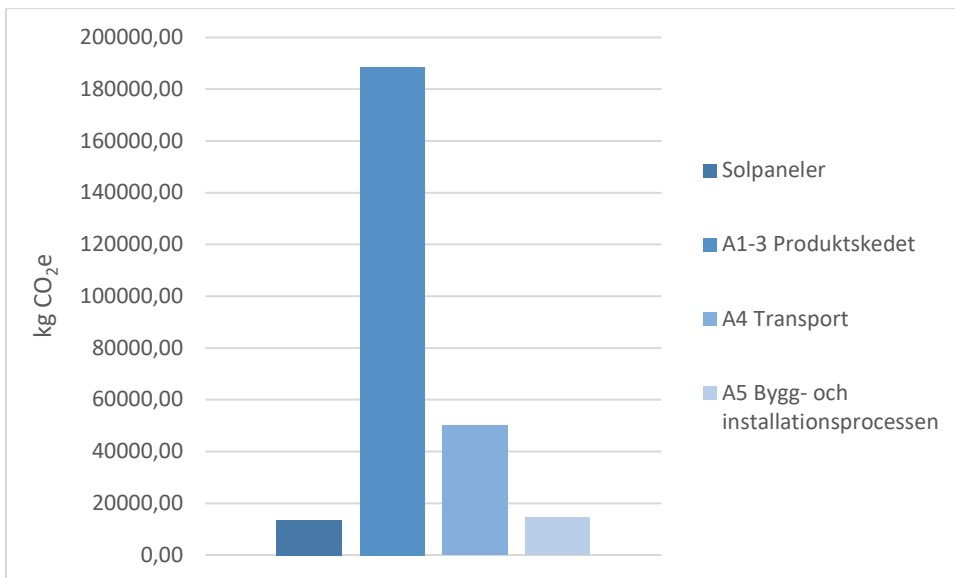
$$m_{ljudisolering} = 50 \cdot 0,84 = 42 \text{ kg}$$

Taktäckningens och innerväggarnas klimatpåverkan i BM1.0

I BM1.0 fås klimatpåverkan av skiffertakplattorna samt innerväggarna till 1 854,27 kg CO₂e per m² A_{temp}. I Tabell 14 visas klimatpåverkan från respektive skede. En omräkning krävs till [kg CO₂e] för att sedan addera till solpanelernas klimatpåverkan. Omräkningen sker genom att multiplicera med A_{temp}.

Tabell 14: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och våtrumsinnerväggar enligt ursprungs-konstruktion

Klimatpåverkan (GWP _{GHG})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	1 380,72	188 606,35
A4 Transport	367,49	50 199,13
A5 Bygg- och installationsprocessen	106,06	14 487,80
	Σ 1 854,27	Σ 253 293,28



Figur 20: Typhusets våtrumsinnerväggar (V1, V2, och V3) och solpanelernas klimatpåverkan för de olika informationsmodulerna A1-A5.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för ursprungskonstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$253\,293,28 + 13\,499,1 \approx 266\,800 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.3.2 Innerväggar i anslutning till våtrum av betong

Följande åtgärd görs för att se hur energianvändningen påverkas ifall våtrumsväggarna är av betongkonstruktion.

Beräkning av solpanelernas klimatpåverkan

Energianvändningen för denna konstruktion fås i VIP-Energy till

$E_a = 36,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga O. Den årliga energianvändningen beräknas till $E_{a,\text{år}} = 5\,026,88 \text{ kWh}/\text{år}$.

Med en årlig användning på 5 026,88 kWh och en årlig elproduktion på 283 kWh fås antalet solpaneler till 18 stycken. Det krävs alltså 18 stycken solpaneler för att täcka energianvändningen och den sammanlagda elproduktionen blir 5 094, kWh per år. Solpanelernas klimatpåverkan blir således 13 499,1 kg CO₂e.

Mängdberäkning av taktäckning

Med 18 stycken solpaneler blir taktäckningens massa $m_{\text{skiffer}} = 356 \text{ m}^2$.

Mängdberäkning av betong och puts

Våtrumsväggarnas volym och area fås från Tabell 3. Materialutbytet innebär att endast betong och puts kommer användas. För att underlätta beräkningarna har innerväggarna lagts ihop och beräknats som ett stort skikt av betong respektive puts. Den nya konstruktionen ser ut på följande sätt: 10 mm puts, den totala vägg tjockleken i betong och sedan 10 mm puts. Med hjälp av materialens densitet taget från Tabell 4 kan massan beräknas.

$$m_{betong} = \rho_{betong} \cdot (V_{VT1} + V_{VT2} + V_{VT3}) = 2\,300 \cdot (5,21 + 2,98 + 1,17) = 21\,528 \text{ kg}$$

$$V_{puts} = d_{puts} \cdot (A_{VT1} + A_{VT2} + A_{VT3}) = (0,01 + 0,01) \cdot (31,84 + 19,83 + 4,32) = 1,12 \text{ m}^3$$

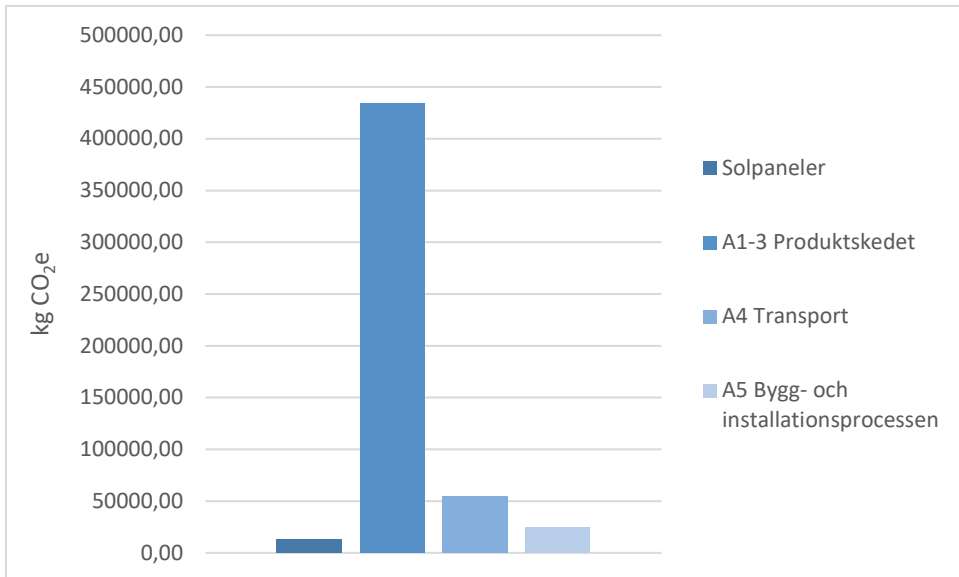
$$m_{puts} = \rho_{puts} \cdot V_{puts} = 2000 \cdot 1,12 = 2\,240 \text{ kg}$$

Taktäckningens och isoleringsskiktets klimatpåverkan i BM1.0

Skiffer takplattorna samt betongens och putsens klimatpåverkan fås i BM1.0 till 3 753,45 kg CO₂e per m² A_{temp}. I Tabell 15 presenteras värdena även värdena i [kg CO₂e]. Summan av dessa adderas sedan med solpanelernas klimatpåverkan.

