

Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH—24/5135
Lund 2024

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Ines Pasic
Ebba Andersson



LUNDS
UNIVERSITET

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Ines Pasic
Ebba Andersson

Examensarbete

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

© Ines Pasic och Ebba Andersson

ISRN LUTVDG/TVBH—24/5135—SE(140)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Titel: En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Författare: Ines Pasic, högskoleingenjörsutbildningen i Byggteknik med arkitektur, Lunds Teknisk Högskola

Ebba Andersson, högskoleingenjörsutbildningen i Byggteknik med arkitektur, Lunds Teknisk Högskola

Handledare: Petter Wallentén, universitetslektor i Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola

Biträdande handledare: Oscar Palmgren, doktorand i Byggnadsfysik, Lunds Tekniska högskola

Examinator: Karin Farsäter, Postdoktor i Installations- och klimatiseringslära, Lund Tekniska Högskola

Sammanfattning

Energifrågan gällande tillgång, kapacitet och kostnad för el har under de senaste åren blivit en aktualitet i det svenska men även europeiska samhället. Bakgrunden till att energifrågor har blivit angelägna i nuläget är främst en ökad elektrifiering av samhället, ökade kostnader på grund av kriget i Ukraina 2022 och kapaciteten som inte har motsvarat efterfrågan. I samband med en osäkrare omvärld, en osäkrare tillgång till el och en ökad risk för strömavbrott har därför idén om ett mer självförsörjande samhälle kommit till. Det har gjort att individer i samhället har börjat söka sig till andra energikällor som är oberoende elnätet, och därför inte kan påverkas av omvärldssituationen på samma sätt, såsom vedeldning eller solcellsproducerad el.

Bakgrunden till varför undersökningen gjorts är att vid en eventuell kris, såsom krig eller ett långvarigt strömavbrott, bör ett småhus klara av uppvärmningen under årets värsta vecka utan att vara uppkopplad till elnätet. I den här studien undersöks olika scenarier och två olika typer av hus för uppvärmning. Syftet med studien är att undersöka den potentiella klimatpåverkan för uppvärmning av ett småhus som är självförsörjande under en vecka. Tre olika uppvärmningssätt valdes, en som innefattar en bergvärmepump som drivs av solcellsel som kan lagras via batterier (scenario B), en som innefattar en kamin med vedeldning som står för uppvärmning (scenario C) och en som innefattar en bergvärmepump som sköts av solcellsel tillsammans med vedeldning (scenario D). Scenario A är nollfallet och motsvarar när typhusen är anslutna till elnätet. Därutöver studerades även energibehovet och den potentiella klimatpåverkan för ett småhus som uppfyller energikrav definierat enligt BBR respektive FEBY18 Guld, det senare en passivhusstandard.

Den första frågeställningen i studien är att undersöka vad energibehovet blev för typhusen när självförsörjning av värme under årets mest energikrävande vecka antas. Den andra blev att beräkna den potentiella klimatpåverkan för respektive typhus och scenarier uppvärmning under den värsta veckan. Den tredje blev att undersöka om typhuset klarar av att bevara den valda inomhustemperaturen under tiden huset är off-grid.

Energibehovet beräknades för varje typhus och scenario med hjälp av VIP-Energy för både hela året respektive den värsta veckan. Utefter den värsta veckans energibehov beräknades den potentiella klimatpåverkan för varje scenario och typhus där resultatet sammanställdes i flera stapeldiagram i Excel.

Studiens resultat visade att off-grid-alternativen hade en betydligt högre potentiell klimatpåverkan jämfört med de elnätsanslutna och att on-grid alternativen därför bör eftersträvas om tillfälle finns. Möjligheten att leva off-grid var för scenario C och D, men särskilt D, mycket goda oberoende typhus eftersom typhusen för de här scenarierna klarade kraven gällande uppvärmningen. Typhus med scenario B, enbart solceller och batteri som energikällor, bör inte eftersträvas för att leva off-grid eftersom ett underskott av värme kan uppkomma. Det innebär för scenario B, vid off-grid, att en alternativ energikälla skulle krävas om rumstemperaturen inte ska sjunka på grund av underskottet.

Slutligen visade studien att typhuset enligt FEBY18 Guld hade ett lägre energibehov och därför en mindre potentiell klimatpåverkan under driftskedet jämfört med typhuset enligt BBR för alla scenarier. Dock ska det understrykas att besparingen var relativt liten under en veckas off-grid och att det enbart under scenario B gav upphov till en betydlig skillnad.

Nyckelord: Off-grid, BBR, Passivhus, energianvändning, potentiell klimatpåverkan

Abstract

The purpose of this study was to investigate whether a single-family house can, in the event of a possible crisis when electricity is not available, manage the heating of a house during the worst week of the year when the house is off-grid. Furthermore, to calculate the potential climate impact for the house's energy demand during that week. Thus, three different heating scenarios have been chosen, the first where the house is powered by solar panel electricity that is stored via batteries (scenario B), the second with a wood-burning stove (scenario C) and the third is a combination of solar panel electricity together with a wood-burning stove (scenario D). Scenario A is the on-grid scenario. For each scenario, the energy demand and the potential climate impact for a house that meets energy requirements according to BBR and FEBY18 Guld were studied. The results of the study showed that off-grid alternatives had a higher potential climate impact compared to those on-grid and therefore on-grid alternatives should be used if possible. The possibility of living off-grid was for scenarios C and D good because the type houses met the requirements regarding the heating. Scenario B should not be sought to live off-grid as a deficit of heat may occur. Lastly, the study showed that the houses according to FEBY18 Guld had a lower energy demand and therefore a smaller potential climate impact during the operational stage compared to the house according to BBR for all scenarios.

Keywords: Off-grid, BBR, Passive house, energy use, the potential climate impact

Förord

Vårt intresse för energihushållning och framtida byggnadsmetoder under utbildningens gång var en självklar anledning för att studera de här ämnena i vårt examensarbete. Arbetet har även präglats av det aktuella läget i samhället och vi kände att vi ville bidra genom vår undersökning till en bättre förståelse för självförsörjande hus. Det har varit en fröjd att få studera och arbeta med de här frågorna och det finns flera personer som har hjälpt oss under den här resan, personer som vi känner oss oerhört tacksamma för.

Till vår handledare, Petter Wallentén, som från första början gav oss råd och vägledning, hjälpte oss med idéer, frågor och beslut och vidare genom hela examensarbetet varit en stöttelellare vill vi rikta ett stort tack.

Till vår examinator, Karin Farsäter, tackar vi hjärtligt för all hjälp och expertis med examensarbetet i allmänhet och LCA i synnerhet. Tack för att du tog dig tid att lyssna, ge förslag och svara på både stora och små frågor.

Till vår biträdande handledare, Oscar Palmgren, tackar vi för hans stora engagemang, stöd och värdefulla kommentarer.

Den riktning som det här examensarbetet tog hade inte varit möjlig utan Karin Adalberth som öppnade sina dörrar och fick upp våra ögon för off-grid-världen. Vi vill uttrycka en stor tacksamhet för de idéer och inspiration vi fick ta del av.

Slutligen, ett stort tack riktas även till Alexander Golgeson och Benjamin Bredberg som har tillåtit oss använda ritningar för vårt typhus ritade i ett grupparbete under hösten 2023.

Helsingborg i maj 2024

Ebba Andersson & Ines Pasic

Innehållsförteckning	
Sammanfattning	iii
Abstract	v
Förord	vii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	3
1.3 Mål	3
1.4 Frågeställningar	4
1.5 Avgränsningar	4
1.6 Metod	6
2 Litteraturstudie	9
2.1 Energianvändning för småhus	9
2.2 Energieffektiva byggnadsmetoder	10
2.2.1 Passivhus	10
2.2.2 Nära-nollenergihus	10
2.2.3 Plusenergihus	10
2.3 Konceptet off-grid	11
2.4 Klimatdeklaration	12
3 Teori	13
3.1 Bedömning av energieffektiva hus enligt BBR	13
3.1.1 Primärenergital	13
3.1.2 Värmegenomgångskoefficient	15
3.2 Passivhus	17
3.2.1 FEBY	17
3.2.2 Förutsättningar vid utformning av passivhus	18
3.3 Solenergi	21
3.3.1 Solceller	21
3.3.2 Solvärme	25
3.4 LCA	26
3.4.1 Användningsområden	27
3.4.2 Utföra LCA	28
3.4.3 Metodval	29
3.4.4 Generisk och specifik data	30
3.4.5 Verktyg inom LCA	31
3.4.6 Redovisning av LCA	32
3.4.7 Driftenergi	32
3.5 Energikällor LCA	32
3.5.1 Svensk Elmix	33
3.5.2 Vindkraft	33
3.5.3 Kärnkraft	33
3.5.4 Vedeldad braskamin	33
3.5.5 Solceller	34
4 Metod för beräkning av årlig energianvändning	37
4.1 Typhuset	37
4.1.1 Val av typhuset	37
4.1.2 Presentation av typhus	37

4.1.3	Beräkning av areor och volym.....	37
4.2	Typhus I	40
4.2.1	Konstruktion	40
4.3	Typhus II.....	45
4.3.1	Konstruktion	45
4.4	Installationssystem.....	50
4.4.1	Uppvärmningssystem	50
4.4.2	Ventilationssystem.....	50
4.5	Indata VIP	51
4.5.1	Klimatdata.....	51
4.5.2	Area och byggdelar.....	52
4.5.3	Personvärme	53
4.5.4	Tappvarmvatten	53
4.5.5	Hushållsenergi	53
4.5.6	Fastighetsenergi	53
4.5.7	Temperatur.....	54
4.5.8	Värmepumpförsörjning.....	54
4.5.9	Ventilation	54
4.6	Scenarier.....	55
4.6.1	Scenario A	55
4.6.2	Scenario B.....	56
4.6.3	Scenario C.....	56
4.6.4	Scenario D	57
5	Metod för värsta veckan beräkningar	59
5.1	Värsta veckan för respektive Scenario	59
5.1.1	Scenario A	59
5.1.2	Scenario B.....	59
5.1.3	Scenario C.....	61
5.1.4	Scenario D	64
5.2	Potentiell klimatpåverkan för respektive scenario	65
5.2.1	Antaganden för beräkning av potentiell klimatpåverkan.....	66
5.2.2	Scenario A	67
5.2.3	Scenario B.....	68
5.2.4	Scenario C.....	69
5.2.5	Scenario D	72
6	Resultat och Analys.....	73
6.1	Energiberäkning VIP.....	73
6.2	Värsta veckan.....	74
6.2.1	Scenario A	75
6.2.2	Scenario B.....	76
6.2.3	Scenario C.....	82
6.2.4	Scenario D	86
6.3	Potentiell klimatpåverkan för scenarier.....	92
7	Diskussion och slutsats.....	99
7.1	Diskussion.....	99
7.1.1	Scenarier och energikällor	99
7.1.2	Antaganden och data för VIP.....	101

7.1.3	Systemgränser.....	102
7.1.4	Skillnader typhus och scenarier	103
7.2	Slutsats	104
7.3	Framtida studier	105
	Referenser.....	107
	Bilaga A. Köldbryggor för Typhus I.....	121
	Bilaga B. Köldbryggor för Typhus II	123

1 Inledning

I det här kapitlet presenteras en bakgrund till varför undersökningen har gjorts. Bakgrunden står som grund för frågeställningar, syften, målformuleringar och avgränsningar. Sist i kapitlet redovisas en kortare metodbeskrivning av hur undersökningen har utförts.

1.1 Bakgrund

Under 1970-talet drabbades Sverige, som den resterande världen, av en oljekris vilket gjorde att uppvärmningskostnaderna för småhus men även industrier ökade betydligt. Olje användningen motsvarade under den perioden för cirka 75 procent av Sveriges totala energibehov vilket gjorde att Sverige drabbades hårt ekonomiskt och energimässigt (Vattenfall AB, 2022d). Oljekrisen gjorde därför att en billigare uppvärmningskälla krävdes inom de närmsta åren och i samband med 1980-talets kärnkraftsreaktorer kom lösningen. Elen som producerades av kärnkraft ansågs vara det bästa alternativet för uppvärmning eftersom ett överskott av el fanns under mitten av 1980-talet. Överskottet av el som fanns i Sverige gjorde att det förespråkades att byggnationerna av småhus skulle välja direktverkande el som uppvärmningskälla. (Vattenfall AB, u.å).

Priset för el styrs av det utbud och den efterfrågan som finns inom EU. Det gör att oberoende om det finns ett elöverskott i Sverige kommer priset följa den efterfrågan som finns inom EU. Under 2022 drabbades Sverige, liksom övriga Europa, av en ny stor energikris. Energikrisen uppkom främst när Ryssland invaderade Ukraina, i februari 2022, vilket ledde till stora sanktionspaket mot Ryssland från den Europeiska Unionen. Under den perioden slutade Ryssland sälja sin naturgas till Europa vilket gjorde att utbudet av el minskade. Förutom kriget i Ukraina bidrog även andra anledningar, såsom en minskad produktion av el inom vissa EU-länder, till rekordhöga elkostnader inom EU (Vattenfall AB, 2022b).

För småhusägare med elvärme och rörligt avtal ökade därför elpriset, i samband med kriget 2022, avsevärt jämfört med föregående år under vintermånaderna. Under december 2022 ökade elpriset med cirka 100 öre/kWh för elområde 3 och 4 jämfört med cirka 140 öre/kWh för elområde 1 och 2 jämfört med ett år tidigare. Se tabell 1.1 för hur elhandelspriset på elenergi varierat beroende av elområde och vilket år för villor med elvärme samt rörligt avtal (Statistiska centralbyrån [SCB] u.å.).

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Tabell 1.1: Elhandelspriser på elenergi efter avtal om rörligt pris, elområde, villa med elvärme och december månad mellan 2016–2022. Enhet anges i öre per kWh. (SCB u.å.)

	2016M12	2017M12	2018M12	2019M12	2020M12	2021M12	2022M12
Avtal om rörligt pris							
SE1							
Villa med elvärme	41,3	37,5	63,9	46,8	18,7	81,9	225,1
SE2							
Villa med elvärme	41,2	37,6	64	46,8	19	84,5	226,7
SE3							
Villa med elvärme	41,4	38,4	64,3	47,5	32,9	200,3	299,6
SE4							
Villa med elvärme	42,8	39,9	65,4	48,6	39,7	204,5	302,7

Kriget i Ukraina har inte bara medfört rekordhöga elpriser för hushållen utan det har även inneburit ett större intresse för någon slags självförsörjning gällande el och uppvärmning. I samband med att elpriset gick upp under 2022 ökade antalet solcellsanläggningar med en effekt på cirka 800 MW vilket motsvarar en ökning på cirka 50 procent jämfört med året innan. Det innebar att den totala installerade effekten, vid årsskiftet 2022, i Sverige var på cirka 2,4 GW. Av den totala installerade effekten står de mindre solcellsanläggningarna för 56 procent, de mellanstora för 37,4 procent och de större för cirka 6 procent. Under 2022 ökade främst de mindre och mellanstora anläggningarna som är solceller placerade på villatak, flerbostadshus, kontorsbyggnader och industrier (Energimyndigheten, 2023a).

En ytterligare konsekvens av det ökade elpriset blev att småhusägare försökte minska sin uppvärmning av el och i stället gå tillbaka till uppvärmning med hjälp av braskaminer och vedpannor. Det medförde också att efterfrågan för exempelvis ved och pellets ökade kraftigt jämfört med de föregående åren och att även priset ökade. Enligt Pelletsförbundets prisindex (u.å.) ökade priset för en säck med pellets på 16 kg från 134,8 kr i januari 2022 till cirka 217 kr i december 2022. Prisökningen blev därför på nästan 82 kr på 12 månader, under 2022, jämfört med en prisökning på cirka 35 kr under en 13 års period, mellan 2009–2022.

Bygg- och fastighetssektorn är idag i Sverige, men även i den resterande världen, en betydande faktor för utsläpp av växthusgaser. I Sverige stod bygg- och fastighetssektorns utsläpp av växthusgaser för 21 procent av Sveriges totala utsläpp (Boverket, 2023h). Utöver utsläppen vid byggnation tillkommer även utsläpp för energianvändning som byggnaden kräver under dess livstid. Enligt Naturvårdsverket står el och uppvärmning till svenska byggnader för cirka 40 procent av energianvändningen i Sverige. Att minska bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan är idag en stor utmaning eftersom både byggnationers klimatpåverkan och behovet av byggnader är stort. För att kunna minska utsläppen har byggbranschen därför tagit fram en plan för att nettonollutsläpp ska nås

2045. För att kunna minska en byggnads klimatpåverkan finns ett flertal åtgärder som kan tillämpas. Exempel på åtgärder kan vara att minska en typ av materials mängd i byggnaden, välja klimatsmarta material, minska transporter, energieffektivisera befintliga byggnationer eller bygga enligt högre energikrav (Naturvårdsverket, 2023b).

Inom det Europeiska rådet i EU togs det 2022 fram förslag om hur EU:s utsläpp ska minska med 55 procent fram till 2030. En av punkterna för att uppnå det var att byggnaders energiprestanda skulle förbättras samt att göra byggnader inom EU energieffektiva senast 2030. Huvudmålen var att alla nya byggnader bör vara nollutsläpp senast 2030 och att alla befintliga byggnader bör omvandlas till nollutsläpp senast 2050 (Europeiska rådet, 2023).

1.2 Syfte

Huvudsyftet med studien var att undersöka den potentiella klimatpåverkan som uppvärmningen av ett hus har, vid en period när det inte var anslutet till elnätet.

Ett ytterligare syfte med studien var att undersöka hur typhusets energibehov, och därmed dess potentiella klimatpåverkan för uppvärmning, påverkas beroende på vilka energikrav som byggnaden var utformad efter. Energitkrav var enligt Boverkets byggreglers och FEBY18 Guld.

1.3 Mål

Ett mål med undersökningen var att få en bättre bild av möjligheterna till att leva off-grid under kortare perioder om dagsläget i samhället kräver det. Undersökningen studerade två olika typhus med fyra olika scenarier för uppvärmningsenergi.

Ett annat mål med undersökningen var att undersöka en byggnads energikrav, energianvändning och potentiella klimatpåverkan när byggnaden var off-grid under en kort tid. För potentiell klimatpåverkan och energianvändningen innebar det att olika alternativa energikällor undersöktes.

1.4 Frågeställningar

Frågeställningar:

- Hur ser energibehovet för småhus som följer BBR:s respektive ett passivhus energikrav ut, om uppvärmningen inte sker med inköpt el utan är självförsörjande gällande värme?
- Hur ser den potentiella klimatpåverkan, mätt i kg CO₂e, ut för småhus som följer BBR:s respektive ett passivhus energikrav under en veckas självförsörjning av värme? Självförsörjningen kommer testas genom tre olika scenarier och jämföras med scenariet att vara ongrid.
- Klarar småhuset av att upprätthålla den inomhustemperatur som valdes under den veckan huset ska vara off-grid?
- Kan typhuset, under en veckas självförsörjning, fortfarande ge ventilation, tappvarmvatten, hushållsel och fastighetsel?

1.5 Avgränsningar

Studien avgränsades till att enbart undersöka ett småhus, se rubrik *4.1.1 Typhus*, bestående av en isolerad träregelstomme där främst mängd isolering varierades. Isoleringen varierades för att uppfylla BBR:s samt passivhusstandarden FEBY18 Gulds krav för energi. Platsen och därmed klimatet där huset befinner sig begränsades till Skåne, mer precist Malmöregionen.

Vid utformning av småhuset, d.v.s. typfallet, avgränsades kraven på energibehov till att uppfylla BBR:s och FEBY18 Guld krav. Det innebar att två typer av typhus studerades. Ett hus som uppfyllde BBR:s krav och ett som uppfyllde passivhus krav enligt FEBY18 Guld. Inga andra miljöcertifieringar togs hänsyn till vid utformning av typhuset.

Tidperioden som huset var så kallat off-grid, d.v.s. självförsörjande, avgränsades till en vecka. En vecka valdes på grund av att det idag inte är ekonomiskt försvarbart eller lönsamt att ha batterier som är tillräckligt stora för att kunna lagra el under längre perioder, d.v.s. mer än en vecka. En annan anledning varför perioden som bedömts var en vecka är att MSB, d.v.s. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, har som rekommendation att kunna klara sig utan samhällets hjälp i en vecka.

Veckan som studien har begränsades till var den värsta veckan med hänsyn till uppvärmning och därav behovet av energi i kWh/m² A_{temp}. Den värsta veckan togs fram med hjälp av energisimuleringar i programmet VIP-Energy för respektive typhus. Den värsta veckan var när behovet av tillförd energi var som störst.

En avgränsning var att oberoende av batteriets lagringskapacitet antogs samma potentiella klimatpåverkan, mätt i kg CO₂e, per kWh lagringskapacitet. Exempel på batterityper i det här fallet var bilbatteri för fossildrivna fordon, solcellsbatterier och batterier för elbilar. Det valdes för att underlätta beräkningar och jämförelsen mellan de olika typhusen.

För att underlätta jämförelsen mellan nollfallet och respektive off-grid scenario begränsades elen som används i nollfallet till 3 olika produktionskällor av el. Valet av vilka elenergikällor som undersökts har främst tagits utefter vilket elområde småhuset har placerats i. I elområde fyra, d.v.s. det område Skåne tillhör, var elen producerat av främst vindkraft respektive vattenkraft. Vindkraft och vattenkraft har ungefärligt samma koldioxidavtryck vilket gör att vindkraft antogs. Elområde fyra använder idag mer elenergi än vad som produceras vilket gör att importer av elenergi krävs. Kärnkraft undersöktes eftersom kärnkraftsproduktionen av el är en betydande andel av den producerade elen inom Sverige. I Skåne finns ingen produktion av el med hjälp av kärnkraft utan det var därför ett import alternativ. Svensk elmix undersöktes eftersom koldioxidavtrycket är större jämfört med vind- och kärnkraftsproducerad el. Svensk elmix tar även hänsyn till import och export av el för Sverige.

För nollfallet avgränsades beräkningen gällande potentiell klimatpåverkan till att svensk elmix, vindkraft och kärnkraft enskilt togs fram. Det innebar att exempelvis kärnkraftsproducerad el enbart användes som källa för el. Ingen hänsyn till fördelning togs.

Kaminuppvärmningen förutsattes vara en vedeldad braskamin eftersom det vid en eventuell kris, exempelvis längre strömavbrott eller krig, inte nödvändigtvis har tillgång till exempelvis pellets. Ved kan vid en kris vara mer lättillgängligt eftersom det kan finnas i anslutning till bostaden genom trädplantering. Antalet vedeldade eldstäder som finns i Sverige är även cirka 1,7 miljoner enligt MSB. Vedeldade kaminer är därför mer tillgängliga och därav relevanta för studien (Energimyndigheten, 2016). Typ av ved som användes för vedeldning antogs i undersökningen vara björk. Björk används i stor utsträckning vid vedeldning eftersom det är relativt lättillgängligt, lätt att antända och har ett värmevärde på 2820 kWh/m³f (Liss, 2005).

Småhuset avgränsades till att vara placerat på landsbygden eftersom bostäder i större städer i större utsträckning använder sig av fjärrvärme som uppvärmningskälla. Småhuset antogs även ha en värmepump och ett vattenburet radiatorsystem. En annan anledning varför småhuset placerades på landsbygden var för att tillgången till ved förmodligen är större än i städer och att en större yta för att placera solceller finns.

Det här examensarbetet fokuserade enbart på typhusets energibehov respektive potentiella klimatpåverkan för energibehovet. Inga konstruktions- eller fuktberäkningar gjordes. Planritningar och K-ritningar från typhus användes endast till areaberäkningar och simuleringar av köldbryggor i VIP-Energy.

För att underlätta simuleringar gjordes inga beräkningar gällande övertemperatur eller PPD. Det valdes för att undersökningens värsta vecka var under vinterhalvåret och då är sannolikheten för övertemperatur lägre än under sommaren.

I studien gällande LCA beräkningen studerades enbart produktskedet A1-A3 för energikällor, såsom kamin och solceller, och användningsskedet. Användningsskedet är

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

mer specifikt modulen B6, drifts energi. Det valdes för att syftet med studien var att undersöka ett självförsörjande hus potentiella klimatpåverkan under en vecka. Här begränsades det därför till den potentiella klimatpåverkan och utsläppet av CO_{2e}.

En ytterligare avgränsning var att solceller användes i stället för solfångare för beräkning av självförsörjning under den värsta veckan. Det valdes utefter att solvärmens som solfångaren producerar var för låg för behovet som fanns. Den värsta veckan var under vintermånaderna och det gör att solfångarens värmeproduktion var för låg för att klara kraven. Solceller producerar el och med elen kan en värmepump användas för att öka produktion av värme.

För potentiella klimatpåverkanberäkningar i scenarier med off-grid togs inte den energi som krävdes för tappvarmvatten med i beräkningen. Det beslutet togs eftersom tillgången till vatten och avlopp inte finns eller är kraftigt försämrade vid längre strömbrott.

I beräkningar av den potentiella klimatpåverkan ingår endast det fossila utsläppet, alltså togs det biogena samt utsläppet för markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (luluc) inte hänsyn till i beräkningarna.

1.6 Metod

En litteraturstudie genomfördes där syftet var att få en introduktion till Sveriges energianvändning för småhus, konceptet off-grid, olika energieffektiva byggnadsmetoder och hur potentiell klimatpåverkan för byggnationer bedöms i Sverige. En teoridel togs även fram med en sammanställning hur BBR och FEBY18 Guld bedömer energieffektiva hus, förutsättningar för energieffektiva hus samt solteori. Slutligen bestod teoridelen av en fördjupning om hur en LCA tas fram och hur den potentiella klimatpåverkan ser ut för olika energikällor. Teoridelen användes som underlag för utformning av typhus, energisimuleringar, energiberäkningar samt beräkning av potentiell klimatpåverkan. Källorna för litteraturstudien och teorin var tryckt litteratur, E-böcker, publikationer från myndigheter, webbsidor och föreläsningmaterial från Lunds Tekniska Högskola.

Valet av vilket typhus som undersöktes och hur det valdes redovisas under rubrik *4.1 Typhus*.

Undersökningen bestod av två typer av hus som jämfördes med varandra. Ett av husen uppfyllde energikraven från BBR och det andra för passivhus. Kraven för passivhus var FEBY18 Gulds krav gällande specifik årsenergianvändning samt värmeförlusttalet. Skillnaden mellan husen var främst mängden isolering och att byggdelar har ett lägre U-värde. Husen var applicerbara för 4 olika scenarier av uppvärmningskällor.

Den första delen av studien bestod av energiberäkningar med hjälp av simuleringsprogrammet VIP-Energy där energibehovet för respektive typhus togs fram.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

För att simuleringen av energibehovet skulle kunna göras krävdes en beräkning av area för respektive byggnadsdel och att respektive byggnadsdel hade en definierad konstruktion alternativt värmeisoleringskoefficient, U-värde. Under den här delen av studien togs typhus I och II energibehov under ett år fram. Energiförbehovet ska motsvara krav enligt BBR samt FEBY18 Guld. För att få fram den värsta veckan ur uppvärmningssynpunkt användes ett diagram från VIP-Energy där alla årets veckors avgivna- respektive tillgivna energi redovisades. Den värsta veckan användes därefter för att beräkna den estimerade potentiella klimatpåverkan.

VIP-Energy är ett program gjort av StruSoft AB som används för att ta fram en byggnads energiprestanda. Programmet beräknar energiflödet för byggnaden timme för timme och tar hänsyn till att värme lagras samt avges från byggnadens massa. Indata som finns i programmet som påverkar byggnadens energiprestanda är uteklimatet, installationer och andra byggnadsfysikaliska faktorer. Byggnadsfysikaliska faktorer som tas hänsyn till i programmet vid energiberäkningar är exempelvis luftläckage, köldbryggor, klimatzon samt värmelagring i byggmaterial och mark. En begränsning med programmet är bland annat att det inte går att göra avancerade geometriska modeller av huset utan endast enkla modeller av byggnaden och köldbryggor. VIP-Energy är validerat med standarden Ashrae 140–2007 som är ett slags kvalitetssystem för olika programsystem. VIP-Energy innehåller även krav enligt LEED, BBR och FEBY18 (VIP Energy, u.å., kapitel 4.7.2).

Slutligen bestod studien av att ta fram den potentiella klimatpåverkan för typhusen när de var off-grid men även nollfallet undersöktes, d.v.s. när typhusen var anslutna till elnätet. Nollfallet undersöktes för att ha riktvärden för off-grid scenariernas potentiella klimatpåverkan under den värsta veckan. Veckan som undersöktes var den värsta veckan ur uppvärmningssynpunkt och den valdes med hjälp av energisimuleringarna i den första delen av studien. Koldioxidpåverkan för respektive scenario togs fram med hjälp av handberäkningar i Excel. Vid handberäkningarna användes främst produkt specifik data, såsom EPD:er, men även generiska data, såsom data från Boverkets klimatdatabas. Om inga EPD:er eller klimatpåverkan från Boverkets klimatdatabas fanns har rapporter eller egna beräkningar kring den potentiella klimatpåverkan, mätt i CO₂e, använts.

För detaljerad information kring metoden av utformning av typhus, antaganden gällande typhus, indata i VIP-Energy och de olika scenariernas definitioner se kapitel 4. För detaljerad information kring metoden av beräkning av den potentiella klimatpåverkan för respektive scenario se kapitel 5.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en
veckas självförsörjning

2 Litteraturstudie

I litteraturstudien ges en inblick av hur energianvändningen för småhus ser ut, olika energieffektiva byggnadsmetoder, konceptet off-grid och klimatdeklarationer. Litteraturstudien används för att beskriva ett nuläge för studien.

2.1 Energianvändning för småhus

I Sverige finns det, enligt statistisk från Statistiska Centralbyrån (SCB) under 2022, cirka 2,1 miljoner hushåll boende i småhus och det motsvarar 42,6 procent av hushållen. Av befolkningen är det cirka 5,4 miljoner människor som bor i småhus, vilket motsvarar 51,5 procent (SCB, 2023).

I Energimyndighetens energistatistik för småhus 2022 som redovisas i Excel tabell 2.1 och som tagits fram av SCB, stod den totala energianvändningen för uppvärmning och varmvatten för 28,9 TWh. Värdet är exklusive hushållsel och har jämfört med 2021 minskat med nästan 3 TWh. El var under 2022 det vanligaste uppvärmningssättet. Av den totala energianvändningen var energikällan el 15 TWh och det motsvarar runt 50 procent. Energitillgången biobränsle som är exempelvis pellets, ved och spån var 8,3 TWh. Fjärrvärme var den tredje mest använda energikällan med 5 TWh (Energimyndigheten u.å., tabell 2.1).

För småhus motsvarade den genomsnittliga energianvändningen per småhus 14,3 MWh/hus under 2022. Det var en minskning med 1 MWh jämfört med 2018 när den senaste undersökningen gjordes av Energimyndigheten/SCB. Per kvadratmeter blir energianvändningen för uppvärmning och varmvatten 91,2 kWh/m². Energitillgången per kvadratmeter har ungefär minskat med 16 kWh i jämförelse med undersökningen som gjorts 2018. Värdena är framtagna exklusive hushållsel (Energimyndigheten u.å., tabell 2.3).

Under 2022 var den energitillgången som främst användes för uppvärmning vattenburen elvärme som motsvarade 14 procent av de undersökta småhusen. Efter vattenburen elvärme var användningen av biobränslen och direktverkande el näst vanligast med 13 procent. Uppvärmning av småhus enbart med hjälp av bergvärmepump var 12 procent enligt SCB:s statistik. Uppvärmning av småhus med berg/jord/sjövärmepump i kombinationen med kakelugn/braskamin/pellets-kamin etcetera motsvarade 2022 även 12 procent (Energimyndigheten u.å., tabell 2.5).

I Energimyndighetens rapport *Hushåll och energibeteende* skriver Paul Westin (2007, s. 13–14) om direkt energianvändning för bostäder. Enligt Paul Westin är fördelningen för den direkta energianvändningen för bostäder ungefär 60 procent uppvärmning, 20 procent varmvatten och 20 procent för hushållsel. Fördelningen av energianvändningen för passivhus är inte samma eftersom uppvärmningsbehovet är betydligt mindre jämfört med andra bostäder.

2.2 Energieffektiva byggnadsmetoder

Inom byggbranschen finns det ett flertal olika metoder eller koncept angående hur energieffektiva hus ska byggas. Nedan kommer passivhus förklaras och förutsättningarna för att bygga ett passivhus presenteras. Plusenergi samt nära noll energi metoden kommer bara beskrivas överskådligt eftersom de bygger på samma principer som passivhus.

2.2.1 Passivhus

Passivhus etablerades under 1990-talet av Wolfgang Feist, och syftet med metoden är att förbättra värmebalansen inomhus genom en fungerande klimatskärm (Hegger, Fafflok, Hegger & Passig, 2016, s. 43). Passivhus innebär att de passiva värmekällorna som finns brukas för att värma byggnaden och undviker de aktiva värmekällorna i största möjliga mån. Det betyder att byggnaden utnyttjar värme som finns via solen, interna värmevinster samt återvunnen värme i ventilationssystem. Aktiva värmekällor, såsom exempelvis en luftvärmepump eller fjärrvärme, kan komma att behövas för uppvärmning av hus när temperaturen är runt noll grader (Nationalencyklopedin [NE], 2023). För att kunna minska värmeförlusterna krävs energieffektiva produkter och material, d.v.s. material med låga U-värden och därmed bra värmeisolerande funktion. Konstruktionen bör utformas för att undvika köldbryggor som exempelvis uppstår vid fönster och dörrar, och byggnaden ska vara lufttät för att minska värmeförluster vilket gör att mekaniskt ventilationssystem måste implementeras (Hegger et al, 2016, s. 44). En fördel med passivhus är att de i jämförelse med ett traditionellt konstruerat hus kan vara upp till 75% bättre gällande värmeenergibesparing (NE, 2023).

2.2.2 Nära-nollenergihus

Nära-nollenergihus-metoden innebär att den energi som krävs för att byggnaden ska kunna drivas ska genereras av byggnaden. Det innebär också att vid en energiberäkning för huset ska beräkningen i slutändan bli noll beräknat på årsbasis. För att en byggnad ska kunna bli en nära-nollenergihus krävs en liknande utformning som vid passivhus, se förutsättningar under rubrik *3.2.2 Förutsättning vid utformning av passivhus*, för att få låga energibehov samtidigt som det krävs en källa till förnybar el. Fokuset för utformningen blir därför att minska värmeförluster, öka värmeåtervinning och ha lufttäta byggnader. För nära-nollenergihus kan solceller och solfångare användas som förnybar källa för el respektive värme (Hegger et al, 2016, s. 46–47). Förutsättningarna för solceller respektive solfångare beskrivs under rubriken *3.3 Solteori*.

2.2.3 Plusenergihus

Plusenergihus är en metod som grundas på att man, likt passivhus och nära-nollenergihus, ska ha en så låg energianvändning som möjligt. Plusenergihus fokuserar till skillnad från passivhus inte bara på en låg energianvändning. Ett plusenergihus bygger på principen att huset dessutom ska producera mer energi än det använder, likt nära-nollenergihus. Det innebär även att exempelvis solceller och solfångare kan användas som förnybar källa för el respektive värme. Inom både nära-nollenergihus och

plusenergihus bör hänsyn tas till att energiproduktionen inte alltid är jämn och följer det behov som finns. Energiproduktionen kommer under vissa delar av året att ha ett överskott vilket gör att elen säljs till elnätet. Under de perioder när ett underskott finns i elproduktionen kommer el i stället behöva köpas in till byggnaden från elnätet. Det gör att byggnaden kommer vara nära-noll eller plusenergihus översiktligt på ett år men inte på månadsbasis. Konceptet innebär här att den el som produceras på sommaren och säljs kan köpas in under vinterhalvåret när produktionen är mindre (Hegger et al, 2016, s. 46–49). Ett exempel på ett plusenergihus i Sverige är Karin Adalberths hus i Åkarp (Energi&Miljö, 2017).