Tabell 15: Klimatpåverkan i BM1.0 för taktäckning och våtrumsinnerväggar av betong

Klimatpåverkan (GWP _{GHC})	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]	[kg CO ₂ e]
A1-3 Produktskedet	3 177,08	433 989,13
A4 Transport	399,83	54 616,78
A5 Bygg- och installationsprocessen	176,54	24 155,36
	Σ 3 753,45	Σ 512 721,27



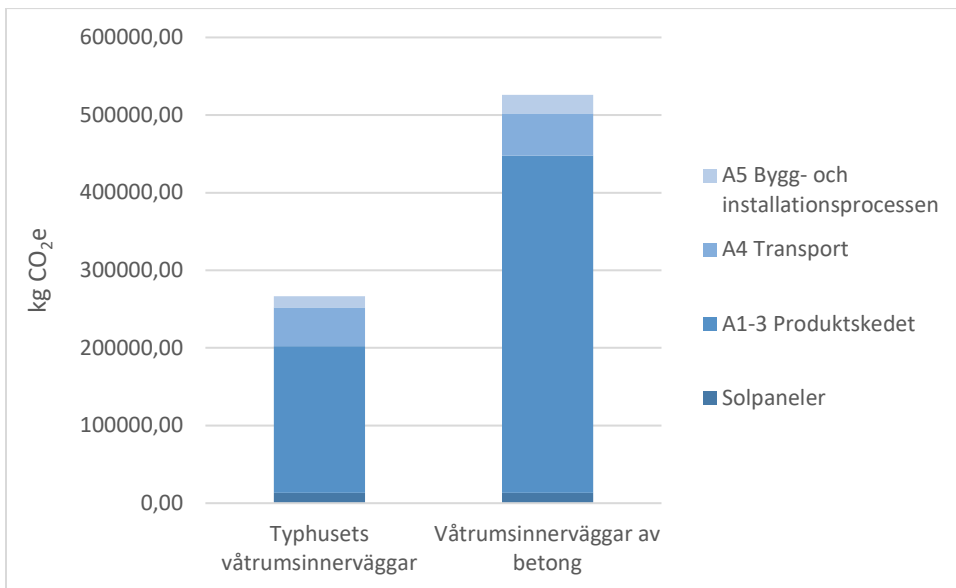
Figur 21: Klimatpåverkan från solpaneler och våtrumsinnerväggar av betong för informationsmodulerna A1-A5.

Den totala klimatpåverkan i [kg CO₂e] för konstruktionen tillsammans med solpanelerna blir:

$$512\,721,27 + 13\,499,1 \approx 526\,220 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.2.3.3 Sammanfattning

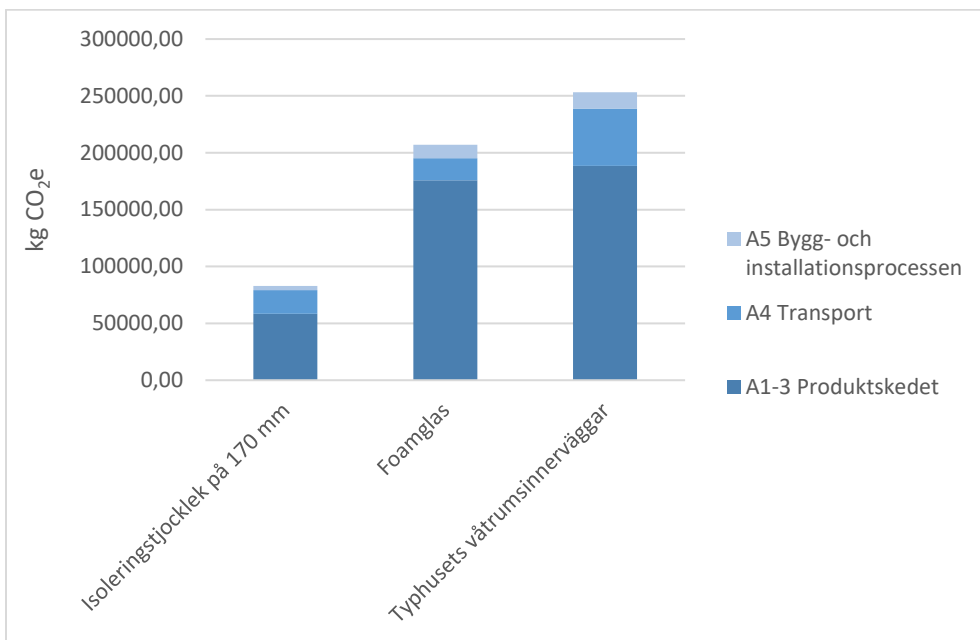
I Figur 22 kan klimatpåverkan för de olika innerväggskonstruktionerna jämföras. Diagrammet visar att innerväggarna av ursprungskonstruktion med 18 solpaneler ger lägst klimatpåverkan.



Figur 22: En jämförelse av typhusets våtrumsinnerväggar och våtrumsinnerväggar i betong klimatpåverkan.

4.2.4 Sammanfattning av energieffektiviseringsåtgärder

Från de beräkningarna som genomförts kan det konstateras att den lägsta klimatpåverkan erhålls genom att ha ytterväggar med en isoleringstjocklek på 170 mm samt en grundkonstruktion av foamglas och innerväggar enligt ursprungskonstruktionen.



Figur 23: En jämförelse av de olika energieffektiviseringsåtgärdernas klimatpåverkan.

För att beräkna den totala klimatpåverkan för alla tre konstruktioner behövs respektive byggnadsdel klimatpåverkan enligt Tabell 16.

Tabell 16: Den totala klimatpåverkan för de tre bästa åtgärda

Åtgärd	[kg CO ₂ e per m ² A _{temp}]
Isoleringstjocklek på 170 mm	97 100
Grund av foamglas	220 490
Innerväggar enligt ursprungskonstruktion	266 800
	∑ 584 390

Konstruktionernas totala klimatpåverkan beräknas till:

$$97\,100 + 220\,490 + 266\,800 = 584\,390 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Skulle typhuset byggas med konstruktionerna ovan blir villans energianvändning $E_a = 38,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, se Bilaga J. För att täcka det årliga behovet behövs det 19 stycken solpaneler som har en klimatpåverkan på 14 249,05 kg CO₂e.

Den totala klimatpåverkan fås till:

$$14\,249,05 + 97\,100 + 220\,490 + 266\,800 \approx 598\,640 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

5 Diskussion

Denna fallstudie har, baserat på typhuset projekterat av Karin Petterssons Arkitektbyrå AB, utrett lämpliga energiåtgärder. Åtgärderna har påvisat små förändringar i energianvändning men relativt stora skillnader gällande klimatutsläpp. För ett klimatsmart hus är det därför viktigt att undersöka och väga olika byggmaterial och konstruktionslösningar samt ta hänsyn till elförsörjning av förnyelsebara energikällor.

Av alla energiåtgärder som undersökts konstateras det i rapportens resultat att den åtgärden lämplig att utföra är en minskning av isoleringstjockleken på 50 mm. Resultatet påvisar att husets grund och våtrumsinnerväggar bör bevaras enligt ursprungskonstruktion då de ger en lägre klimatpåverkan i jämförelse med de andra energiåtgärderna. Däremot bör det tas i åtanke att resultatet från LCA-studien enbart gäller för de utredningar som undersökts i studien. Det innebär att man inte kan fastställa att en minskning av isolering generellt är en bättre åtgärd att genomföra ur ett klimatperspektiv.

LCA-verktyget BM1.0

Avgränsning till IVL:s resursregister i BM1.0 innebär ett litet utbud av byggmaterial vid beräkning av klimatpåverkan. Registret är inte välutvecklat och har inga specifika tillverkare för materialen. Därav är värdena från resultaten för klimatutsläpp inte helt korrekta i praktiken. Till exempel användes glasull istället för foamglas, oarmerad prefabbetong istället för skiffertakplattor och fasadputs som inomhusputs. Alla byggmaterial, tillgängliga i resursregistret, som använts i fallstudien antas ha en högre klimatpåverkan än de faktiska materialen. För att erhålla ett mer korrekt värde hade en inmatning av aktuella EPD:er därför varit väsentlig.

Klimatutsläppen för respektive byggmaterial överensstämmer inte fullständigt med materialens verkliga utsläpp. Fallstudien visar istället hur en livscykelanalys kan användas för att Petterssons redan i ett tidigt skede ska kunna välja ett klimatsmartare alternativ.

Utredning av isoleringstjocklekar

Ändringen av energianvändning för respektive åtgärd gällande de olika isoleringstjocklekarna påvisas i resultatet. Typhusets konstruktion med en isoleringstjocklek på 220 mm gav en energianvändning på 37,0 kWh/(m²år). Ett tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm gav en energianvändning på 36,3 kWh/(m²år). Görs istället en ökning av ett isoleringsskikt på 95 mm fås energianvändningen till 35,7 kWh/(m²år). Utifrån det här kan det konstateras att skillnaden i energianvändning inte är markant med hänsyn till den klimatpåverkan som sker vid ökning av isoleringsskikten. Den låga skillnaden antas grunda sig i att den ursprungliga konstruktionen redan har ett välisolerat och tätt klimatskal. I studien utreds istället en minskning av typhusets isoleringstjocklek. Resultatet visar att en isoleringstjocklek på 170 mm med 19 solpaneler ger en lägre klimatpåverkan än fallstudiens ursprungskonstruktion. Även i jämförelse

med resterande utredda isoleringstjocklekar får fallet en mindre påverkan på klimatet. Ett tunnare skikt isolering med fler solpaneler är alltså det mest klimatvänliga alternativet.

Då en mängd antaganden gjorts i rapporten kan resultatet diskuteras om hur vidare det hade sett ut ifall vissa förutsättningar varit annorlunda. Förslagsvis kan en utredning göras på ytterväggskonstruktionen som helhet och inte endast beakta isoleringstjockleken. I rapporten påvisas det att cellulosa lösullen är en av de komponenterna i väggen med lägst klimatpåverkan. En konstruktion med större lager lösull och mindre lager skivor, främst den hårda skivan WOODYCELL TD80, kan eventuellt ge en mindre klimatpåverkan. Enligt BM1.0 har träfiberskivor (HDF, hård board) en klimatpåverkan på cirka 0,30 kg CO₂e/kg medan en cellulosa isolering har 0,19 kg CO₂e/kg.

En vidare utredning av ett större isoleringsskikt än 95 mm har inte beaktats då vägg-tjockleken blir otymplig. Detta beror bland annat på att dagsljusinsläppet påverkas negativt och att BBR:s krav gällande dagsljus kan bli svåra att uppfylla. En reduktion på större än 50 mm har inte utretts då problem med byggnadens bärlighet och BBR:s energikrav antas uppkomma.

Utredning av olika grundkonstruktioner

I Figur 19 kan resultatet för klimatpåverkan gällande de olika konstruktionslösningarna för grunden läsas av. Från resultatet kan det konstateras att skillnaden i klimatutsläpp för de olika byggnadsdelarna är markanta. Ursprungskonstruktionen med foamglas har en klimatpåverkan på 220 490 kg CO₂e medan den reviderade platta på mark har en klimatpåverkan på 725 220 kg CO₂e. Att skillnaden är markant beror främst på att betong och cellplast har en mycket högre klimatpåverkan än cellulosa isolering och foamglas men även att mängden betong är betydligt högre än mängden foamglas.

På grund av IVL:s begränsade resursregister har det i arbetet använts glasull istället för foamglas vid beräkning av klimatpåverkan för grunden. Glasull kan, precis som foamglas, vara tillverkat av återvunnet glas. Trots detta har glasullen en klimatpåverkan på klimatpåverkan på 1,25 kg CO₂e, vilket även är högre än betongs klimatpåverkan. Det verkliga utsläppet för foamglasgrunden kan därför antas vara lägre än vad som påvisats i rapporten.

Utredning av innerväggar i anslutning till våtrummen

För att skapa en mer värmetrög byggnad utreddes typhusets innerväggar i anslutning till våtrummen. Resultatet visar tydligt att skillnaden i energianvändning inte är tillräcklig stor för att ersätta ursprungskonstruktionen med byggmaterialen betong och puts. Olönsamheten grundar sig i att en konstruktion av endast betong ger ett högre klimatutsläpp på cirka 259 420 kg CO₂e. Dessutom är andelen solpaneler, för att täcka elbehovet, densamma i både fallen och därav blir det ingen skillnad i utsläpp för dessa.

Den lilla skillnaden i energianvändningen grundar sig i att huset redan är väl projekterat med en god värmeisolering, hög lufttäthet och ett energieffektivt ventilationssystem. Det märks tydligt att Peterssons vid projektering lagt stor vikt på byggnadsdetaljer för att minimera köldbryggor och luftläckage. Med ett logiskt resonemang kan det därför fastslås att det finns olika vägar att gå för att skapa en byggnad med hög värmetröghet.

Solpaneler och dess klimatpåverkan

Typhuset uppfyller ett nära-nollenergihus enligt BBR26 (se husets energiprestanda primärenergital från VIP-Energy i Bilaga F-0) samt enligt Energiprestanda direktivets definition. Energin som tillförs till villan kommer från solex producerad på plats. I rapporten har det optimala läget för solexproduktion undersökts, det vill säga när solpanelerna är placerade i söder. Under året varierar solens position beroende på årstid och tid på dygnet, faktorerna påverkar således hur mycket solinstrålning som når solpanelerna. Med det optimala läget menas att solen står som högst på himlen och att solinstrålningen därför blir maximal. I Tabell 5 presenteras tydligt hur olika orienteringar påverkar den årliga elproduktionen för en solpanel. Om huset är placerat med takytor som vetter mot nord och syd, som i fallstudien, är en placering av solpaneler på sydliga taket mest lämpligt. Vetter takytorna däremot mot öst och väst är en placering på östra taket mest lämpligt. Då antalet solpaneler varierar för respektive orientering och därav hela systemets storlek är det viktigt att ta hänsyn till att det får plats på taket. I Tabell 5 kan resultatet tolkas som att 18 stycken solpaneler har ungefär samma klimatutsläpp som 33 stycken. Resultatet uppfattas som missvisande men för fallstudiens specifika fall beräknas klimatutsläppet för hur många kWh som solpanelerna producerar under 50 år. Då huset ska uppnå ett nära-nollenergihus innebär det att inget eller knappt något årsöverskott ska erhållas. Panelerna, oavsett 18 eller 33 styck, kommer producera ungefär lika mycket solex. Klimatpåverkan blir alltså nästan densamma oberoende orientering och antal.

Förutom panelens förmåga att producera el är klimataspekter en viktig fråga. Energimyndigheten konstaterar att produktionen är den del i en solcells livscykel som bidrar till störst klimatpåverkan. Resultatet från fallstudien visar att solpanelernas klimatutsläpp kunde beräknas till cirka 13 500 kg CO₂e samt 14 300 kg CO₂e. En intressant aspekt är att solpanelernas klimatutsläpp i själva verket inte har så stor påverkan i den totala utsläppssiffran, vilket kan ses i Tabell 7-21. För en isoleringstjocklek på 220 mm är solpanelernas utsläpp endast 11,3 % av konstruktionens totala klimatutsläpp.