2.3 Konceptet off-grid

Konceptet att leva off-grid innebär att ett hushåll är bortkopplat från elnätet. Det innebär att anslutningen till nätbolag inte finns och därmed kan ingen el köpas in. För att kunna leva off-grid krävs därför en källa som ger energi för exempelvis uppvärmning (Wahlström, 2021). Byggnader som inte är uppkopplade till elnätet, och är så kallad off-grid, kräver fristående elproduktions- och distributionssystem. Det krävs för att elen som produceras ska kunna levereras till byggnaden alternativt byggnaderna. Elproduktionen sker främst genom förnybara källor som placeras i närheten eller på byggnaden. Det kan vara solceller, vindkraft eller mikrovattenkraft som med hjälp av batterier kan lagra el. Att leva off grid har på senare år blivit enklare på grund av att exempelvis solceller och batterier har minskat i pris. Möjligheten att kunna bli självförsörjande av el blir därav större även om det idag inte är lönsamt för hushåll där elnätet är tillgängligt (Hojková, 2018).

Anledningarna varför off-grid konceptet används är olika. Ofta kan det bero på geografiska förutsättningar, ett icke fungerande elnätverk eller en önskan om ett självförsörjande liv. Andra anledningar kan vara att minska hushållets elkostnader, att kunna klara av större kriser såsom krig eller naturkatastrofer (Hojková, 2018).

Idag är off-grid konceptet vanligare i utvecklingsländer än i industriländer. Det beror främst på brister gällande elnätverk i u-länder samt att solceller blir ett billigare alternativ. I industriländer såsom USA och Australien är off-grid konceptet vanligare än exempelvis i Sverige. I USA levde cirka 1 procent av konsumenterna enligt off-grid 2014. I exempelvis Australien är off-grid konceptet ett bra alternativ på grund av höga elkostnader men även på grund av att risken för strömavbrott är högre. I Australien, men även USA, är risken för naturkatastrofer högre vilket gör att en intern energikälla kan säkra energitillförseln (Hojková, 2018).

Ett antal exempel på off-grid konceptet från verkligheten kommer beskrivas översiktligt nedan.

I artikeln *”Lessons From OFF-GRID LIVING”*, från tidningen Mother Earth News, beskrivs ett exempel på varför konceptet off-grid hus används idag men även redan för 26 år sedan. Exemplet i artikeln gäller ett par som köpte cirka 60 hektar mark i östra

Ontario, Kanada. I artikeln beskrivs det hur de höga kostnaderna för att kopplas samman till elnätet, cirka 100 000 dollar 1998, var den främsta anledningen varför markägarna valde att gå off-grid. Energikällan i det här exemplet var främst solceller men även ved och vindturbiner användes. De främsta tipsen som presenteras i artikeln för att kunna leva off-grid är att det är bättre att överestimera batterierna, att ha flera olika energikällor samt att planera för överraskningar och förbereda sig för nödsituationer.

I artikeln "*Gick "off-grid" – slipper dyra elräkningar*", från Svenska Dagbladet, beskrivs ett svenskt exempel på ett off-grid småhus placerat i Kristianstad. Anledningen varför off-grid konceptet valdes till småhuset var för att slippa betala räkningar för husets elanvändning. Småhuset var från början inte kopplat till elnätet. Husets främsta energikälla var solceller och utöver det fanns en regulator, en växelriktare samt blysyrbatterier. I artikeln berättar småhusets ägare, Andreas Olsson, om problematiken som funnits innan solcellerna men även hur huset optimerats. Under den första vintern hade ägaren underskattat antalet solceller och placerat de i fel vinkel mot solen vilket gjorde att det inte var anpassat för vinterklimat. Det medförde i sin tur att strömmen tog slut och att huset inte kunde värmas upp och leverera dess funktion. Efter att ha gjort ett flertal optimeringar av solcellsanläggningen kan idag batterierna lagra ström i cirka en 1,5 vecka utan ny solenergi. Ägaren medger dock att det troligen hade varit mer ekonomiskt försvarbart att vara ansluten till elnätet i slutändan eftersom överskottet från solcellerna hade kunnat säljas och därav användas.

Ett sista exempel på hur off-grid konceptet används idag är projektet "Beyond the Grid Fund for Africa". Det är en fond som ska bidra till en större tillgänglighet av el för människor i den Subsahariska regionen i Afrika. I den Subsahariska regionen har två av tre personer ingen tillgång till el. Syftet är därför att ge människor som har svårt att få tillgång till el en chans till förnybar och prisvärd el genom exempelvis solceller (USAID, u.å.). Fonden stöts bland annat genom svenska, danska och amerikanska bistånd (Beyond the Grid Fund for Africa, 2023).

2.4 Klimatdeklaration

Sedan den 1 januari 2022 krävs det att byggherrar lämnar in en klimatdeklaration för nybyggnationer för att kunna få slutbesked (Boverket, 2023e). Klimatdeklarationer gäller för nybyggnationer där bygglov söks efter den 1 januari 2022. Klimatdeklarationer ska hjälpa byggherren att redovisa den klimatpåverkan som är under byggskedet. Idag finns det inga krav gällande maximal klimatpåverkan vid nybyggnation. Förhoppningen är att klimatdeklarationer ska bidra till en minskad klimatpåverkan vid nybyggnation (Boverket, 2023g). Befintliga byggnader som exempelvis ska byggas om eller till behöver inte klimatdeklareras. Byggnader som är undantag när det gäller klimatdeklarationer är exempelvis byggnader som inte kräver bygglov, bruttoarean är 100 m² eller mindre, byggs av privatpersoner, etcetera (Boverket, 2023b).

3 Teori

I det här kapitlet presenteras teori kring energieffektiva hus, solteori, utformning och tolkning av LCA samt olika energikällor. Fokuset för energieffektiva hus var främst passivhus men energieffektiva hus enligt BBR beskrivs även. Solteorin består av information kring hur solenergi kan utnyttjas optimalt. Verktyg, metodval och tolkning av LCA redogörs. Slutligen presenteras en mindre del teori för energikällor som kan appliceras för on- och off-grid hus.

3.1 Bedömning av energieffektiva hus enligt BBR

3.1.1 Primärenergital

I samband med att EU:s energiprestandadirektiv infördes i svenska byggregler 2017 tillkom måttet primärenergital som mäter en nybyggnations energiprestanda. Primärenergitalet EP_{pet} har enheten kWh/kvm år (Boverket, 2020e).

Primärenergitalet består av byggnadens energianvändning för uppvärmning, kylning, tappvarmvatten och fastighetsel, d.v.s. den energi som behöver levereras till byggnaden. Energianvändningen för uppvärmning divideras med en geografisk justeringsfaktor som är beroende av var byggnationen är placerad. Justeringsfaktorn används för att bostadsägare inte ska straffas av att bo på en plats som har ett klimat som kräver mer energi för uppvärmning. Om den geografiska justeringsfaktorn inte fanns hade ett hus placerat i norra Sverige fått ett betydligt högre primärenergital än ett hus i södra Sverige (Boverket, 2020e).

Den totala energianvändningen ska även multipliceras med en viktningsfaktor för energibäraren. Viktningsfaktorens storlek beror på vilken typ av energibärare som används och det kan även vara flera olika energibärare. Exempel på energibärare är el, fjärrvärme, biobränsle eller fossil gas (Boverket, 2020e). Anledningen till att viktningsfaktorer används är att det ska hushållas med olika typer av energi (Boverket, 2022a). Slutligen divideras byggnadens totala energianvändning beräknad enligt ovan med A_{temp} som är golvarean för byggnaden (Boverket, 2020e).

Formeln som används för att få fram primärenergitalet kommer från Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR, och redovisas i ekvation 1:

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

Respektive faktor i ekvation 1 står för:

$E_{uppv,i}$ = Energi för uppvärmning av hus, anges i kWh/år.

F_{geo} = Geografisk justeringsfaktor. Hämtas från BBR.

$E_{kyl,i}$ = Energi för komfortkyla, anges i kWh/år.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

$E_{ttv,i}$ = Energi till tappvarmvatten, anges i kWh/år.

$E_{f,i}$ = Energi för fastighetsenergi, anges i kWh/år.

VF_i = Viktningsfaktor för respektive energibärare. Hämtas från tabell 9:2b i BBR29 (Boverket, 2020b)

A_{temp} = golvarean, anges i m².

I BBR 29 definieras även krav på högsta tillåtna primärenergital i tabell 9:2a. Kraven varierar utefter vilken typ av byggnad det är. I studien är byggnaden som undersöks ett bostadshus och därför redovisas bara krav för bostäder i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Primärenergital för bostadshus enligt BBR 29

Bostadstyp	Primärenergital krav [kWh/m ² , år]
Småhus > 130 m ² A _{temp}	90
Småhus 90–130 m ² A _{temp}	95
Småhus >50–90 m ² A _{temp}	100
Småhus ≤50 m ² A _{temp}	Inget krav
Flerbostadshus	75 ⁴⁾

3.1.1.1 E_{uppv}

Beräkning av E_{uppv} under ett år ges av ekvation 2:

$$E_{uppv} = Q_{tot} \cdot G_t \quad (2)$$

$$Q_{tot} = Q_t + Q_v \cdot (1 - \eta) + Q_{ov} \quad (3)$$

Q_{tot} , i ekvation 3, som är den totala värmeförlusten består av tre energiposter:

- Q_t = specifik värmeförlustfaktorn för transmission, anges i W/K
- Q_v = specifik värmeförlustfaktorn för ventilation, anges i W/K
- Q_{ov} = specifik läckageförlust, anges i W/K
- G_t = gradtimmar, anges i °Ch/år
- η = värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad

Vanliga värmeförluster i ett hus redovisas i figur 3.1.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning



Figur 3-1: Värmeförluster i ett hus (Energimyndigheten 2023)

Specifik värmeförlustfaktor för transmission, eller kortare uttryckt transmissionsförlust, innebär en värmeförlust genom byggnadens klimatskal som omfattar byggnadens grundkonstruktion, ytterväggar, fönster, dörrar och tak (Warfinge & Dahlblom, 2010, s. 4:9). Byggnadens isolering bestämmer storleken på transmissionsförlusterna, men även uppkomna köldbryggor som uppstår i anslutning mellan olika byggnadsdelar och otätheter som bryter igenom klimatskalet har en inverkan på hur mycket värme som släpps ut. Fönster är den konstruktionsdel som vanligtvis bidrar mest till värmeförlusterna i byggnaden och storleken beror i hög grad på dess U-värde, i synnerhet för den omslutande konstruktionen eftersom glaset generellt har en bättre isoleringsförmåga i förhållande till bågen och karmen. De typiska köldbryggorna är anslutningar mellan yttervägg och grund, yttervägg och fönster, yttervägg och mellanbjälklag samt yttervägg och takfot (Andrén & Tirén, 2010, s. 49).

Specifik värmeförlustfaktor för ventilation eller ventilationsförluster beror på att den uppvärmda inneluften lämnar byggnaden och ersätts med den uppvärmda friska uteluften vid ventilation. För att minska värmeförlusterna som det medför har en teknik för värmeåtervinning i frånluften utvecklats vilket beskrivs närmare under 3.2.2.3 (Andrén & Tirén, 2010, s. 50).

Specifik läckageförlust eller oavsiktlig ventilation uppstår när den varma inneluften läcker ut genom otätheter i klimatskalet medan den kalla uteluften läcker in, som medför att värmesystem behöver värma upp den kalla luften till rumstemperatur vilket skapar energiförluster. Otätheter kan vara köldbryggor men även olika kanalgenomföringar genom de täta konstruktionerna. För exempelvis ett passivhus är det avgörande att byggnadens täthet kan säkerställas (Warfinge & Dahlblom, 2010, s. 4:12; Andrén & Tirén, 2010, s. 63).

3.1.2 Värmegenomgångskoefficient

Inom BBR finns det krav gällande den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för byggnadsdelar och köldbryggor. I realiteten innebär det här ett krav på graden isolering gällande klimatskärmen. Klimatskärmen på en byggnad är det som gränsar mot omgivningen, d.v.s. utsidan, och det innebär ytterväggar, fönster, dörrar, golv samt tak.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en
veckas självförsörjning

För att ta fram en byggnads värmegenomgångskoefficienten krävs U-värdet samt arean för respektive byggnadsdel i klimatskärmen. Värmegenomgångskoefficienten kallas för U_m och har enheten W/m^2K (Boverket, 2020a).

Formel för att få fram U_m , enligt BBR 29, redovisas nedan i ekvation 4:

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j}{A_{om}} \quad (4)$$

U_i = U – värde för byggnadsdel i klimatskärm, W/m^2K

A_i = area för byggnadsdel i klimatskärm, m^2

l_k = längd linjär köldbrygga, m

ψ_k = linjära köldbryggor, W/mK

χ_j = punktköldbryggor, W/K

A_{om} = omslutande area klimatskärm, m^2

I BBR 29 definieras krav på högsta tillåtna U_m i tabell 9:2a. Kraven varierar utefter vilken typ av byggnad det är. I den här studien undersöks byggnaden utefter bostäder och därför redovisas bara krav för bostäder i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för bostadshus enligt BBR 29

Bostadstyp	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m^2K]
Småhus > 130 $m^2 A_{temp}$	0,3
Småhus 90–130 $m^2 A_{temp}$	0,3
Småhus >50–90 $m^2 A_{temp}$	0,3
Småhus $\leq 50 m^2 A_{temp}$	0,33
Flerbostadshus	0,4

U-värden som ska eftersträvas för olika enskilda byggnadsdelar, enligt BBR 29 tabell 9:92, redovisas i tabell 3.3.

Tabell 3.3: U-värden som eftersträvas för enskild byggnadsdel enligt BBR

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

3.2 Passivhus

3.2.1 FEBY

FEBY, Forum för energieffektivt byggande, är en certifiering för passivhusstandarden. FEBY18 är den uppdaterade versionen av FEBY12, där passivhus nivån i FEBY12 har ersatts med FEBY18 Guld energikrav i FEBY18. Enligt FEBY18 Guld har en eluppvärmd byggnad ett krav på att levererad el till byggnaden för uppvärmning, varmvatten och fastighetsenergi ska hamna under 26 kWh/m². För silver respektive brons är kravet 32 samt 38 kWh/m². FEBY silver motsvarar ett minienergihus enligt FEBY12 (FEBY, 2024; FEBY u.å.).

Inom FEBY18 är ett annat krav att ha ett lågt värmeförlusttal. Det innebär att värmeförlusterna kommer vara små och att värmeeffektbehovet kommer vara lågt under perioder när det är som kallast. Enligt FEBY18 ger ett lågt värmeförlusttal i sin tur ett lågt värmebehov för byggnaden (FEBY, u.å.). Se figur 3.2. För FEBY18 Guld är värmeförlusttalet 14 W/m² A_{temp} om byggnaden är större än 600 kvm i södra Sverige. Motsvarande för FEBY Silver är 19 W/m² A_{temp} (FEBY, 2024).

Om byggnaden är mindre än 600 kvm används ekvation 5 för att få fram värmeförlusttals tillägget. Värmeförlusttalet förkortas *VFT*.

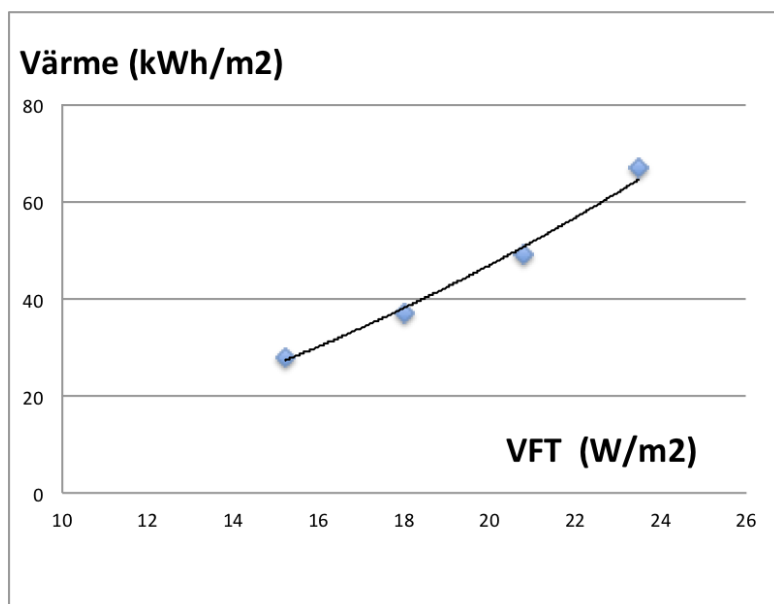
$$VFT: + \frac{600 - A_{temp}}{110} \quad (5)$$

Om byggnaden har ett större genomsnittligt luftflöde q_{medel} än 0,45 l/s, m² och det är inom intervallet 0,45-1,0 l/s, m² blir tillägget enligt ekvation 6:

$$VFT: + (q_{medel} - 0,35) \cdot 0,18 \cdot (21 - DVUT) \quad (6)$$

Tillägg för kallare klimat finns även om byggnation ej är placerad i södra Sverige (FEBY, 2024).

För FEBY18 kommer byggnaden att klassas utefter den lägsta nivån som uppfylls gällande värmeförlusttal samt årsenergi. Det innebär att både värmeförlusttalet och årsenergin måste uppfylla guld för att vara ett så kallat passivhus (FEBY, 2024).