I fallstudien används EPD:en *Electricity generated in photovoltaic power plant El Romero Solar 196 MW* som riktlinje vid jämförelse av solpanelers globala uppvärmningspotential. Skillnaden på 8 405,1 kg CO₂e kan grunda sig i att EPD:en baseras på polykristallina kiselceller som enligt Svensk Solenergi har ett något lägre utsläpp än monokristallina kiselceller. Differensen kan även tolkas som att det funnits en del osäkerheter i GWP-värdet som fallstudien utgått ifrån. Därför kan det antas att i ett verkligt fall hade klimatutsläppen för solpanelerna blivit mindre. Vad som även bör tas i åtanke är att solcellstekniken ständigt utvecklas och att forskare föreslår nya potentiella material för solceller som kräver mindre energi vid tillverkning.

Osäkerhet kring arbetet

På grund av de datorverktyg som används och avgränsningar som arbetet behandlar föreligger en viss osäkerhet kring resultatet som bör tas till hänsyn. Vid beräkning av regel- samt isoleringsandel i en byggnadsdel har arbetet utgått från Isovers regelprocent. I praktiken kan andelarna variera och därför räknas det med ett spill på 5 % i BM1.0. Klimatutsläppet som materialen orsakar är således nära det verkliga värdet trots att det finns en osäkerhet gällande mängden material.

Klimatpåverkan från solpanelerna i arbetet kunde beräknas med hjälp av GWP-värdet från studien *Life-cycle assessment of Photovoltaic systems*. Värdet är baserat på solpaneler producerade i Danmark med en installerad eleffekt på 3 000 W_p. I Bilaga F - Isoleringstjocklek 220 mm till Bilaga O - Innerväggar i anslutning till våtrum av betong kan det noteras att typhuset kräver en installerad eleffekt på minst 2 700 W_p. Arbetet har dock utgått från en installerad eleffekt på 3 000 W_p för att säkerställa att behovet tillgodoses. Då solpanelerna är producerade i Litauen har de, likt Danmark, en renare elmix än Kina. Resultatet som påvisats från beräkningarna kan på så sätt antas vara godtyckliga men det förekommer en viss osäkerhet. Däremot bör man ha i åtanke att GWP-värdet är baserat utifrån förutsättningarna som företaget Gaia Solar fastställt.

6 Slutsats

I samråd med Karin Petterssons Arkitektbyrå AB valdes det att i arbetet utreda byggnadsdelarna yttervägg, grund och innerväggar. Företaget bör, för att uppnå ett mer klimatvänligt hus minska isoleringstjockleken i ytterväggskonstruktionen och öka antalet solpaneler för att täcka husets elbehov. Skulle en minskning genomföras behöver konstruktionens bärrighet kontrolleras. Rapportens resultat indikerar att solpaneler har en mindre påverkan på klimatet i jämförelse med energieffektiviseringsåtgärderna. Ur klimatsynpunkt är det därför mer värt att investera i fler solpaneler.

Resultatet från LCA-studien gäller specifikt för den här fallstudien med dess avgränsningar och de förutsättningar som använts vid beräkningarna. Det vill säga att åtgärden inte är en generell bättre lösning utan bör endast tillämpas på projektet.

Förslag till fortsatta studier

- För ett mer utförligt arbete kan samma studie genomföras men med beaktande av att den el som säljs och köps till byggnaden kommer att ha olika CO₂e-belastningar.
- En fortsatt studie kopplad till examensarbete är att undersöka dagsljusinsläpp. Hur påverkar den stora andelen fönster tillsammans med det luftburna värmesystemet inneklimatet?
- Kostnadsaspekten är även en fortsatt studie kopplad till examensarbetet. Vilka åtgärder kostar mindre att utföra?
- Undersöka användning av tunnfilmssolceller på fönster. En jämförelse mellan solceller och tunnfilmssolceller, vilken åtgärd är mest fördelaktig ur klimatperspektiv? Går det att ha en större andel fönster utifrån ett tekniskt perspektiv (uppfylls BBR:s krav)?
- En studie om hur BM1.0 kan utvecklas. Undersöka ifall fler byggnadsmaterial kan tilläggas och på så sätt ge ett mer rättvist svar gällande byggnaders klimatpåverkan. Om verktyget kan kopplas till BIM för att underlätta mängdning av byggnader.
- Hur kan LCA-metoden implementeras i tidigt skede för att minska klimatpåverkan från byggnader?

Referenser

Adalberth, K. et al 2010. *Att bygga energieffektivt – fakta och råd om energi för dig som går i nybyggnadstankar*. Lund: Energikontoret Skåne

Boverket. (2007). *Byggnader i förändrat klimat*.
https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2007/byggnader_i_forandrat_klimat.pdf (Hämtad 2019-03-25).

Boverket. (2015a). *Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader*.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/forslag-till-svensk-tillampning-av-nara-nollenergibyggnader-2.pdf> (Hämtad 2019-03-23).

Boverket. (2015b). *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv*.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/byggnaders-klimatpaverkan-utifran-ett-livscykelperspektiv.pdf> (Hämtad 2019-03-29).

Boverket. (2018a). *Minskad klimat- och miljöpåverkan till följd av byggprocessen och materialval*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/oversyn-av-boverkets-byggregler/minskad-klimat--och-miljopaverkan/> (Hämtad 2019-03-20).

Boverket. (2018b). *Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/klimatpaverkan-i-byggprocessen/> (Hämtad 2019-03-29).

Boverket. (2018c) *Vad innebär det omarbetade EU-direktivet EPBD?*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/nyheter-inom-energiomradet/vad-innebar-det-omarbetade-eu-direktivet-epbd/> (Hämtad 2019-06-19)

Boverket. (2018d). *Nära-nollenergibyggnader i Sverige*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/nara-nollenergibyggnader-i-sverige/> (Hämtad 2019-03-25)

Boverket. (2018e). *Boverkets regelarbete inom energiområdet*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/regelarbete-inom-energiomradet/> (Hämtad 2019-07-05)

Boverket. (2018:4). *Boverkets byggregler BBR*.
https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/bbr-2018_konsoliderad-version.pdf (Hämtad 2019-04-11).

Boverket. (2019a). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> (Hämtad 2019-04-08).