Figur 3-2: Förhållandet mellan värmebehovet och värmeförlusttalet (FEBY 2018)

I tabellen 3.4 har kraven för studien för att uppfylla FEBY18 Guld sammanställts (FEBY, 2024). I det här examensarbete kommer hänsyn tas för bara värmeförlusttal samt årsenergi.

Tabell 3.4: Krav som passivhus ska uppfylla enligt FEBY18 Guld

Värmeförlusttal	14+tillägg $W/m^2 A_{temp}$
Årsenergi	26 kWh/m ²

3.2.2 Förutsättningar vid utformning av passivhus

3.2.2.1 Formfaktor, placering och fönster

En viktig förutsättning för ett passivhus vid nybyggnation är planlösningen samt hur byggnaden är orienterad i förhållande till väderstreck och omgivning. Gällande planlösningen är den första centrala faktorn antalet våningsplan. Parametern som styr heter formfaktor F . Definitionen på formfaktor är:

$$F = \frac{A_{omslutande}}{A_{temp}} \quad (7)$$

där A_{om} , i ekvation 7, står för den omslutande arean, och A_{temp} för den tempererande area (Andersson et al. 2022, s. 18). Enligt BBR 29 definieras A_{om} som ”sammanlagd area för omslutande byggnadsdelar mot uppvärmd inneluft”, medan A_{temp} definieras som ”arean av samtliga våningsplan, vindsplan, och källarplan för temperaturreglerande utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10 °C, som begränsas av klimatskärmens insida” (Boverket, 2020b, s. 139). Med ökande antal våningar ökar A_{temp} med de golvareor som är uppvärmda till mer än 10 °C, medan A_{om} förutom markens samt takets yta utökas med ytterväggarnas areor, vilket bidrar till att formfaktorn minskar och byggnaden får ett till ytan större klimatskal i förhållande till golvarean. Ytterligare sätt att öka byggnadens energieffektivitet genom planlösningen är att utforma den mer kompakt, utan många hörn och med raka fasader utan burspråk samt att lägga balkonger utanför byggnadens klimatskal (Andrén & Tirén, 2010, s. 72).

Husets placering har en väsentlig roll i ökningen av energiprestandan. För att öka möjligheten till passiv uppvärmning ska det mesta av fönsterarean placeras mot söder, vilket också maximerar andelen ljusinsläpp så att kravet för tillräckligt mycket dagsljus i byggnaden kan uppnås. Dock ska andelen fönsteryta beaktas för att minimera oönskad värmeinstrålning via passiv solvärme som kan leda till övertemperatur (Andrén & Tirén, 2010, s. 49). Med dagens välutvecklade fönster med lågt U-värde är det möjligt att uppnå kravet på god tillgång till dagsljus samtidigt som värmelasten kan hållas nere. Enligt BBR:s hänvisning till allmänt råd till standarden SS 91 42 01 ”Byggnadsutformning – Dagsljus – Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea” gäller det att fönsterglasarean bör vara minst 10 % av golvarean vilket också motsvarar en dagsljusfaktor på cirka 1,0 %. Ett praktiskt sätt att minska värmelasten särskilt under sommaren är med solavskärmning där fasta solavskärmningar ger gott skydd året om utan höga kostnader för drift och underhåll. Detta innefattar främst takutsprång samt balkonger (Andrén & Tirén, 2010, s. 72).

3.2.2.2 Isolering

Den viktigaste förutsättningen för att en byggnad ska uppnå passivhusstandard är att den har tillräckligt mycket isolering för att uppnå en god isoleringsförmåga och på så sätt minimera transmissionsförlusterna för byggnaden. U-värde eller värmegenomgångskoefficient är ett centralt begrepp för energieffektivitet i hus. De beskriver en konstruktions eller byggnadsdels värmeledningsförmåga uttryckt i W/m^2K . Värmeledningsförmåga definieras ”som den värmemängd som per sekund passerar genom en m^2 av ett material med en meters tjocklek när temperaturdifferensen är en grad” och betecknas som λ -värde med enhet W/mK . Alltså ju lägre λ -värde ett material har, desto bättre är dess värmeisoleringsförmåga (Sandin, 2010, s. 39). Med god isolering och väl utformade lösningar i anslutning mellan byggnadsdelar kan även köldbryggor minimeras i ett passivhus. Några sätt att uppfylla det här är bland annat genom att använda ett kontinuerligt isolerskikt utvändigt samt välisolerande isolering i hörnanslutningar och bjälklagkanter, exempelvis PIR-isolering (Träguiden, 2021; Takcentrum, 2015).

Andel isolering i ett passivhus är betydligt större än i ett traditionellt konstruerat hus. Dock kan riktlinjerna variera mellan olika tillverkare och beroende på ändamål men de flesta, som exempelvis Villa Varm, använder sig av minst ”grunden 30 cm isolering, väggen 40 cm och taket 50 cm.” (Villa Varm, 2023). Även Emrahus använder sig av en liknande konstruktion med en lite större andel isolering, nämligen ”40 cm isolering i grunden, 50 cm isolering i väggar och hela 65 cm isolering i tak.” (Emrahus, 2023). En utmaning med för mycket isolering i en byggnad är vid händelse av överhettning, om en stor mängd solvärme kommer genom fönster att det är svårt för värmen att komma ut genom klimatskalet vilket leder till övertemperaturer. Att aktivt kyla byggnaden för att kompensera för övertemperaturer blir energikrävande och motverkar hela konceptet med passivhus genom att öka husets behov av tillförd energi (Andrén & Tirén, 2010, s. 49). Ett sätt att förebygga det här är genom val av fönster som har en god isolerförmåga. Enligt Energimyndigheten har energieffektiva fönster ett U-värde på 1,0 W/m²K eller lägre och har höga krav på isolerförmåga, dagsljusinsläpp och solvärmeinsläpp. Det som kännetecknar energieffektiva fönster är exempelvis 3-glasfönster där innerbåge består av 2-glas-isolerruta, och luftspalten mellan glasen är fylld med gas som argon eller krypton och har ett lågmissionskikt. Dessutom ska tätningslisterna eller annan form av isolerande drevning vara rätt förseglade mellan karmen och väggen. Det gör att energieffektiva fönster kommer vara isolerande under de kalla månaderna och förhindra rumsvärmen från att komma ut samtidigt som de förebygger övertemperaturer på sommaren (Energimyndigheten, 2022a).

3.2.2.3 Ventilation och lufttätet

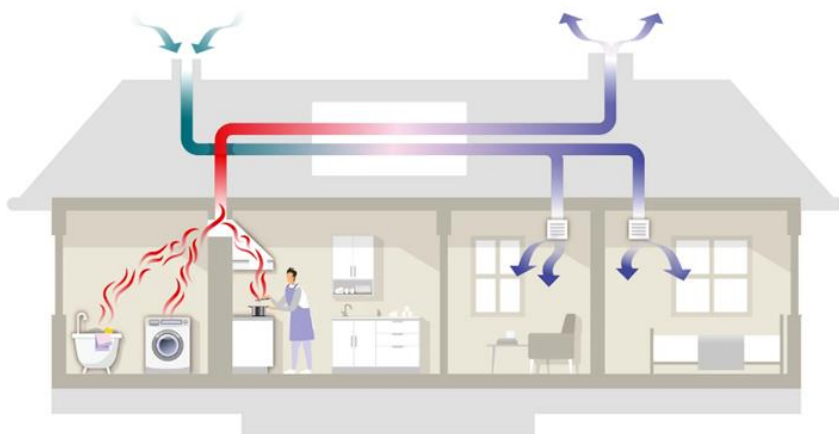
Ventilationen är av stor vikt när det gäller energieffektiviseringen av byggnader. Det beror på att uppvärmningen av byggnaden är en betydande andel av den totala energianvändningen.

Ett mekaniskt frånluftssystem ventilerar en byggnad med hjälp av en frånluftsfläkt som skapar ett undertryck. Frånluftsfläkten är beroende av elenergi. All lufttillförsel sker genom uteluftsventiler som på grund av undertrycket suger in luft i byggnaden. Uteluftsventilerna placeras i de rum eller delar av byggnaden som människor vistas mest i. För en bostad är det sovrum och vardagsrum. Den förbrukade luften, d.v.s. frånluften, tas ut via frånluftsdon som placeras i kök och badrum. Ett frånluftssystem kan kompletteras med en värmepump, ett så kallat FVP-system, där värmen från frånluften återvinns (Warfvinge & Dahlblom, s. 2:13-2:15). För ett hus enligt BBR:s krav med frånluftsventilation bör lufttäteten för byggnader vara 0,6 l/s, m² vid 50 Pa tryckskillnad (Träguiden, 2017).

För FTX-system innebär det att frånluftens värme ska tas till vara på för att värma upp den nya friska tilluften, se figur 3.3. Det innebär i sin tur att behovet av tillförd värmeenergi minskar. Värmeförluster kommer dock finnas kvar eftersom ny ouppvärmad tilluft ersätter den uppvärmda luften (Andrén & Tirén, 2010, s. 47–48 & s. 50–51). För passivhus bör det mest energieffektiva värmeåtervinningsaggregatet med en hög värmeåtervinningsgrad väljas för att minimera de värmeförluster som finns (Andrén & Tirén 2010, s. 68–69). För att ett FTX-system ska kunna fungera i ett passivhus krävs

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

det att byggnaden är lufttät (Energimyndigheten, 2022b). Byggnadens lufttätethet är viktig för energihushållningen, inomhusklimatet samt fuktsäkerheten. För passivhus bör över- och undertrycket vara på cirka 50 Pascal vid en täthetsprovning av klimatskärmen (Andrén & Tirén, 2010, s. 50). För att en byggnad ska ha en god lufttätethet ska håltagningar undvikas, placera plastfolien mellan stommen och installationsskiktet för att inte göra hål i plastfolien, använda sig av beständiga lufttätandeskikt såsom tejp och fogmassa (Träguiden, 2017). Vidare ska lufttätetheten enligt FEBY18 Guldstandard vara mindre än 0,3 l/s, m² vid en tryckdifferens på 50 Pa om det är från- och tillluftsventilation (FEBY, 2024).



Figur 3-3: Mekanisk från- och till luft med värmeväxling (FTX) (Energimyndigheten 2022)

3.3 Solenergi

För solceller finns det ett antal olika förutsättningar som finns för att solceller ska kunna användas för att producera el till bostadshus. Förutsättningar kommer presenteras och beskrivas nedan. Förutsättningarna är även applicerbara för solfångare som kommer beskrivas under rubriken solvärme.

3.3.1 Solceller

I en solcellsanläggning finns det solpaneler, monteringsystem, växelriktare och anslutning. Solpanelerna är flera sammankopplade solceller och det är de som producerar den elektriska energin från energin i solljuset. Den elektriska energin kommer i form av likström vilket gör att en växelriktare krävs för att kunna omvandla likströmmen till växelström. Växelström är standard för strömmen som används för

apparater i byggnader. Solcellsanläggningen kommer behöva anslutas till byggnadens elcentral (Energimyndigheten, 2019).

3.3.1.1 Elnät

Idag säljer majoriteten av de byggnaderna som har solceller den el som inte förbrukas, d.v.s. ett överskott av el. Det innebär att all den solceller som producerats till byggnaden inte bara brukas av fastighetsägarna och det krävs därför ett bra elnät. Under de perioder där solcellerna inte producerar tillräckligt med el köps därför el in från elnätet (Energimyndigheten, 2019; Energimyndigheten 2021a).

3.3.1.2 Skuggning

Enligt Skuggningshandboken (2017, s. 4) bör det vid utformning av välfungerande och effektiva solcellssystem minimeras inverkan av skuggning. Det innebär att det främst bör undvikas att placera skuggande föremål vid solcellssystem. Skuggande föremål kan vara exempelvis träd, skorstenar eller bredvidliggande byggnader.

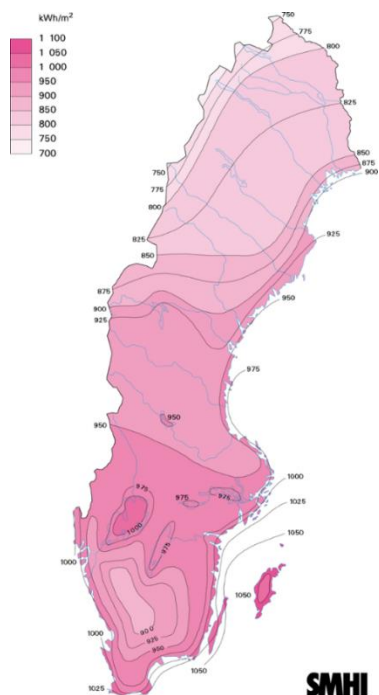
3.3.1.3 Instrålning

Solinstrålningen genererar i Sverige idag en energimängd upp mot 1 100 kWh/m² och år. Det motsvarar en maxeffekt på 1000–1100 kWh/m² under en klar sommardag. Inom Sverige är skillnaderna när det gäller instrålning relativt små, cirka 15 procent mellan Kiruna och Malmö (S-Solar, 2010, s. 17). Den genomsnittliga solinstrålningen i Sverige visas i en karta från SMHI, se figur 3.4.

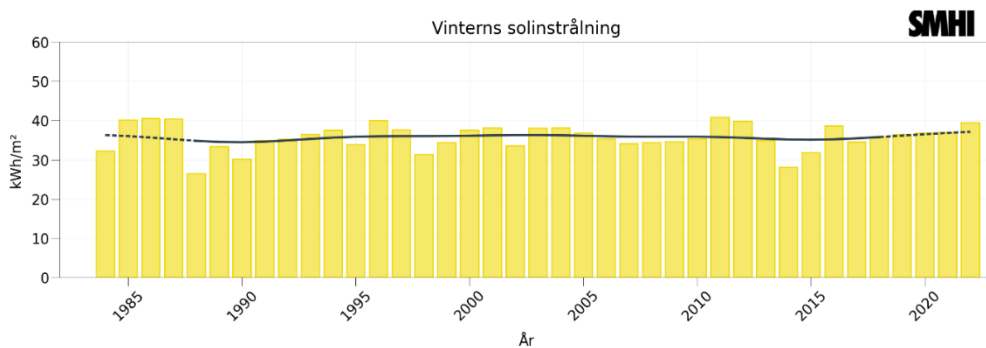
Instrålningen av sol som når jordytan varierar beroende av vilken del av året det är. Under sommaren och våren är den genomsnittliga solinstrålningen betydligt högre än under höst- samt vintermånaderna i Sverige. I figur 3.5 och 3.6, från SMHI, visas det att vinterns solinstrålning ligger strax under 40 kWh/m² jämfört med sommarens solinstrålning som är runt 450 kWh/m². I figurerna avses vintermånaderna som december-februari, mars-maj är vår, juni-augusti är sommar och höstmånaderna är september-november (SMHI, 2023).

Andra faktorer som påverkar andelen solinstrålning som når jorden är molnighet, halten partiklar i luften men även hur högt solen står på sommaren. Hur högt solen står på himmeln är det som säsongsvariationerna av instrålning grundas i eftersom det är längre dagar under sommarhalvåret. Under de senaste åren har en ökad strålning nått jorden. Det beror främst på en minskad molnighet och att andelen partiklar i luften har minskat under decennierna sedan 1980-talet, i Sverige och Europa (SMHI, 2023).

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning



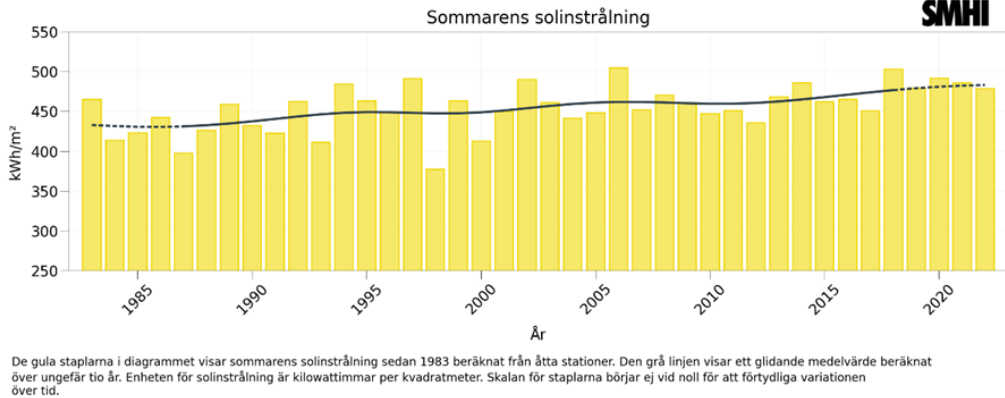
Figur 3-4: Klimatkarta som illustrerar värdet för globalstrålning ett helt år under den av WMO definierade normalperioden 1961–1990 (SMHI 2017)



De gula staplarna i diagrammet visar vinterns solinstrålning (Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2020 står för vintern 1999/2020.) sedan 1983 beräknat från åtta stationer. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Enheten för solinstrålning är kilowattimmar per kvadratmeter.

Figur 3-5: Genomsnittlig solinstrålning under vintermånaderna för respektive år (SMHI 2023a)

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning



Figur 3-6: Genomsnittlig solinstrålning under sommarmånaderna för respektive år (SMHI 2023b)

3.3.1.4 Takriktning

Produktionen av så kallad solex påverkas av vilken riktning solcellerna placeras i. Det innebär att produktionen ökar eller minskar beroende vilket väderstreck som solcellerna riktas mot. Inom solcellsbranschen har det länge förespråkats att placera solceller i söderläge för att få en maximal solexproduktion årligen. Det stämmer men det bör även lyftas fram att placeringen av installation av solceller i östlig och västlig riktning ger el som kan utnyttjas mer. Elen ges av soluppgång respektive solnedgång och det innebär att stora delar av elen som produceras faktiskt kan användas under den tidsperiod där elanvändningen oftast är högre (Energimyndigheten, 2021a).

3.3.1.5 Taklutning och typ av tak

Produktionen av solex är även beroende av ett taks utformning gällande typ av tak och taklutning. För platta tak brukar solcellerna behöva riktas mot söder med en lutning upp mot 10–20 grader för att ge en optimal solexproduktion. På lutande tak följer i stället solceller lutningen som finns på taket för att underlätta monteringen och systemutformningen. Vid mycket branta tak går det att få fram en större årlig solexproduktion samtidigt som det innebär en svårare montering. Den optimala lutningen för produktion av solex under ett år med solceller brukar antas vara mellan 30–50 grader. Den produktionen påverkas dock inte betydande mycket om lutningen skulle avvika (Energimyndigheten, 2021a).

3.3.1.6 Batterier till solceller

Idag säljs den el som är ett överskott från solcellsanläggningen till elnätet för att vid senare tillfällen kunna köpa tillbaka elen när den behövs. Om det i stället kopplas ett batteri till solcellsanläggningen kan det överskottet lagras och därav användas när det behövs utan att behöva vara kopplat till elnätet. Det innebär i sin tur att den el som används kan säkerställas vara hushållets egna el (Energimyndigheten, 2024).

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Att vara självförsörjande med el från solceller, och därav inte vara beroende av elnätet, kräver en stor kapacitet gällande lagring. Det gäller särskilt dagar när produktionen av el från solcellerna är låg som under vinterhalvåret när solinstrålningen är begränsad (Energimyndigheten, 2024).

Vid strömavbrott eller tillfällen när elnätet inte fungerar krävs en nödströmsfunktion. Den gör att solcellerna, som annars är uppkopplade till elnätet, kopplas från. Därefter kan solcellerna kopplas samman med ett batteri för att kunna lagra elen som produceras (Energimyndigheten, 2024).

Idag är det inte ekonomiskt försvarbart att ha batterier kopplade till solcellerna under längre perioder som exempelvis månader och år. Att försöka säsongslagra elen som producerats kan för en villa kosta miljoner i batterikostnader. Anledningen varför det är ekonomiskt oförsvarbart är enligt HemSol (2023) att hushållen får en skattereduktion vid försäljning av solel, solcellsbatteriers höga pris samt att kapaciteten är för liten på batterierna idag. Skattereduktionen som finns 2023 innebär att skillnaden mellan egenproducerad el och inköpt el från elnätet endast blev cirka 30 öre/kWh. Det gör att den årliga besparingen inte direkt gör någon inverkan jämfört med den höga investeringskostnaden av solcellsbatterier. Att solcellsbatterierna även har en ungefärlig lagringskapacitet på 5–15 kWh gör att elen troligen bara kan sparas från dag till natt eller maximalt ett par dagar (Hemming, 2023).

Bilbatteriers kapacitet i kWh beror främst om det är för elbilar eller för bilar som drivs av fossila bränslen. Fossildrivna bils kapacitet gällande bilbatterier från ett antal olika märken var 1–2 kWh.

För elbilar motsvarar kapaciteten närmare 50–100 kWh beroende på storlek, teknik och märke. Vanliga elbilsbatterier är så kallade litiumjonbatterier (Björklund, 2023).

3.3.2 Solvärme

Förutom att generera el av solens energi via solceller kan värme eller kyla utvinnas med hjälp av solfångare. Solfångare är, som solceller, placerade på taket och deras produktion är beroende av placering gällande lutning, skuggning samt väderstreck. Solfångare är mer produktiva under sommarhalvåret i Sverige när den globala instrålningen är större än under vinterhalvåret. Det gör att solfångare bör ses som en kompletterande värmekälla för byggnationer i Sverige. Solvärmen som ges av solfångare brukas främst för uppvärmning och tappvarmvatten (NE, 2023c).

En solvärmeanläggning består översiktligt av solfångare, en värmeväxlare samt en ackumulatortank. Solfångaren brukar bestå av glas överst samt en absorbatör som finns under. I Sverige finns det främst två typer av solfångare och de är plana solfångare samt vakuumrörsolfångare (Andrén, 2007, s. 67–69). I vakuumrörsolfångaren är absorbatören inbyggd i glaströr som är tömda på luft, d.v.s. i vakuum. Vakuumrörsolfångare är mer effektiva än plana solfångare eftersom vakuum är mycket värmeisolerande (NE, 2023c). Enligt Solvärmeboken är absorbatören för plana solfångare oftast av koppar eller

aluminium (Andrén, 2007, s. 67–69). I absorbatoren finns det en typ av vätska som ska absorbera den värmen som ges av den absorberade solinstrålningen. Vätskan som absorberat värmen kommer användas till att värma upp vatten i en värmeväxlare (NE, 2023b). En ackumulatortank är ett rörsystem där värmen som solfångaren producerat ska kunna lagras. Den värmen som lagras i ackumulatortanken ska kunna användas för exempelvis, som tidigare nämnt, uppvärmning av byggnaden eller för tappvarmvatten. Typen av ackumulator påverkar hur länge värme kan lagras (NE, 2023c).

3.4 LCA

För att få fram en produkts potentiella miljöpåverkan under dess livstid görs en livscykelanalys, förkortat LCA. LCA står för Life-Cycle Assessment och det är en metod där hänsyn kan tas till en produkts potentiell miljöpåverkan under olika delar av dess livscykel. Med hjälp av resultatet som ges av en LCA kan projekteringen av byggnader påverkas och därav kan byggnaders potentiella miljöpåverkan minskas (Boverket, 2019a).

Metoden LCA brukar dela upp livscykeln i olika skeden för att lättare kunna definiera respektive dels potentiella miljöpåverkan. En byggnads livscykel delas upp i:

- A) Byggskedet
- B) Användningsskedet
- C) Slutskedet

Byggskedet kan delas upp i produkt- respektive byggproduktionsskedet. Produktskedet motsvarar modulerna råvaruförsörjning, transport och tillverkning. Byggproduktionsskedet motsvarar modulerna transport samt bygg- och installationsprocessen (Boverket, 2019).

Användningsskedet kan delas upp i sju olika moduler. Modulerna är användning, underhåll, reparation, utbyte, ombyggnad, driftenergi och driftens vattenanvändning (Boverket, 2019).

Slutskedet består av modulerna demontering & rivning, transport, restproduktsbehandling samt bortskaffning (Boverket, 2019).

Se figur 3.7 för redovisning med byggnadens olika skeden samt respektive skedes modul (Boverket, 2019).

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

A1–5 Byggskede		
A1–3 Produktskede	A1	Råvaruförsörjning
	A2	Transport
	A3	Tillverkning
A4–5 Byggproduktionsskede	A4	Transport
	A5	Bygg- och installationsprocess
B1–7 Användningsskede	B1	Användning
	B2	Underhåll
	B3	Reparation
	B4	Utbyte
	B5	Ombyggnad
	B6	Driftsenergi
	B7	Driftens vattenanvändning
C1–4 Slutskede	C1	Demontering, rivning
	C2	Transport
	C3	Restproduktsbehandling
	C4	Bortskaffning
D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen		

Figur 3-7: En byggnads olika skeden i livscykeln enligt den europeiska standarden EN15978 Hållbarhet för byggnadsverk, byggnaders miljöprestanda (Altefur/ Boverket 2019a). Licens [CC BY-NC-ND 4.0](#)

3.4.1 Användningsområden

Livscykelanalyser används främst för tre olika användningsområden. Användningsområdena för LCA är att identifiera betydande miljöaspekter, förbättra miljöprestanda och att jämföra med andra byggnationer (Boverket, 2020c).

Det första steget eller användningsområdet är att identifiera betydande miljöaspekter. Det innebär att med hjälp av en framtagen LCA för byggnaden kan dess potentiella miljöpåverkan, i vilket skede den potentiella miljöpåverkan är som störst och vilka faktorer som påverkar identifieras. Vid identifiering av betydande miljöaspekter bör

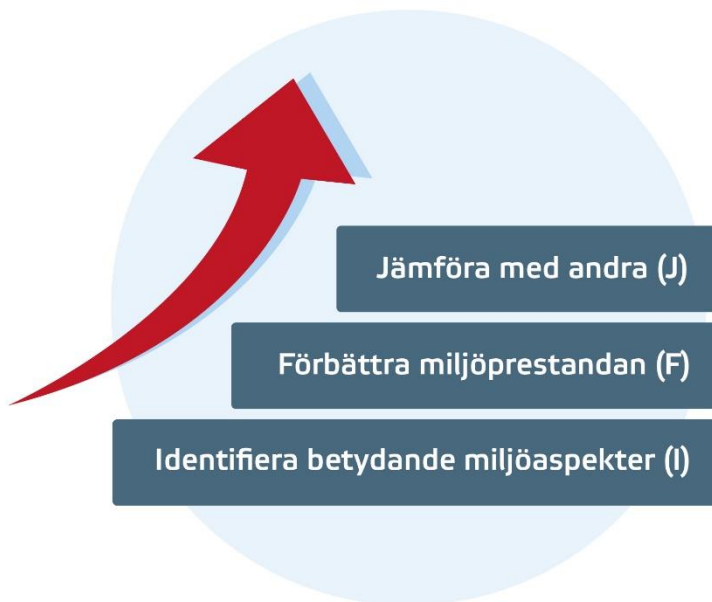
En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

andra LCA-studier jämföras med resultat för att tydliggöra vilka faktorer som faktiskt ger en större påverkan (Boverket, 2020c).

Det andra steget eller användningsområdet är att förbättra miljöprestandan. Det innebär att LCA används för att undersöka olika förbättringar för byggnaden och utgångspunkt är de betydande miljöaspekterna som identifieras i föregående steg. Förbättringar kan vara konstruktionslösningar, materialval eller byggmetoder (Boverket, 2020c).

Det tredje steget eller användningsområdet är att jämföra med andra byggnader. När det gäller jämförelser är kraven större gällande metod och datakvalité samt att alla antagande och metodval ska vara tydligt definierade. Vid jämförelser är den funktionella enheten en betydande del av jämförelsen (Boverket, 2020c).

De olika stegen eller användningsområdena redovisas i LCA trappan, se figur 3.8. LCA trappan ska återspegla hur kvalitetskraven ökar ju högre upp i trappan man går (Boverket, 2020c).



Figur 3-8: Illustration av LCA-trappan (Boverket/Infab AB 2020). Licens [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Enligt Boverket är det användbart att ta fram en LCA för en byggnad i ett tidigt skede av byggprocessen, vid upphandling av entreprenör, vid uppföljning eller vid ombyggnad (Boverket, 2020c).

3.4.2 Utföra LCA

LCA metoden brukar delas upp i fyra olika steg eller delar. Omfattningen på respektive del av processen beror på omfattningen i det som undersöks. Det första som bör bestämmas är mål och omfattning när det gäller en LCA-beräkning. Här bör det vara

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

tydligt om vad som ska tas fram, varför det ska tas fram och vilka krav som finns på resultatet. Det andra steget är att definiera vad som generar utsläpp och vilka utsläpp det är. Det tredje steget är att definiera vilket utsläpp som leder till vad. Det kan vara att transport av material till byggarbetsplats leder till potentiell klimatpåverkan. Slutligen ska resultatet tolkas och sammanställas med det första steget (Boverket 2019f).

Vid utförandet av en LCA kan olika kategorier gällande potentiell miljöpåverkan analyseras. För byggnader inom Europa är det främst sju olika kategorier inom LCA-standard, se figur 3.9 (Boverket, 2019g). Kategorierna är följande:

- Potentiell klimatpåverkan
- Försurningspotential
- Övergödningspotential
- Utarmning av icke fossila resurser
- Utarmning av fossila resurser
- Ozonnedbrytningspotential
- Potential för bildande av marknära ozon



Figur 3-9: Miljöpåverkans kategorier inom LCA (Infab/Tictac/Boverket 2019b). Licens [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

3.4.3 Metodval

När en LCA ska utföras är det viktigt att metodval är anpassat och beskrivit utefter vad som ska göras. Metodval kan vara exempelvis funktionell enhet och systemgränser.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

För att underlätta jämförelser mellan byggnader är det viktigt att den funktionella enheten definieras. Funktionell enhet innebär inom LCA att byggnader med en viss typ av funktion undersöks. Funktionen är det byggnaden ska leverera och det kan vara att byggnaden ska uppfylla krav i Boverkets byggregler, exempelvis krav gällande energi eller tillgänglighet. Potentiell miljöpåverkan beskrivs med nyckeltal där en byggnads bedömda miljöpåverkan delas upp per kvadratmeter (Boverket, 2019c). Kvadratmeter kan motsvara både en byggnads bruttoarea och den uppvärmda arean, A_{temp} .

Vid en livscykelanalys är det även viktigt att ha tydliga systemgränser gällande vilka delar av livscykeln som undersöks, på vilken plats och under vilken tidsperiod. Avgränsningar i livscykeln kan vara de olika skedena och modulerna. Geografiska avgränsningar kan vara att byggnaden finns i Sverige och att svenska förutsättningar gäller för exempelvis elproduktion. Tidsmässiga avgränsningar är under vilken period som beräkningen görs och det vanliga när det gäller byggnader är att ha en analysperiod på 50–60 år (Boverket, 2019c).

3.4.4 Generisk och specifik data

När en livscykelanalys görs kan generisk respektive specifik data användas. Generisk data används i en livscykelanalys när det finns osäkerheter kring vilket material eller produkt som ska användas. Generisk data är därför ett slags jämförbart värde för byggprodukter av en viss typ. Specifik data är, som det låter på namnet, data för en specifik produkt. Specifik data kan tas från exempelvis miljövarudeklarationer för byggprodukter (Boverket, 2019d).

3.4.4.1 Boverkets klimatdatabas

Boverkets klimatdatabas är en databas som Boverket erbjuder för att ta fram generisk klimatdata till klimatdeklarationer. Klimatdatabasen ska användas för att beräkna en byggnads potentiella klimatpåverkan under byggskedet. Om generisk klimatdata i klimatdeklarationen används är det ett krav att den ska vara från Boverkets klimatdatabas (Boverket, 2023d).

Den data som finns på Boverkets klimatdatabas är som tidigare nämnts generisk och framtagen utefter flera olika byggprodukters data inom kategorin. Här är värdena utefter svenska förhållanden. I Boverkets klimatdatabas redovisas det både potentiell klimatpåverkan typiskt och konservativt värde för A1-A3. För konservativa värden har genomsnittsvärdet ökat med 25 procent för att undvika att generisk data ska användas för att kunna minska vissa produkters potentiella klimatpåverkan. Det är även 25 procent högre för att uppmuntra tillverkare av byggprodukter att ta fram produktspecifik klimatdata i form av exempelvis en EPD. Underlaget för byggprodukter är från IVL Svenska Miljöinstitutet som har tagit fram ett medelvärde från miljövarudeklarationer. För A5, byggspill, är det konservativa värdet framtaget med hjälp av faktorn för byggspill som är beroende av vilken produkt som använts (Boverket, 2023d).

När det gäller klimatdata för energi och bränslen är svensk elmix klimatdata även den baserad på IVL Svenska Miljöinstitutets underlag. Här har beräkningar av klimatdata

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

följt EN 15804 och Energimyndighetens redovisning av elproduktions potentiell miljöpåverkan. För svensk elmix är det framtaget med hänsyn till import och export av el (Boverket, 2023d).

Data från klimatdatabasen gäller för modulerna A1-A3 produktskedet, A4 transport, A5 byggspill samt energi och bränsle med typiskt värde (Boverket, 2023d).

3.4.4.2 EPD

Miljövarudeklarationer kallas ofta för EPD:er som på engelska står för Environmental Product Declaration. En miljövarudeklaration motsvarar en livscykelanalys för en byggprodukt, men även energikällor från leverantörer, och den ska granskas av en tredje part. För att kunna göra jämförelser mellan resultatet för EPD:er av olika tillverkare krävs det att de produktspecifika reglerna är samma. Produktspecifika regler, PCR, är kriterier som tillverkare har utgått ifrån vid framställningen av EPD:er. Det kan exempelvis vara avgränsningar, metod eller data som använts. Utan PCR hade EPD:er inte kunnat jämföras mot varandra. EPD:er är den högsta nivån för företag att redovisa produkters potentiella miljöpåverkan enligt ISO 14020 (Boverket, 2019b).

Inom redovisning av produkters potentiella miljöpåverkan finns det tre olika nivåer i ISO 14020. Typ I är en miljömärkning och det innebär att ett antal kriterier bedöms av en oberoende kontrollant. Typ II innebär att en deklARATION av den potentiella miljöpåverkan för en produkt görs av tillverkaren. Typ III är en EPD och där ställs krav på transparens samt verifierbarhet. Som tidigare nämnts ska en EPD vara tredjeparts granskad, innehålla en LCA för produkten och följa PCR (Boverket, 2019b).

För att ta fram en EPD används bland annat EN 15804, som är en europeisk standard och det finns två versioner av den. I den första, EN 15894:2012+A1:2013, redovisas potentiell klimatpåverkan med hjälp av indikatorn ”GWP: klimatpåverkan växthusgaser”. I den andra, EN 15804:2012+A2:2019, har den potentiella klimatpåverkan delats upp i GWP-total: klimatpåverkan total, GWP-fossil: klimatpåverkan fossil, GWP-biogenic: klimatpåverkan biogen samt GWP-luluc: klimatpåverkan markanvändning där GWP-total är summan av de tre andra indikatorerna (Boverket, 2019b).

3.4.5 Verktyg inom LCA

Inom byggbranschen finns det idag flera olika verktyg att använda sig av för att göra en livscykelanalys. Verktygen som finns för LCA kan vara enkla, där inga förkunskaper krävs, till mycket avancerade, där förkunskaper krävs. Val av verktyg bör därefter väljas utefter vad syftet med att göra en livscykelanalys är, krav gällande detaljeringar samt förkunskaper och erfarenheter inom LCA (Boverket, 2022b).

Inom bygg- och fastighetssektorn i Sverige finns det ett flertal olika LCA-verktyg med olika nivåer av krav gällande förkunskaper. Ett dataverktyg för LCA beräkning av byggnader är programmet OneClick LCA. Ett annat verktyg för att beräkna en byggnads

potentiella klimatpåverkan är Byggsektorn Miljöberäkningsverktyg, BM, som IVL Svenska Miljöinstitutet har utvecklat. Verktöget är baserat på livscykelanalysmetodiken enligt EN 15804 och EN 15978 och kan användas för klimatberäkningar men även klimatdeklarationer (IVL Svenska Miljöinstitutet u.å.).