- Boverket. (2019b). *Vägledning om LCA för byggnader*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykel-analys/> (Hämtad 2019-04-08).
- Boverket. (2019c). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykel-analys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> (Hämtad 2019-04-08).
- Boverket. (2019d). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykel-analys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> (Hämtad 2019-04-25).
- Boverkets författningssamling. (2018). *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*.
<https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2018-4-BBR-26.pdf> (Hämtad 2019-07-07).
- Chen, R., & Persson, C. 2017. New Potential Materials for Solar Cells. *Advanced science news*.
<https://www.advancedsciencenews.com/new-potential-materials-solar-cells/> (Hämtad 2019-04-01).
- Denscombe, M. (2014). *The Good Research Guide: For Small-scale Research Projects. 5. uppl.*, Maidenhead, Berkshire: McGraw-Hill Education
- Energimarknadsbyrån. (2019). *Köpa solceller och sälja solel*.
<https://www.energimarknadsbyran.se/solceller/kopa-solceller-och-salja-solel/salja-el/> (Hämtad 2019-04-06).
- Energimyndigheten. (2018a). *Solcellers miljöpåverkan*.
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/solcellers-miljopaverkan/> (Hämtad 2019-04-01).
- Energimyndigheten. (2018b). *Solelkalkylen*.
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vad-kostar-det/solelkalkyl/> (Hämtad 2019-04-01).
- Energimyndigheten. (2019). *Solceller i byggnader – nya möjligheter!*.
<http://www.torsas.se/documents/torsas/documents/sambygg.f%C3%B6v/energi/solceller%20i%20byggnader-%20nya%20mojligheter.pdf> (Hämtad 2019-04-01).
- Energi & Klimatrådgivningen. (2016). *Nära-Nollenergibyggnader*.
<https://energiradgivningen.se/smahus/nara-nollenergibyggnader> (Hämtad 2019-06-19)

Environdec. (2017). Electricity generated in photovoltaic power plant El Romero Solar 196 MW.
<https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/13386/epd1081en%20Electricity%20PV%20power%20plant%20El%20Romero%20Solar.pdf> (Hämtad 2019-05-15)

Environdec. (2019). *Miljövarudeklarationer*.
<https://www.environdec.com/introduction-to-epd/introduction-to-epd-swedish/> (Hämtad 2019-04-05).

Erlandsson, M., Lindfors, L., & Jelse, K. (2013). *Robust LCA: Metodval för robust miljöjämförelse med livscykelanalys (LCA) - introduktion för nyfikna*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. (Hämtad 2019-04-10)

Erlandsson, M. (2017). *Nytt verktyg hjälper dig räkna fram byggnaders klimatpåverkan*.
<https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/pressmeddelanden/pressmeddelande---arkiv/2017-05-31-nytt-verktyg-hjalper-dig-rakna-fram-byggnaders-klimatpa-verkan.html> (Hämtad 2019-04-10)

Erlandsson, M. (2018). *Byggsektorns miljöberäkningsverktyg BMI.0. (C 300)*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. (Hämtad 2019-04-10)

European Parliament, Council of the European Union (2010) *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings OJ L 153, 18.6.2010, p. 13–35 (SV)*
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0031> (Hämtad 2019-07-17)

Foamglas. (2019a). *Trygga och klimatsmarta byggelement*.
https://www.koljern.se/-/media/koljernfoamglascom/alle-dokumente/8_/broschyrer/129-koljern-broschyr-swe.pdf?la=sv-se&hash=74A10434665DB2C05AE36A232C4822187D0EA1D7 (Hämtad 2019-04-11)

Foamglas. (2019b). *Värmeisoleringsystem för hela byggnaden*.
https://se.foamglas.com/-/media/sefoamglascom/alle-dokumente/downloads/nedladdningsbara-dokument/331-fg_corporate_brochure_se_web.pdf (Hämtad 2019-04-11)

Framtidens solel. (2019). *Ekonomi och lönsamhet*.
<http://www.framtidenssolel.se/verktyg-for-foretag/ekonomi-och-lonsamhet/> (Hämtad 2019-04-08)

Isover. (2019a). *Så fungerar värmetröga byggnader*.
<https://www.isover.se/sa-fungerar-varmetroga-byggnader> (Hämtad 2019-04-11)

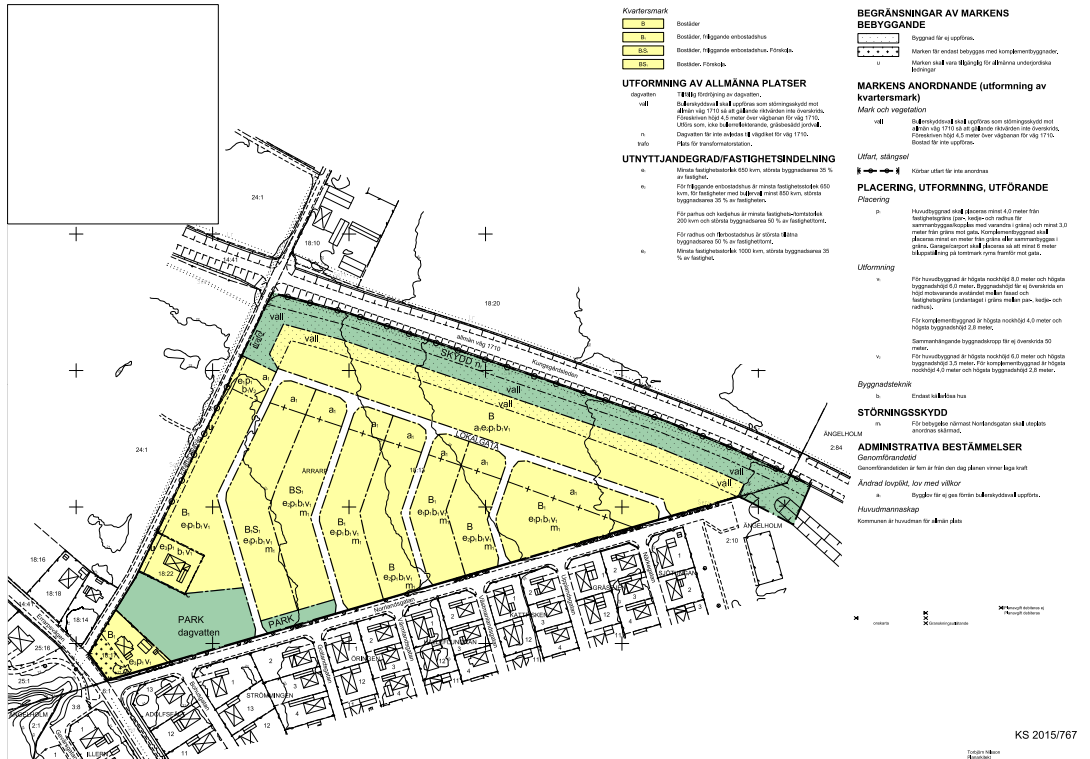
- Isover. (2019b). Användarmanual för U-värdesberäknaren.
https://www.isover.se/anvandarmaterial-u-vardesberaknaren#_Regelprocent
(Hämtad 2019-05-17)
- Jansson, B-M (2015). Luftburen- och vattenburen värme jämförda. *Energi & Miljö* 7-8.
<https://arkiv.energi-miljo.se/Energi-Miljo-07-2015/index.html>(Hämtad 2019-04-11)
- Karlsson, J et al. 2010. Nyttan med värmetroga konstruktioner. *Samhällsbyggaren*.
http://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/Research/Workshop/Jonathan_Karlsson_et_al-Nyttan_med_varmetroga_konstruktioner-Samhallsbyggaren_5_2010.pdf (Hämtad 2019-04-11)
- Louwen, A. et al. 2016. Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. *Nat. Commun.* 7, 13728 doi: 10.1038/ncomms13728
<https://www.nature.com/articles/ncomms13728> (Hämtad 2019-05-17)
- Malmqvist, T., & Erlandsson, M. (2017). *LCA-baserade miljökrav i byggandet*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. (Hämtad 2019-04-10)
- Nationalencyklopedin. (2019). *Kvantitativ metod*.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/kvantitativ-metod> (hämtad 2019-06-19)
- Naturvårdsverket. (2010). *Förnybara energikällors inverkan på de svenska miljömålen*.
<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6391-7.pdf>
(Hämtad 2019-04-15).
- Naturskyddsföreningen. (2011). *El från solen – för en ljusare framtid*.
https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011_energi_transport_solceller_for_en_ljusare_framtid.pdf
(Hämtad 2019-04-15).
- Naturskyddsföreningen. (2013). *Miljöprogram för miljonprogrammet*.
https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/rapporter/Rapport_Milj%C3%B6program_f%C3%B6r_miljonprogrammet.pdf
(Hämtad 2019-04-15).
- Naturvårdsverket. (2018). *Energieffektivisering i bostäder och lokaler*.
<https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Energieffektivisering/Bostader-och-lokaler/>
(Hämtad 2019-04-15).