3.4.6 Redovisning av LCA

Vid redovisning av LCA är det av stor vikt kring transparens gällande val av metod och systemgränser. Det innebär att tydliga redovisningar om hur det beräknade värdet har tagits fram och vilka antaganden som har gjorts. Enligt BBR bör en redovisning vid en LCA-beräkning ha med vilka skeden och moduler som antagits, exempelvis byggskedet och byggproduktionskedet. Redovisning av vilka byggnadsdelar som tagits hänsyn till i beräkningar bör också finnas i exempelvis tabeller. Det bör även redovisas hur mycket av resurssammanställningen som ingår. Det innebär att förtydligande kring dataluckor ska finnas med. Slutligen bör all miljödata och övriga uppgifter av värde som antagits samt använts tydliggöras. Det innebär exempelvis att förtydliga när och vilken produktspecifik data som använts (Boverket, 2019e).

3.4.7 Driftenergi

Driftenergi är den energi som krävs för att byggnadsintegrerade tekniska system ska kunna fungera under en byggnads drift. Det innebär den energi som krävs för byggnaden gällande exempelvis uppvärmning, tappvarmvatten, ventilation, luftkonditionering, belysning, etcetera. Klimatutsläpp från driftenergi beräknas genom att byggnadens energianvändning multipliceras med energibärarens emissionsfaktor gällande växthusgaser (Boverket, 2020d, s. 133).

Modul B6 driftenergi i användningsskedet är i nuläget inte en del av det som klimatdeklarerar för nybyggnationer. Idag är klimatdeklarationen avgränsad till modulerna A1-A5 som redovisas i kg CO₂e/m² BTA. Det motsvarar byggskedet för byggnaden. Det finns ett förslag att klimatdeklarationen ska utökas i januari 2027. Förslaget är att utöka till fler moduler av byggnadens livscykel i både användningsskedet och slutskedet. Det innebär att det förutom A1-A5 också kommer tillkomma B2 underhåll, B4 utbyte, B6 driftenergi och C1-C4 som är slutskedet (Boverket, 2023f).

Enligt Boverket är en byggnads största utsläpp av växthusgaser ur livscykelperspektiv under A1-A3, produktsskedet, samt under B6, modulen driftenergi. En viss reglering av driftenergi utsläpp av växthusgaser sker dock med hjälp av BBR:s krav gällande energi (Boverket, 2023g).

3.5 Energikällor LCA

Storleken på utsläpp av växthusgaser gällande energi beror på energibehovet men även energikällans utsläpp. Enligt den internationella klimatpanelens (IPCC) syntesrapport

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

(AR5) redovisas ett antal energikällors sammanställda livscykelutsläpp angett som emissionsfaktor i tabell 3.5 (Energimyndigheten, 2023c).

Tabell 3.5: Respektives energikällas emissionsfaktor med hänsyn till hela livscykeln.

Energikälla	Emissionsfaktor [g CO ₂ e/kWh]
Vattenkraft	4
Vindkraft	11
Kärnkraft	12
Solkraft	41
Naturgas	290–930
Olja	510–1170
Kol	740–1689

3.5.1 Svensk Elmix

Enligt Boverkets Klimatdatabas har Elektricitet, svensk elmix, ett utsläpp på 0,037 kg CO₂e/kWh. Värdet är framtaget med hänsyn för både import och export av svensk el (Boverkets klimatdatabas, 2024a).

3.5.2 Vindkraft

Vindkraft bygger på principen att el produceras vid omvandling av rörelseenergi från vind. Utsläpp av växthusgas bildas främst vid framställning av råmaterial, tillverkning av vindkraftverket, installation av vindkraftverket, underhåll, reparationer, nedmontering samt materialåtervinning. Utsläppen av växthusgaser vid elproduktion är idag minimala. Enligt en livscykelanalys, från 2019 som Vattenfall har gjort, är utsläppen för Vattenfalls vindkraft på ett genomsnitt runt 13 g CO₂e/kWh (Energimyndigheten 2021b, s.13–14). I IPCC:s rapport, se tabell 3:5, är emissionsfaktorn för vindkraftsproducerad el 11 g CO₂e/kWh.

3.5.3 Kärnkraft

När det gäller produktionen av el från kärnkraft är det, liksom för vindkraft, el där det finns minimala utsläpp av växthusgaser under själva produktionen. Bränslet för kärnkraft är uran och det är tillskillnad från vind inte en förnybar källa. Kärnkraftselens utsläpp av växthusgaser sker främst när kärnkraftverket byggs samt brytning och förädling av uran (Energimyndigheten 2021b, s.15).

3.5.4 Vedeldad braskamin

Ved är idag ett så kallat förnybart bränsle. Vid eldning av ved är utsläppet biogen koldioxid och det är även en stor källa för spridning av sot. Spridningen av sot skyndar på ismältning och kan orsaka klimatstörningar i världen. Utsläppen vid eldning leder även till luftföroreningar som är negativa för människans hälsa. Det är därför viktigt att elda på rätt sätt för att minimera utsläpp (Naturvårdsverket 2023a).

När biologiska material, såsom trä, bryts ned, konsumeras eller förbränns uppstår biogena koldioxidutsläpp. Biogen koldioxid är en annan typ av utsläpp jämfört med fossila utsläpp av koldioxid. Fossila bränslen tar miljontals år att bildas medan biobränslen som kommer från biomassa bildas konstant. Hållbart producerade biobränslen anses därför vara koldioxidneutrala eftersom den koldioxid som uppkommer vid förbränning kommer bindas upp till en ny biomassa. Biogena utsläpp anses därför inte bidra till växthuseffekten (Naturvårdsverket, u.å).

När det gäller potentiell klimatpåverkan för byggnader och produkter definieras det som dess utsläpp samt eventuellt upptag av växthusgaser. Upptag av växthusgaser gäller biogen lagring av kol och det förekommer i biogena material, såsom träbaserade byggmaterial. Vid beräkning av den potentiella klimatpåverkan gällande klimatdeklarationer tas upptag av växthusgaser inte med i enlighet med Boverkets föreskrifter. För den potentiella klimatpåverkan ska den totala effekten av utsläpp av växthusgaser inkluderas men upptag och utsläpp gällande biogen koldioxid ska exkluderas (Boverket, 2023c).

Utsläppen för braskaminer beror främst på verkningsgraden som kaminen har och storleken på den. Verkningsgraden påverkar utsläppen eftersom det beskriver hur mycket ved som krävs för att få upp värmen. Idag har moderna braskaminer en verkningsgrad från 63 procent till uppåt 80 procent. Under 1980-talet och 1990-talet var verkningsgraden exempelvis runt 59 respektive 66 procent. Det gjorde att storleken på kaminerna under de åren var större än de är idag för att ge upphov till samma effekt. Utsläppen för vedeldade braskaminer minskar även vid eldning om torr ved används, gärna ved med 15–20 procents fukthalt. Utsläppen kan även minska om påfyllning av ved sker först efter att elden har tagit sig och att brasan har tillgång till luft (Energimyndigheten, 2016).

Enligt tabell 6:7412, rumsvärmare, från Boverkets byggregler (2011:6) är den lägsta tillåtna verkningsgraden för installation, för nybyggnation, 65 procent för braskamin jämfört med 79 procent för pelletseldade kaminer. Det gäller vid nominell effekt.

3.5.5 Solceller

Solceller är, liksom vindkraft, en förnybar energikälla eftersom solens energi utnyttjas för att producera el. Utsläppen för solceller sker främst under tillverkningen av solceller. Storleken på utsläppen beror bland annat på var produktionen av solcellerna sker. Solceller som produceras i exempel Kina eller Polen kommer därför ge ett större utsläpp eftersom el produceras med fossila bränslen, ofta kol, i stor utsträckning. Om solceller produceras i exempelvis Sverige med svensk elmix kommer därför utsläppet för solcellerna bli mindre (Energimyndigheten, 2021b, s. 15–16).

Ett antal olika typer av solcellers potentiella klimatpåverkan för modulerna A1-A3, A4 och A5 presenteras i tabell 3.6. Solcellernas potentiella klimatpåverkan har hämtats från

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Boverkets klimatdatabas och därav har ett konservativt värde tagits fram för modul A1-A3 (Boverkets klimatdatabas, 2024b).

Tabell 3.6: Potentiell klimatpåverkan för olika solceller från Boverkets klimatdatabas

Solcells typ	A1-A3 [kg CO₂e/m³]	A4 [kg CO₂e/m³]	A5 [kg CO₂e/m³]	Teknisk livslängd [år]
Solcell CdTe	37,5	1,4	0	30
Solcells, Cl(G)S	65	1,4	0	30
Solcell, mono-Si	119,0	2,69	0	30
Solcell, multi-Si	86,3	2,69	0	30
Solcell, OPV	18,8	1,4	0	20

4 Metod för beräkning av årlig energianvändning

I det här kapitlet beskrivs val av typhus, typhusens utformning gällande areor och volym, konstruktion och installationssystem. Det redovisas även indata till VIP-Energy och beskrivningar av varje scenario.

4.1 Typhuset

4.1.1 Val av typhuset

Vid valet av typhus diskuterades ett flertal olika typer av typhus. De olika alternativen har jämförts med varandra utefter aktualitet och relevans i samhället idag och framtiden. Valet blev ett träregelhus med mineralull där det i första hand var mängden isolering som varierar mellan typhusen. Den främsta anledningen varför alternativet har valts var att en stor andel av Sveriges småhusbestånd i nuläget har en träregelstomme. Här studerades två olika typhuskonstruktioner som har varit underlag för undersökningen. Typhuskonstruktionerna som valdes skulle minst uppfylla BBR:s respektive passivhus kraven gällande energi. För typhuset enligt BBR innebar det att primärenergitalet ska vara godkänt. För typhuset enligt passivhus innebar det att FEBY18 Guld ska uppnås gällande specifik årsenergianvändning och värmeförlusttal.

4.1.2 Presentation av typhus

Typhusen i studien var av två olika typer. Typhusen presenteras nedan:

- I. Typhus enligt BBR:s energikrav
- II. Typhus enligt passivhus energikrav

Typhusen har samma areor för grund, tak, väggar, fönster och dörrar men mängden isolering har främst ändras utefter att energikraven för respektive typhus ska uppfyllas. Typhuset har en bruttoarea på 166,3 kvadratmeter och det var fördelat på två våningsplan. Rumshöjden var minst 2,4 m på respektive våningsplan. Taket antogs ha en kallvind.

Uppvärmningssystemet var samma oberoende typhus jämfört med ventilationssystemet som valdes utefter vilket energikrav som fanns. Valet av uppvärmnings- och ventilationssystem redovisas under rubrik 4.4.

Teorin som sammanställts gällande energieffektivt byggande har varit väsentlig för utformningen av respektive typhus gällande konstruktion men även uppvärmnings- och installationssystem.

4.1.3 Beräkning av areor och volym

Arean för respektive byggnadsdel redovisas nedan. Areorna har tagits fram utefter totalt innermått eftersom tjockleken på respektive byggnadsdel varierar utefter vilket typhus och därav energikrav som ska uppfyllas. Det innebar att vid VIP-simulering och

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

handberäkningar inkluderades exempelvis tjockleken för mellanbjälklag och innerväggar.

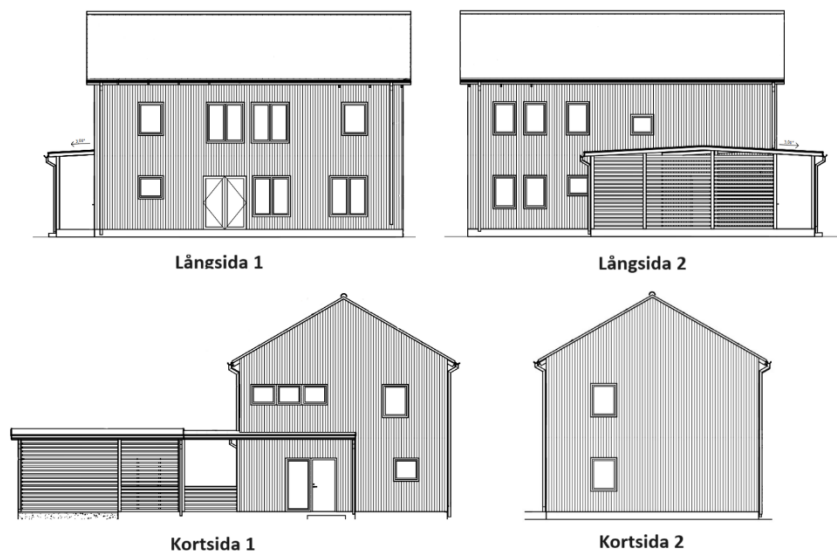
Typhuset har vid simuleringar av olika scenarier placerats åt olika väderstreck. Det har gjorts att respektive sida i beräkning av arealerna har benämnts som långsida 1 respektive 2 och kortsida 1 respektive 2. För att underlätta att få en bild av typhuset har figurer till respektive fasad tagits fram. Se figur 4.1 för fasader. Fönster och dörrars areor har tagits fram utefter plan- och förteckningsritningar. I tabell 4.1 redovisas areaberäkningen för de olika delarna i typhuset.

Tabell 4.1: Areaberäkning för delar i typhus

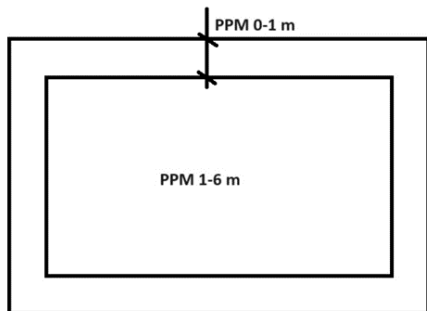
Byggnadsdel		
Långsida 1	Väggarea:	48,4 m ²
	Fönster:	13,2 m ²
	Dörrar:	4,1 m ²
Långsida 2	Väggarea:	56,6 m ²
	Fönster:	7,4 m ²
	Dörrar:	1,7 m ²
Kortsida 1	Väggarea:	33,6 m ²
	Fönster:	6,8 m ²
	Dörrar:	2,1 m ²
Kortsida 2	Väggarea:	40 m ²
	Fönster:	2,6 m ²
	Dörrar:	0 m ²
Grund	PPM 0–1 m, area:	33,4 m ²
	PPM 1–6 m, area:	49,9 m ²
Tak	Mot uteluft:	83 m ²
	Sadeltak långsida:	67 m ²
	Sadeltak långsida:	67 m ²

PPM står för platta på mark. Se uppdelning av platta på mark i figur 4.2.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning



Figur 4-1: Typhusets fasader



Figur 4-2: Uppdelning av platta

4.2 Typhus I

Enligt teorin var BBR:s krav på primärenergital 90 kWh/m^2 , år för ett småhus med en A_{temp} som var större än 130 m^2 .

4.2.1 Konstruktion

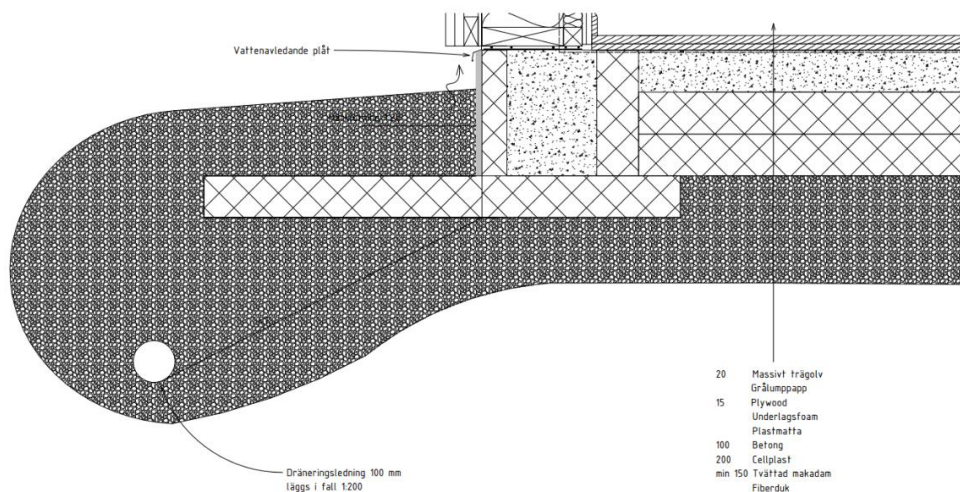
I tabell 4.2 redovisas en sammanställning av U-värden för typhus I konstruktionsdelar och indata för fönster samt dörrar.

Tabell 4.2: Indata och U-värde för typhus I konstruktionsdelar

Konstruktionsdel:		
Grund	U-värde:	0,173 W/m ² K
Tak	U-värde:	0,259 W/m ² K
Vägg	U-värde:	0,154 W/m ² K
Fönster	Glasandel:	60 %
	G-värde:	51,12 %
	ST-värde:	47,57 %
	U-värde:	1,2 W/m ² K
Dörrar	Glasandel:	0 %
	G-värde:	0 %
	ST-värde:	0%
	U-värde:	1,2 W/m ² K

4.2.1.1 Grund

Typhusets grundkonstruktion är platta på mark med en underliggande värmeisolering. Konstruktionen består uppifrån och ner av 100 mm betong med armeringsnät, 200 mm cellplast, 150 mm makadam och en fiberduk. Grundkonstruktionen redovisas nedan, se figur. Enligt VIP-Energy har grundkonstruktionen ett U-värde på 0,173 W/m²K. Se figur 4.3.

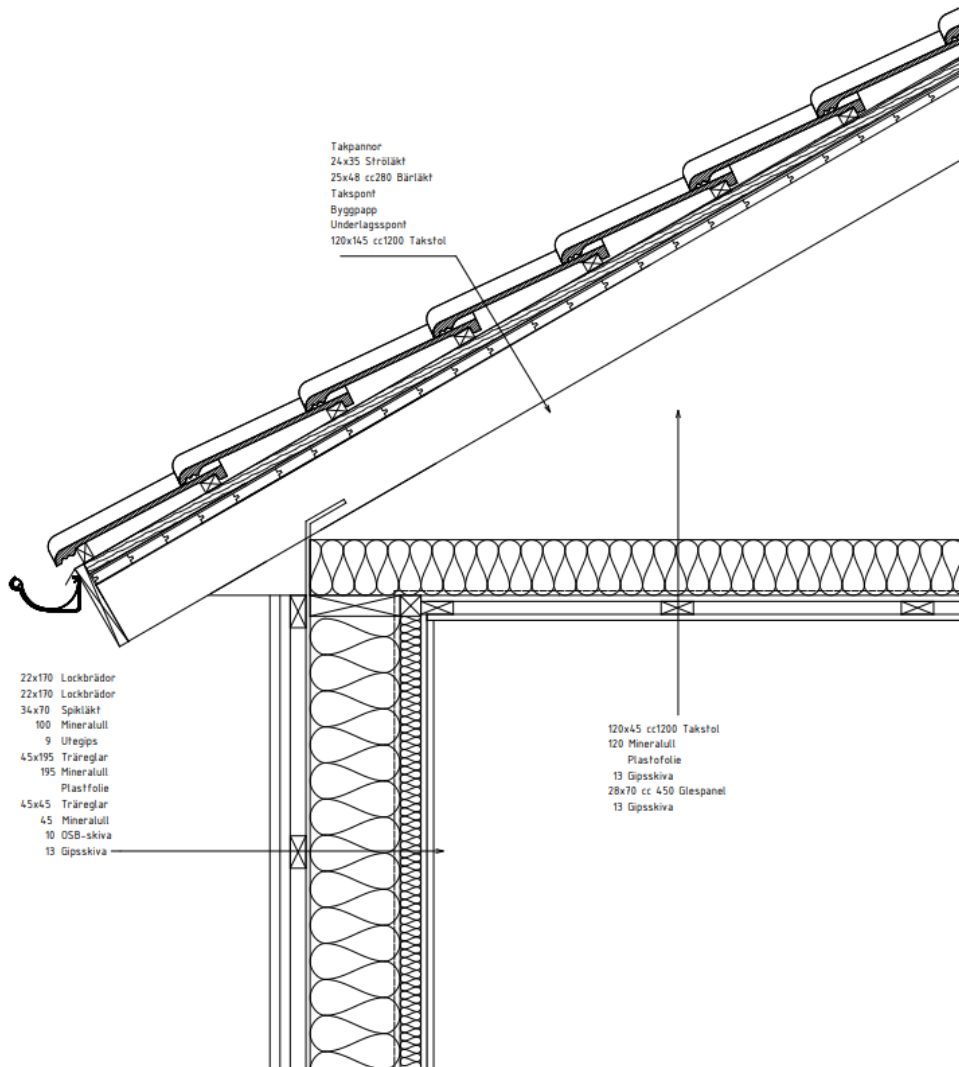


Figur 4-3: Typhus I Grund

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

4.2.1.2 Tak

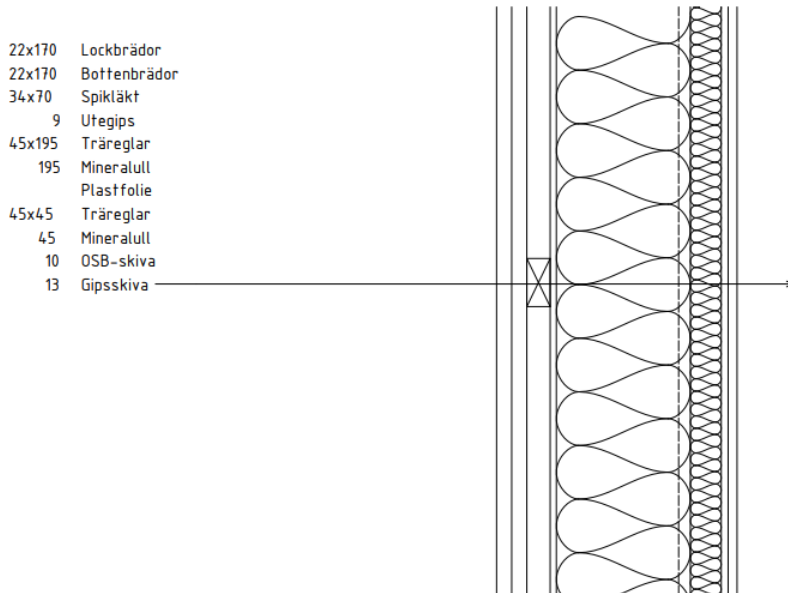
Taket var ett kallt tak med ventilerad vind och har en lutning på 30 grader. Takkonstruktionen, närmare sagt vindsbjälklaget, för typhus enligt BBR består inifrån och ut av en 13 mm gipsskiva, en 28 x 70 mm glespanel, 13 mm gipsskiva, en plastfolie, 45 x 120 mm träbjälkar med c/c 1200 och mellanliggande mineralull 120 mm. Enligt VIP-Energy har takkonstruktionen ett U-värde på 0,259 W/m²K. Se figur 4.4.



Figur 4-4: Typhus I Tak

4.2.1.3 Vägg

Ytterväggskonstruktionen för typhuset består översiktligt utifrån och in av en fasadpanel, en luftspalt, en vindskena, en stomme, en ångbroms, ett installationsskikt, en OSB-skiva och en inre gipsskiva. Stommen valdes till 195 mm regler med ett cc-avstånd på 600 mm och med 195 mm mellanliggande isolering. Installationsskiktet består av horisontella 45 regler med ett cc-avstånd på 450 mm och en isolering på 45 mm. Ytterväggens konstruktion redovisas nedan, se figur 4.5. Enligt VIP-Energy har väggkonstruktionen ett U-värde på 0,154 W/m²K.



Figur 4-5: Typhus I Vägg

4.2.1.4 Fönster och dörrar

För typhus I, ett typhus enligt BBR:s krav, har fönstrets U-värde valts till 1,2 W/m²K. Valet att U-värdet blev 1,2 W/m²K beror på att det var ett eftersträvat värde i Boverket Byggregler, BBR29, för fönster. Nordiska Fönsters fönster *öppningsbart 2-luft PVC fönster 2-glas-IGLO 5 Classic*, som har ett U-värde 1,2 W/m²K, har därför valts. G-värdet och ST-värdet uppskattas vara 72 respektive 67 procent. Värdena har tagits med hjälp av Pilkington Spectrum (Pilkington Group Ltd, 2017).

VIP-Energy tar inte hänsyn till solavskärmning vilket gör att g- och ST-värdet har multiplicerats med 0,71. Det görs enligt BEN 2 tabell 2:1 och det är en avskärmningsfaktor som representerar exempelvis markiser, persienner och gardiner (Boverket, 2017). Det nya g-värdet och ST-värdet framtaget med avskärmningsfaktorn blev 51,12 respektive 47,57 procent som skrivs in i VIP. Andelen glas på fönster har uppskattats vara 60 procent.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

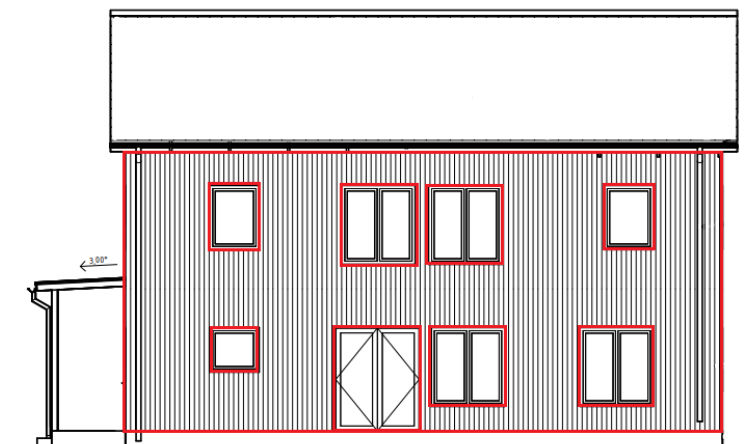
U-värde för dörrar har valts till 1,2 W/m²K. Det har också valts utefter att det var ett eftersträvat värde i BBR 29. Ljustransmissionen och värmetransmissionen var båda noll.

4.2.1.5 Köldbryggor

I VIP programmet har hänsyn tagits till köldbryggor genom att lägga in linjära köldbryggor genom tvådimensionella byggnadsdelar. De tvådimensionella byggdelarna har byggts upp med hjälp av programmet. Köldbryggor som tagits med i beaktning och beräkning var utvändiga hörn, kantbalk och fönstersmyg. Ingen hänsyn till mötet mellan vägg och tak har tagits. Värmegenomgångskoefficienten för linjära köldbryggor och längd för respektive köldbrygga redovisas nedan i tabell 4.3. Köldbryggorna har tagits fram utefter konstruktion för respektive byggnadsdel för typhus I och II. Se figur 4.6 där köldbryggor markerats med rött. För utformning av köldbryggor i VIP-Energy se bilaga A.

Tabell 4.3: Köldbryggor typhus I enligt VIP

Köldbrygga	Ψ [W/mK]	Längd[m]	$\Psi \cdot l$ [W/K]
Ytterhörn	0,0296	23,2	0,687
Kantbalk	0,0457	37,4	1,71
Fönstersmyg	0,0355	122,1	4,33
			$\Sigma 6,73$ W/K



Figur 4-6: Vanligt förekommande köldbryggor som finns för typhus I och II

4.3 Typhus II

Enligt FEBY18 Guld var kravet för passivhus att specifik årsenergi ska vara maximalt 26 kWh/m² år och att värmeförlusttalet ska vara mindre än 18,9 W/m².

4.3.1 Konstruktion

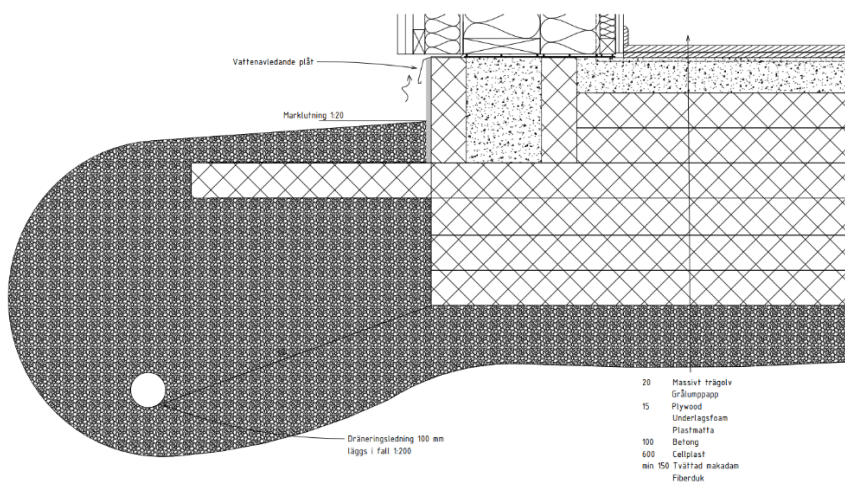
I tabell 4.4 redovisas en sammanställning av U-värden för typhus II konstruktionsdelar och indata för fönster samt dörrar.

Tabell 4.4: Indata och U-värde för typhus II konstruktionsdelar

Konstruktionsdel:		
Grund	U-värde:	0,059 W/m ² K
Tak	U-värde:	0,05 W/m ² K
Vägg	U-värde:	0,069 W/m ² K
Fönster	Glasandel:	60 %
	G-värde:	51,12 %
	ST-värde:	47,57 %
	U-värde:	0,8 W/m ² K
Dörrar	Glasandel:	0 %
	G-värde:	0 %
	ST-värde:	0%
	U-värde:	0,8 W/m ² K

4.3.1.1 Grund

Typhus II har antagits ha grundkonstruktionen platta på mark med underliggande värmeisolering. Konstruktionen består uppifrån och ner av 100 mm betong med armeringsnät, 600 mm cellplast, 150 mm makadam och en fiberduk. För att uppnå passivhusstandard har därför 400 mm cellplast adderats till BBR konstruktion för att minska förlusterna av värme. Grundkonstruktionen redovisas nedan, se figur 4.7. Enligt VIP-Energy har grundkonstruktionen ett U-värde på $0,059 \text{ W/m}^2\text{K}$.

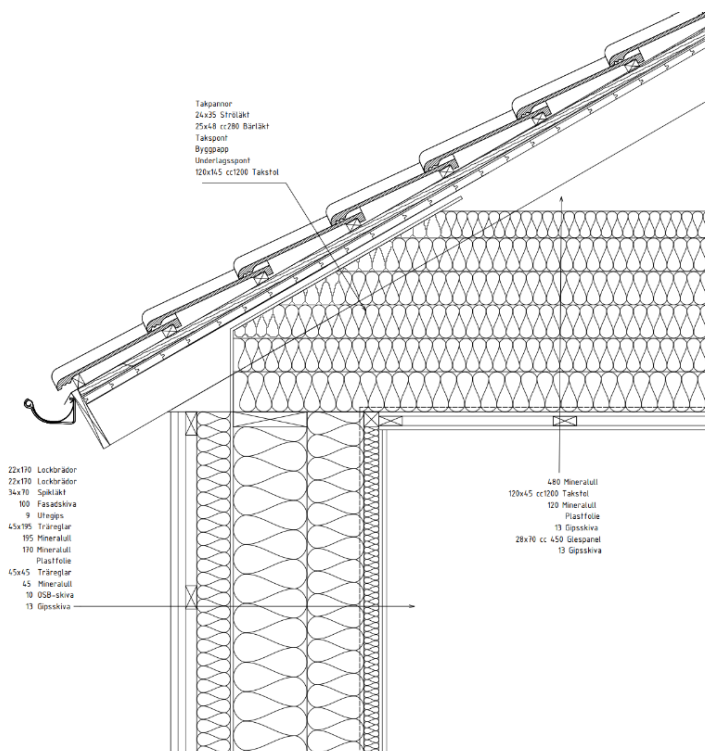


Figur 4-7: Typhus II Grund

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

4.3.1.2 Tak

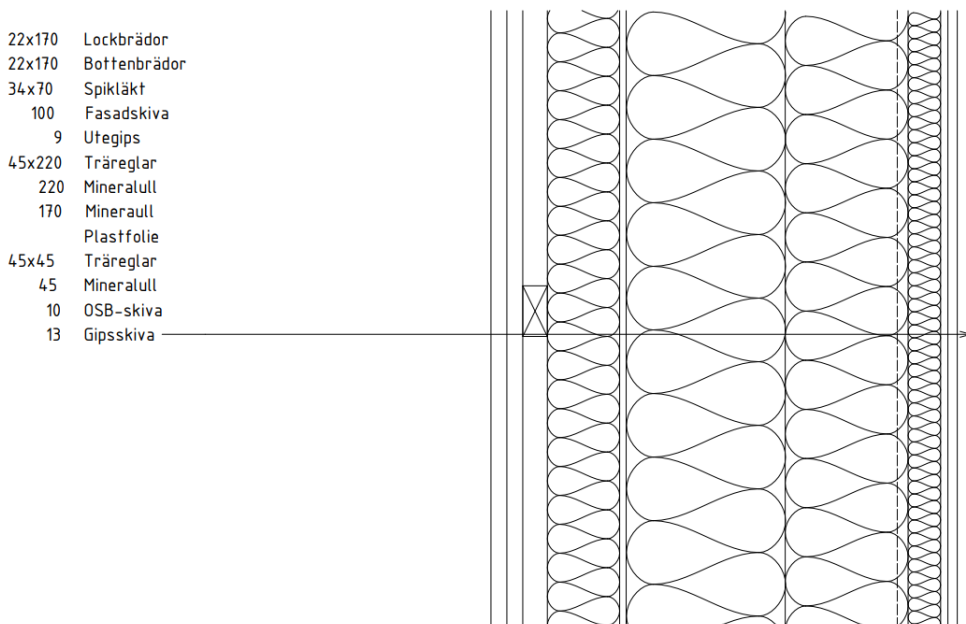
För huset enligt passivhusstandard var taket fortfarande ett kallt tak med ventilerad vind och taklutning på 30 grader. För att minska värmeförlusterna har konstruktionen fått ett ytterligare lager med 480 mm mineralull. Konstruktionen består av utifrån och in 600 mm mineralull, vindsbjälklag på 45 x 120 mm med c/c 1200 för träbjälkarna, en 28 x 70 glespanel och en gipsskiva på 13 mm. Se figur 4.8. Enligt VIP-Energy har takkonstruktionen ett U-värde på 0,05 W/m²K.



Figur 4-8: Typhus II Tak

4.3.1.3 Vägg

Ytterväggen för passivhuset har ett ytterligare skikt av 170 mm mineralull för att minska värmeförlusterna jämfört med BBR husets konstruktion. Ytterväggens konstruktion utifrån och in blev en fasadskiva, ett vindskydd, en stomme på 220 mm, ett skikt med mineralull, ett installationsskikt med tjockleken 45 mm, en OSB-skiva och en inre gipsskiva. Se figur 4.8 och 4.9. Enligt VIP-Energy har väggkonstruktionen ett U-värde på $0,069 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 4-9: Typhus II Vägg

4.3.1.4 Fönster och dörrar

För typhus II, ett hus enligt passivhusstandard, har U-värdet för fönstret valts $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Valet på U-värdet har valts då energieffektiva fönster enligt Energimyndigheten, som tidigare nämnts i teorin, har ett U-värde på $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller lägre. Anledningen varför ett fönster med lägre U-värde valdes för typhus II var att passivhusstandarden har betydligt högre krav på energieffektivt byggande. Det har även valts för att uppfylla FEBY18 Guld kravet gällande värmeförlusttal.