- Naturvårdsverket. (2019). *Koldioxidekvivalenter*.
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/>
(Hämtad 2019-04-15).
- Nordskiffer. (2019). *Samaca 49 takskiffer på fasad*.
https://www.nordskiffer.com/produkter/takskiffer_fasad/samaca_49/
(Hämtad 2019-05-10)
- Palanov, N (2014). *Life-cycle assessment of Photovoltaic systems*.
http://www.byfy.lth.se/fileadmin/byfy/files/TVBH-5000pdf/TVBH-5074NP_web.pdf (Hämtad 2019-05-05).
- Palm, J (2017) *Vad driver hushållen att investera i solel*. Stockholm: Energimyndigheten.
<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/konferenser/solforum/presentationer/2017/jenny-palm---vad-driver-hushallen-att-investera-i-solel.pdf> (Hämtad 2019-03-27)
- Persson, A. (2002). *Energianvändning i bebyggelsen*. Stockholm: Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien, IVA. (Hämtad 2019-04-08).
- Petersson, B. (2018a). *Tillämpad byggnadsfysik*. 6:e uppl. Lund: Studentlitteratur AB
- Petersson, B. (2018b). *Byggnaders klimatskärm: fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*. 3:e uppl. Lund: Studentlitteratur AB
- Raouz, K. (2017). *Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic Power Station in Stockholm*.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1115077/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2019-04-08).
- Rosengren, L. 2018. *Problemet med solpaneler som världen glömde*. Aktuell Hållbarhet. <https://www.aktuellhallbarhet.se/problemet-som-varlden-glomt/> (Hämtad 2019-03-28)
- Rydh, C. J., Lindahl, M., och Tingström, J. (2002). *Livscykelanalys: En metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*. 1.7 uppl. Lund: Studentlitteratur AB.
- Solitek. (2019) *Solid Solrif M.60*.
<https://solitek.eu/product/solid-solrif-m-60/> (Hämtad 2019-04-18)
- Strusoft. (2019). *VIP-Energy*.
<https://strusoft.com/products/vip-energy> (Hämtad 2019-04-18)

- Svensk Solenergi. (2018) *Klimatpåverkan*.
<https://www.svensksolenergi.se/fakta-om-solenergi/Solel/klimatpaverkan> (Hämtad 2019-04-01)
- Thyselius, C. 2018. *Vilket klimatavtryck ger solceller*.
<https://eneosolutions.se/vilket-klimatavtryck-ger-solceller/> (Hämtad 2019-04-11)
- Vattenfall. (2019a). *Hur fungerar solceller*.
<https://www.vattenfall.se/solceller/hur-fungerar-solceller/> (Hämtad 2019-03-29)
- Vattenfall. (2019b). *Solenergi*.
<https://www.vattenfall.se/solceller/solenergi/> (Hämtad 2019-03-29)
- VIP-Energy. (2019a). *VIP-Energy Manual version 4.0.0*.
<http://www.vipenergy.net/Manual.htm> (Hämtad 2019-04-18)
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. 1:a uppl. Lund: Studentlitteratur AB
- Wolf, A. (2011). *El från solen – för en ljusare framtid*. Naturskyddsföreningen.
https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011_energi_transport_solceller_for_en_ljusare_framtid.pdf (Hämtad 2019-04-01)
- Luo, W. et al. 2018. A comparative life-cycle assessment of photovoltaic electricity generation in Singapore by multicrystalline silicon technologies. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 174, no. August 2017,
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024817304877>) (Hämtad 2019-05-12)

Bilaga B - Detaljplan

Bilaga B redovisar detaljplanen över området där huset ska placeras.



Bilaga C – EPD: Electricity generated in photovoltaic power plant

Bilaga C redovisar värdet som används vid jämförelse av värdet som fås i rapporten.



Table 10
Environmental profile of the photovoltaic plant El Romero

Environmental profile	Unit	El Romero 196 MW photovoltaic power plant						
		1 kWh of electricity generated and distributed to a consumer at 220 kV						
Upstream		Core process	Core infrastructure	TOTAL GENERATED	Downstream process	Downstream infrastructure	TOTAL DISTRIBUTED	
POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACT								
Global warming potential (100 years)	g CO ₂ eq	1,083E-02	4,919E-01	1,962E+01	2,012E+01	2,012E-02	2,689E-02	2,017E+01

Bilaga D - Information om solpaneler

Bilaga D redovisar information om solpanelerna från Solitek.

IN-ROOF

Electrical data (STC*)	Regular Transparency				Increased Transparency			
	10		20		30		45	
Transparency %	300		270		230		165	
Maximum Power (W _m)	270		240		210		150	
Cell Configuration	6x10				6x9		4x9	
Cell Technology	Mono C-Si		Poly C-Si		Mono C-Si		Poly C-Si	
Open circuit Voltage (V _{oc} /V)	40,35		38,31		35,51		34,74	
Short circuit Current (I _{sc} /A)	9,55		9,18		8,89		8,51	
Max Power Voltage (V _{mp} /V)	32,93		31,40		28,94		27,49	
Max Power Current (I _{mp} /A)	9,15		8,68		8,34		8,93	
Module Efficiency (η)	17,03%		15,33%		13,63%		13,06%	
Efficiency when installed (η)	17,77%		15,99%		14,21%		13,62%	
Max System Voltage (V)	1500				1500			
Max Current (A)	15				15			
Power Tolerance	0/+5W				0/+5W			

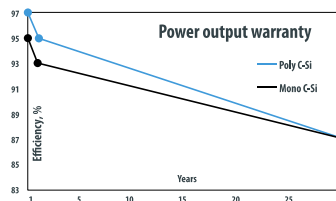
*Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/sq. m., spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25 C

Flash testing measurement accuracy of +/-5%

All transparency values are approximate +/-3%

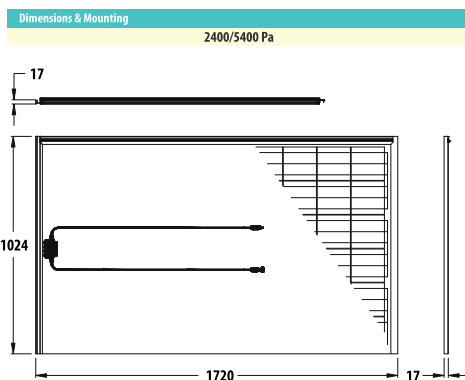
Increased Module Transparency

20% (54 cells)	30% (48 cells)	45% (36 cells)
Configuration: 6x9	Configuration: 6x8	Configuration: 4x9



Optimal Weather-lightness
Frames are shingled from top to bottom and are interlocking left to right much like tiles for optimal weather protection.

Easy Installation
The modules are held by metal clamps that are mounted to the roof battens. This allows for quick and easy installation.



Temperature ratings	Polycrystalline	Monocrystalline
Current temperature coefficient (α)	+0,046% /°C	+0,04% /°C
Voltage temperature coefficient (β)	-0,347% /°C	-0,35% /°C
Power temperature coefficient (δ)	-0,486% /°C	-0,47% /°C
Nominal Operating Module Temperature	46°C	

Mechanical data	
Dimensions (LxWxH) (mm)	1720x1024x17
Weight (kg)	30
Front / Back glass (mm)	3,15
Cell type	Poly C-Si / Mono C-Si
Cell Size (mm)	156x156
Busbars	5
Frame	Aluif
Operating Temperature (°C)	-40 ÷ +85
Max Load (wind/snow) (Pa)	2400/5400
Junction Box / IP Class	TE Connectivity J-box IP65
Cable Cross Section Size (mm ²)	4
Bypass Diodes	3
Connector	PH4-5 Male/Female
Optimization	Tigo T64 (Optional)

documents (T&Cs, datasheets, warranties, and installation manuals can always be found on our website at www.solitek.eu.

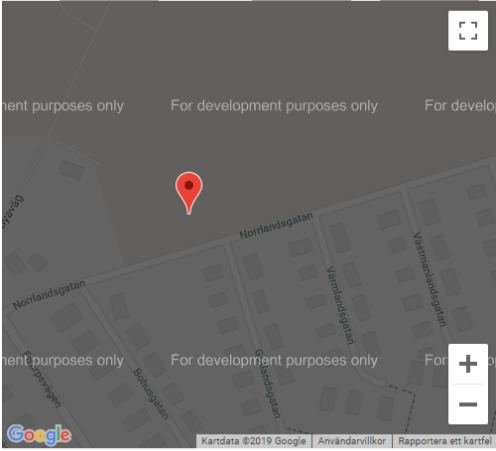
. The most recent versions of all

SOLENERGI

Bilaga E - Indata från PVGIS

Bilaga E redovisar inställningar som ställts in i programmet samt den årliga solproduktionen som erhålls.

Latitude: Longitude: [Go to lat/lon](#)



Solar radiation Temperature Other maps

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [\[What is this?\]](#)

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power kWp

Estimated system losses [0;100] %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90] ° Optimize slope

Azimuth [-180;180] ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Tracking options:

Vertical axis Slope [0;90] ° Optimize

Inclined axis Slope [0;90] ° Optimize

2-axis tracking

Horizon file: Valj fill | Ingen fill har valts

Output options

Show graphs Show horizon

Web page Text file PDF

[Calculate](#) [\[help\]](#)

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°

Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.24	7.43	0.94	29.1
Feb	0.40	11.2	1.62	45.3
Mar	0.89	27.5	3.75	116
Apr	1.21	36.2	5.31	159
May	1.24	38.5	5.66	175
Jun	1.27	38.0	5.82	175
Jul	1.20	37.1	5.53	172
Aug	1.02	31.7	4.68	145
Sep	0.85	25.6	3.78	113
Oct	0.55	17.0	2.30	71.4
Nov	0.26	7.84	1.06	31.8
Dec	0.15	4.77	0.60	18.7
Yearly average	0.775	23.6	3.43	104
Total for year		283		1250

Bilaga F - Isoleringstjocklek 220 mm

Bilaga F redovisar värden som fåtts i VIP-Energy för typhusets ytterväggskonstruktion med en isoleringstjocklek på 220 mm och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
U-värde	Beräknat värde 0,188	Tillåtet värde 0,400	W/(m ² K)
Energianvändning	37,0		kWh/(m ² år)
Energieffektivitet primärenergital	63,8	90,0	kWh/(m ² år)
PE Värmeförörjning	1,7		
PE Värmeförörjning TVV	0,4		
PE Värmeförörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	54,5		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	27,5		
PE El till värmepump tilluft	16,7		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,8	4,7	kW
Elvärme	1,2		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0. W. Högsta beräknade rumstemp ligger 13,3 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggd	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	31 Väggar	1386,40	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	31 Väggar	2365,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpanno	43 Taktäckning	356,00	kg
	22	Träfiberskivor, HDF, hård board (IVL LCR)			kg

Bilaga G - Tillägg av ett isoleringsskikt på 45 mm

Bilaga G redovisar värden som fåtts i VIP-Energy för ytterväggskonstruktionen med en isoleringstjocklek på 45 mm + 220 mm och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0,183	0,400	W/(m²K)
Energianvändning	36,3		kWh/(m²år)
Energiprestanda primärenergital	62,6	90,0	kWh/(m²år)
PE Värmeförsörjning	1,6		
PE Värmeförsörjning TVV	0,4		
PE Värmeförsörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförsörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	53,4		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	26,5		
PE El till värmepump tilluft	16,6		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,7	4,7	kW
Elvärme	1,1		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0, W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 13,5 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggdelen	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	31 Väggar	1670,40	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	31 Väggar	2845,00	kg
	100	Örmerade prefabbetong såsom takpannor	43 Takläggning	356,00	kg

Bilaga H - Tillägg av ett isoleringsskikt på 70 mm

Bilaga H redovisar värden som fåtts i VIP-Energy för ytterväggskonstruktionen med en isoleringstjocklek på 70 mm + 220 mm och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100.0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0.9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0.180	0.400	W/(m²K)
Energianvändning	36.0		kWh/(m²år)
Energiprestanda primärenergital	62.0	90.0	kWh/(m²år)
PE Värmeförsörjning	1.6		
PE Värmeförsörjning TVV	0.3		
PE Värmeförsörjning rumsluft	0.0		
PE Värmeförsörjning tilluft	1.2		
PE El till värmepump	52.9		
PE El till värmepump TVV	10.3		
PE El till värmepump rumsluft	26.0		
PE El till värmepump tilluft	16.5		
PE El till kylmaskin	0.0		
PE Fjärrkyla	0.0		
PE El till flaktar	7.5		
PE El till pumpar	0.0		
PE Övrig fastighetsel	0.0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2.7	4.7	kW
Elvärme	1.1		kW
Värmepump	1.6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0.0. W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 13.5 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Bygghet	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	31 Väggar	1827.60	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	31 Väggar	3115.00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpannor	43 Taktäckning	356.00	kg

Bilaga I - Tillägg av ett isoleringsskikt på 95 mm

Bilaga I redovisar värden som fått i VIP-Energy för ytterväggskonstruktionen med en isoleringstjocklek på 95 mm + 220 mm och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100.0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0.9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0.178	0.400	W/(m²K)
Energianvändning	35.7		kWh/(m²år)
Energiprestanda primärenergital	61.5	90.0	kWh/(m²år)
PE Värmeförsörjning	1.5		
PE Värmeförsörjning TVV	0.3		
PE Värmeförsörjning rumsluft	0.0		
PE Värmeförsörjning tilluft	1.2		
PE El till värmepump	52.4		
PE El till värmepump TVV	10.3		
PE El till värmepump rumsluft	25.6		
PE El till värmepump tilluft	16.5		
PE El till kylmaskin	0.0		
PE Fjärrkyla	0.0		
PE El till fläktar	7.5		
PE El till pumpar	0.0		
PE Övrig fastighetsel	0.0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2.7	4.7	kW
Elvärme	1.1		kW
Värmepump	1.6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0.0. W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 13.6 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggdelen	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	31 Väggar	1985,20	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	31 Väggar	3385,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpanno	43 Taktäckning	356,00	kg

Bilaga J - Reduktion av ett isoleringsskikt på 50 mm

Bilaga J redovisar värden som fåtts i VIP-Energy för ytterväggskonstruktionen med en isoleringstjocklek på 170 mm och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136.6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100.0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0.9			
Energikrav			
U-värde	Beräknat värde 0.195	Tillåtet värde 0.400	W/(m ² K)
Energianvändning	38.0		kWh/(m ² år)
Energiprestanda primärenergital	65.5	90.0	kWh/(m ² år)
PE Värmeförörjning	1.9		
PE Värmeförörjning TVV	0.5		
PE Värmeförörjning rumsluft	0.0		
PE Värmeförörjning tilluft	1.4		
PE El till värmepump	56.1		
PE El till värmepump TVV	10.4		
PE El till värmepump rumsluft	28.9		
PE El till värmepump tilluft	16.8		
PE El till kylmaskin	0.0		
PE Fjärrkyla	0.0		
PE El till fläktar	7.5		
PE El till pumpar	0.0		
PE Övrig fastighetsel	0.0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2.9	4.7	kW
Elvärme	1.3		kW
Värmepump	1.6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0.0. W. Högsta beräknade rumstemp ligger 13.2 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggd	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	31 Väggar	1071.60	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	31 Väggar	1825.00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpanno	43 Taktäckning	312.00	kg

Bilaga K - Foamglasgrund

Bilaga K redovisar värden som erhållits från VIP-Energy för typhusets grundkonstruktion med foamglas och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0,188	0,400	W/(m ² K)
Energianvändning	37,0		kWh/(m ² år)
Energieffektivitet primärenergital	63,8	90,0	kWh/(m ² år)
PE Värmeförsörjning	1,7		
PE Värmeförsörjning TVV	0,4		
PE Värmeförsörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförsörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	54,5		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	27,5		
PE El till värmepump tilluft	16,7		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,8	4,7	kW
Elvärme	1,2		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0. W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 13,3 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggdelen	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	24 Grundkonstruktioner	297,20	kg
	62	Glasull (IVL LCR)	24 Grundkonstruktioner	666,00	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	31 Väggar	505,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpannor	43 Taktäckning	356,00	kg
	22	Träfiberskivor, HDF, hård board (IVL LCR)	24 Grundkonstruktioner	975,00	kg

Bilaga L - Platta på mark

Bilaga L redovisar värden som erhållits i VIP-Energy för grunden platta på mark och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0,192	0,400	W/(m²K)
Energianvändning	37,3		kWh/(m²år)
Energiprestanda primärenergital	64,4	90,0	kWh/(m²år)
PE Värmeförsörjning	1,8		
PE Värmeförsörjning TVV	0,5		
PE Värmeförsörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförsörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	55,1		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	27,9		
PE El till värmepump tilluft	16,7		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,8	4,7	kW
Elvärme	1,2		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0. W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 12,1 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggdelen	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	57	Cellplast, expanderad polystyren (EPS) (IVL)	27 Platta på mark	555,00	kg
	479	Husbyggnadsbetong (vct 0,55, C32/40)	27 Platta på mark	20424,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpanno	43 Taktäckning	312,00	kg
	22	Träfiberskivor, HDF, hård board (IVL LCR)	27 Platta på mark	890,00	kg

Bilaga M - Reviderad platta på mark

Bilaga M redovisar massorna från mängdberäkningen inlagda i BM1.0 för den reviderade platta på mark.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
U-värde	Beräknat värde	Tillåtet värde	W/(m²K)
	0,188	0,400	
Energianvändning	37,0		kWh/(m²år)
Energiprestanda primärenergital	63,8	90,0	kWh/(m²år)
PE Värmeförörjning	1,7		
PE Värmeförörjning TVV	0,4		
PE Värmeförörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	54,5		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	27,5		
PE El till värmepump tilluft	16,7		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,8	4,7	kW
Elvärme	1,2		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0. W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 13,3 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Bygghet	inbyggd mängd	Inläst enhet
	57	Cellplast, expanderad polystyren (EPS) (IVL)	27 Platta på mark	777,00	kg
	479	Husbyggnadsbetong (vct 0.55, C32/40)	27 Platta på mark	20424,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpanno	43 Taktäckning	356,00	kg
	22	Trafiberskivor, HDF, hård board (IVL LCR)	27 Platta på mark	890,00	kg

Bilaga N - Innerväggar enligt ursprungskonstruktion

Bilaga N redovisar massorna från mängdberäkningen inlagda i BM1.0 för typhusets våtrumsinnerväggar.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0,188	0,400	W/(m ² K)
Energianvändning	37,0		kWh/(m ² år)
Energieffektivitet primärenergital	63,8	90,0	kWh/(m ² år)
PE Värmeförörjning	1,7		
PE Värmeförörjning TVV	0,4		
PE Värmeförörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	54,5		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	27,5		
PE El till värmepump tilluft	16,7		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,8	4,7	kW
Elvärme	1,2		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0. W.			
Högsta beräknade rumstemp ligger 13,3 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggdelen	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	59	Cellulosaisolering	63 Innerväggar	106,40	kg
	8	Fasadputs (IVL LCR)	63 Innerväggar	800,00	kg
	56	Gipsskivor utan kartong, våtrum (IVL LCR)	63 Innerväggar	324,00	kg
	97	Limträbalk (IVL LCR)	63 Innerväggar	237,00	kg
	64	Ljudabsorbent, bullerskiva, akustiktak, -väg	63 Innerväggar	42,00	kg
	12	Mark och-murtegel (IVL LCR)	63 Innerväggar	3420,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpannor	43 Taktäckning	356,00	kg
	24	Plywoodsivor (IVL LCR)	63 Innerväggar	705,60	kg
	22	Träfiberskivor, HDF, hård board (IVL LCR)	63 Innerväggar	271,24	kg

Bilaga O - Innerväggar i anslutning till våtrum av betong

Bilaga O redovisar värden som erhållits från VIP-Energy med våtrumsinnerväggar i betong och inlagda mängder och material i BM1.0.

VIP-Energy

BBR26			
Atemp:Småhus: 136,6			
Verkningsgrad energiförörjning: 100,0 %			
Geografisk justeringsfaktor: 0,9			
Energikrav			
	Beräknat värde	Tillåtet värde	
U-värde	0,188	0,400	W/(m²K)
Energianvändning	36,8		kWh/(m²år)
Energiprestanda primärenergital	63,4	90,0	kWh/(m²år)
PE Värmeförsörjning	1,7		
PE Värmeförsörjning TVV	0,4		
PE Värmeförsörjning rumsluft	0,0		
PE Värmeförsörjning tilluft	1,3		
PE El till värmepump	54,1		
PE El till värmepump TVV	10,4		
PE El till värmepump rumsluft	27,1		
PE El till värmepump tilluft	16,7		
PE El till kylmaskin	0,0		
PE Fjärrkyla	0,0		
PE El till fläktar	7,5		
PE El till pumpar	0,0		
PE Övrig fastighetsel	0,0		
Effektkrav			
Beräknad total El-effekt	2,8	4,7	kW
Elvärme	1,2		kW
Värmepump	1,6		kW
Max effekt för kyla är begränsad till 0,0. W.			
Högsta beräknade rumtemp ligger 12,1 °C över krav enligt driftdata.			

Massor och material från mängdberäkningen inlagda i BM1.0

Status	ID	Benämning	Byggdel	Inbyggd mängd	Inläst enhet
	8	Fasadputs (IVL LCR)	63 Innerväggar	2240,00	kg
	479	Husbyggnadsbetong (vct 0.55, C32/40)	63 Innerväggar	21528,00	kg
	100	Oarmerade prefabbetong såsom takpanno	43 Taktäckning	356,00	kg