Fönster på småhuset har delats upp i två olika typer av fönster, fasta samt sidohängda fönster. Fönstret som valdes blev Morup Fönsters fönsterserie Morups premium. Morups premium var ett 3-glas fönster där två av fönsterna var energiglas. För fasta fönster innebar det ett U-värde på $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ för hela fönsterkonstruktionen (Morups, u.å-a). För sidohängda fönster innebar det ett U-värde på $0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ för hela fönsterkonstruktionen (Morups, u.å-b). Ljustransmissionen blev 68 procent och

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

värmetransmissionen 49 procent för båda fönstertyperna. Med hjälp av andelen area för respektive fönstertyp har ett medelvärde för U-värdet tagits fram som har använts i VIP-Energy. $U_{medel, fönster}$ motsvarar 0,8 W/m²K.

Area sidohängt fönster: 22,2 m²

Area fast fönster: 7,9 m²

$$U_{medel, fönster} = \frac{22,2 \cdot 0,83 + 7,9 \cdot 0,72}{22,2 + 7,9} = 0,801 \text{ W/m}^2\text{K}$$

G-värdet för fönstret har tagits fram med hjälp av appen Pilkington Spectrum. I appen har fönstret enligt tillverkaren Morups Fönster byggts upp utefter de förutsättningarna som fanns. G-värdet beräknades vara 72 procent. ST-värdet har även tagits fram och det blev 67 procent (Pilkington Group Ltd, 2017). G- och ST-värdet framtaget med hänsyn till solavskärmningsfaktorn enligt BEN 2 blev 51,12 respektive 47,57 procent (Boverket, 2017). Andelen glas uppskattas vara 60 procent.

U-värdet för dörrar har valts till 0,8 W/m²K och det har liksom för fönstret valts för att uppfylla FEBY18 Guld kravet på värmeförlusttalet. Dörr som antagits här var SY202 Klarglas av varumärket Br. Johansson (Bygghemma, u.å.). U-värdet för den dörrtypen var 0,8 W/m²K. För dörrar var värmetransmissionen och ljustransmissionen även noll.

4.3.1.5 Köldbryggor

Köldbryggor som tagits med i beaktning och beräkning blev som för typhus I utvändiga hörn, kantbalk och fönstersmyg. Värmegenomgångskoefficienten för linjära köldbryggor och längd för respektive köldbrygga redovisas nedan i tabell 4.5. Köldbryggorna har tagits fram utefter konstruktion för respektive byggnadsdel för typhus II. För utformning av köldbryggor i VIP-Energy se bilaga B.

Tabell 4.5: Köldbryggor för typhus II enligt VIP

Köldbrygga	Ψ [W/mK]	Längd[m]	$\Psi \cdot l$ [W/K]
Ytterhörn	0,0146	23,2	0,338
Kantbalk	0,1298	37,4	4,854
Fönstersmyg	0,0399	122	4,867
			$\Sigma 10,06$ W/K

4.4 Installationssystem

4.4.1 Uppvärmningssystem

Värmekällan i småhuset, oberoende typhus I eller II, antogs vara en typ av värmepump för att minska energibehovet för husen. En värmepump som en värmekälla kan minska elenergiebehovet kraftigt i jämförelse med en byggnad som använder sig av enbart elvärme. Värmepumpen som valdes blev av typen bergvärme. En bergvärmepump kan ge en besparing på upp till 75 procent och ge fyra gånger mer el än den förbrukar jämfört med en luft-vattenvärmepump som ger en besparing på cirka 50 procent enligt Energimyndighetens rapport "Välj rätt värmepump" från 2010 (s.10&13).

Enligt boken *Projektering av VVS-installationer* (s. 4:35-36) av Catarina Warfvinge och Mats Dahlblom var det vattenburna värmesystemet vanligast. Distributionssystemet för den värme som ska transporteras ut i byggnaden avgränsades till ett vattenburet system.

4.4.2 Ventilationssystem

Ventilationssystemet för bostäder har som uppgift att byta ut förorenad luft med ny frisk luft. Enligt Boverket ska det lägsta uteluftsflödet vara 0,35 l/s och m² uppvärmd golvyta. Om ingen är i bostaden är det tillåtet att uteluftsflödet i stället är 0,1 l/s och m² A_{temp} (uppvärmd golvyta) (Boverket, 2024).

För typhus I, småhuset enligt BBR, blev valt ventilationssystem ett mekaniskt frånluftssystem. Anledningen varför ett frånluftssystem valdes var för att kraven gällande uteluftsflödet skulle uppfyllas. Självdragsventilation valdes bort för BBR huset eftersom det främst var andra äldre småhus som använder sig av den typen av ventilation. Ett FTX-system valdes bort eftersom det ansågs vara för effektivt ur ett energibesparings perspektiv för ett hus som främst bara ska uppnå BBR:s krav. Lufttätheten kan vid frånluftsventilation vara 0,6 l/s, m² (Träguiden, 2017).

Ventilationssystemet FTX, d.v.s. ett till- och frånluftssystem med återvinning, har valts för passivhuset för att underlätta besparing av energi. Det valdes eftersom ett FTX-system, enligt teorin, minskar behovet av tillförd värmeenergi eftersom frånluftens värme används för att värma tilluften. Det lyfts även fram att vid utformning av passivhus bör husen byggas lufttäta och att det därav behövs en mekanisk ventilation. För byggnader med FTX-system ska lufttätheten ej överstiga 0,3 l/s, m² (FEBY, 2024).

4.5 Indata VIP

Sammanställning av indata till VIP-Energy för typhusen i nollfallet redovisas nedan i tabell 4.6. Beräkningar för varje parameter redovisas under nedanstående rubriker, 4.5.1–4.5.9.

Tabell 4.6: Indata för typhus I och II i nollfallet

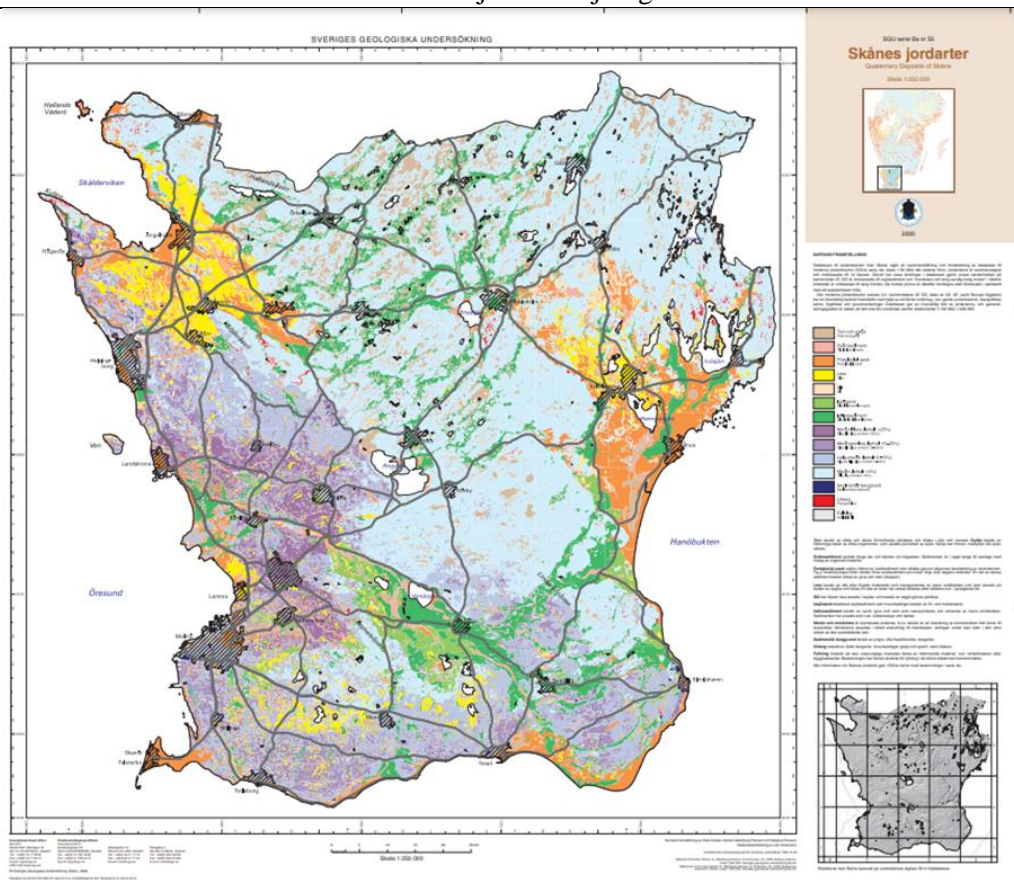
Indata VIP			
Orts beroende	F_{geo}	0,8	
	Jordart	Morän	
Driftfalkatalog	Hushållsenergi	2,4 W/m ²	
	Fastighetsenergi	0,57 W/m ²	
	Personvärme	0,98 W/m ²	
	Tappvarmvatten	2,28 W/m ²	
Ventilation	Mekaniskt F-system	Från- och tilluftsflöde	0,36 l/s m ²
		Värmeväxlare återvinningsgrad	0 %
	FTX system	Från- och tilluftsflöde	0,36 l/s m ²
		Värmeväxlare återvinningsgrad	85 %

4.5.1 Klimatdata

Vald plats och därav klimatort i programmet blev Malmö eftersom typhuset ska vara placerat i en ort i Skåne, mer specifikt Malmöregionen. För Malmö var den geografiska justeringsfaktorn, d.v.s. F_{geo} , 0,8 enligt tabell 9:2C i BBR 29. Klimatdata som används i programmet grundas från åren 1981 till 2010. Exponeringsgraden gällande vindhastighet har i programmet valts till 70 procent eftersom huset ska vara placerat i en någorlunda skyddad bebyggelse. Solreflektion från mark har antagits till 20 procent.

Jordart har antagits till morän eftersom den jordarten är vanligt förekommande i Skåne, särskilt vid Malmö. Vid bestämning av jordart har figur 4.10, nedan, använts eftersom den är framtagen av Sveriges Geologiska Undersökning, förkortat SGU. De olika nyanserna av blå och lila motsvarar i figuren olika typer av morän. Andra färger såsom gult och orange motsvarar lera respektive postglacial sand.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning



Figur 4-10: Skånes jordarter (SGU 2000)

4.5.2 Area och byggdelar

Areor för huset har tagits fram med hjälp av ritningar och beräkningar i Excel, de redovisas under rubriken areor. Därefter har respektive area lagts in och tilldelats en byggdelstyp samt orientering. Orientering för byggnadsdelar i programmet beror främst på vilket scenario som undersöks. Orientering för respektive scenario redovisas i tabell 4.7.

I programmet valdes en byggdelstyp, för exempelvis ytterväggen, där byggdelens olika skikt byggs upp. Det görs med hjälp av endimensionella byggdelar och programmet räknar därefter ut ett U-värde för byggdelen. För att U-värden ska vara rätt har de jämförts med handberäkningar.

Köldbryggor har som byggdelstypen byggts upp och simulerats. Köldbryggornas värmegenomgångskoefficient för respektive typhus redovisas under rubrik 4.2.1.5 och 4.3.1.5. Längden för köldbryggorna har handberäknats med hjälp av mått på ritningar.

4.5.3 Personvärme

Personvärme beräknades fram med hjälp av BEN 2. För beräkning av antal personer i bostaden har 3,51 antagits eftersom antalet rum och kök överstiger fem rum enligt tabell 2:3 i BEN2. Tiden när personer antas vara i bostad och därav bidra med personvärme är enligt tabell 2:1 i BEN2 14 timmar per dag, sju dagar i veckan och 52 veckor om året. Enligt tabell 2:1 motsvarar effektavgivningen 80 W/person (Boverket, 2017). För typhuset innebar det att personvärmen motsvarade 0,98 W/m² i VIP-Energy.

$$\begin{aligned} \text{Personvärme: } & 3,51 \cdot 80 \text{ W} = 280,8 \text{ W} \\ \text{Andel tid när personer antas vara i bostad: } & \frac{14 \text{ h}}{24 \text{ h}} = 0,583 \\ \text{Personvärme/m}^2: & \frac{280,8 \text{ W}}{166,6 \text{ m}^2} \cdot 0,583 = 1,69 \cdot 0,583 \text{ W/m}^2 = 0,98 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

4.5.4 Tappvarmvatten

Enligt tabell 2:1 i BEN2 är värmebehovet för tappvarmvatten 20 kWh/m²A_{temp} och år (Boverket, 2017). Antalet timmar per år är 8760. Tappvarmvattnets värmebehov motsvarade därför 2,28 W/m².

$$\text{Tappvarmvatten värmebehov: } \frac{20\,000 \text{ Wh/m}^2\text{år}}{8\,760 \text{ h}} = 2,28 \text{ W/m}^2$$

4.5.5 Hushållsenergi

I driftfalkatalogen, i VIP-Energy, motsvarar kategorin verksamhetsenergi småhusets hushållsenergi. Hushållsenergi eller hushållsel är den energi som används för exempelvis vitvaror, belysning eller andra hushållsapparater. BEN2 tabell 2:1 har använts för att få fram ett ungefärligt värde av hushållsenergin. En schablon för användning av hushållsenergi är 30 kWh/m² A_{temp}, år. Av schablonvärdet kan 70 procent tillgodogöras som internlast under uppvärmningssäsongen enligt tabell 2:1 (Boverket, 2017). Antalet timmar per år är 8760. Hushållsenergin motsvarade därför 2,4 W/m².

$$\text{Hushållsenergi: } \frac{30000 \text{ Wh/m}^2\text{år} \cdot 0,7}{8760 \text{ h}} = 2,4 \text{ W/m}^2$$

4.5.6 Fastighetsenergi

I driftfalkatalogen har fastighetsenergin beräknats genom ett antaget värde. Värdet som antogs för fläktarna var 5 kWh/m², år. Antalet timmar per år är 8760. Fastighetsenergin motsvarade därför 0,57 W/m².

$$\text{Fastighetsenergi: } \frac{5000 \text{ Wh/m}^2\text{år}}{8760 \text{ h}} = 0,57 \text{ W/m}^2$$

4.5.7 Temperatur

Rumstemperaturen i driftfallskatalogen har antagits till 27°C som högsta temperatur och 21°C som lägsta temperatur. 21°C har valts enligt tabell 2:1 i BEN 2 för bostäder som innetemperatur (Boverket, 2017). Det värdet har använts vid beräkning av byggnaders energianvändning för småhus.

4.5.8 Värmepumpförsörjning

Värmepumpförsörjningen i VIP har valts till en bergvärmepump. Vald bergvärmepump blev en Aquarea Panasonic-ADC3GE5 som har en värmefaktor på 5 och en avgiven värmeeffekt på 3200 W.

Distribution för nollfallet oberoende av typhus var uppvärmning av värmesystem och tappvarmvatten. Uppvärmning av värmesystem prioriterades före tappvarmvatten eftersom uppvärmning var det som studeras i studien.

4.5.9 Ventilation

Tilluftsflödet för typhuset var 60 l/s och värdet som sattes in i VIP-Energy blev 0,36 l/s, m². 0,36 l/s, m² blev det eftersom BTA för byggnaden var 166,6 m².

För typhus I blev ventilation ett mekaniskt F-system där tillufts- och frånluftsflöde var 0,36 l/s, m². För tillufts- och frånluftsfläkt blev fläktrycket 0 Pa respektive 200 Pa då hänsyn har tagits till att ingen återvinning sker. Verkningsgraden valdes till 60 procent för frånluftsfläkten och 0 procent till tilluftsfläkten. Fläktrycket och verkningsgrad har hämtats från VIP-Energys manual. För typhus I var värmeåtervinning noll.

För typhus II där FTX-system används har verkningsgrad antagits för värmeväxlare vara 85 procent. Den verkningsgraden har valts enligt boken Projektering av VVS-installationer (s. 2:54). Värme återvinns med hjälp av värmeväxlaren för att värma upp tilluften till byggnaden. Tillufts- och frånluftsflöde var samma som för typhus I. Tilluftsfläktens och frånluftsfläkten fläktryck har valts 600 Pa respektive 500 Pa enligt VIP-Energys manual när återvinning sker. Verkningsgraden för till- respektive frånluftsfläkten valdes till 60 procent (VIP Energy u.å., kapitel 4.6.5.2–4.6.5.3).

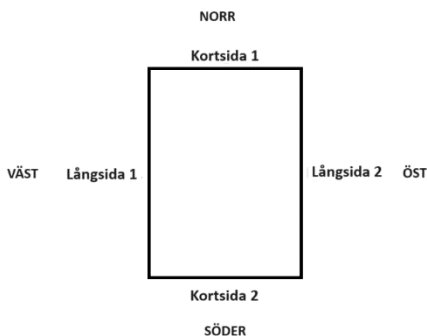
Dessutom har det i programmet antagits att luft kan cirkulera fritt mellan våningarna i småhuset eftersom huset räknas som enbart en zon.

4.6 Scenarier

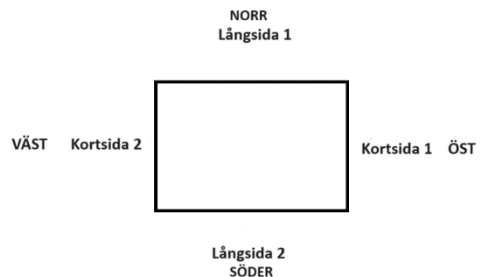
En sammanställning av scenariers typ av energikälla presenteras i tabell 4.7. I figur 4.11 och 4.12 presenteras orientering för de olika fasaderna. Dessa används både vid beräkning av årlig energianvändning och för beräkning av värsta veckan.

Tabell 4.7: Beskrivning av scenariers typ av energikälla

Scenario	Typ av energikälla
A	Huset värmdes upp av en värmepump med hjälp av inköpt el. Det var svensk elmix, vindkraft- och kärnkraftsproducerad el.
B	Solceller med batterier installerades och skötte uppvärmningen av huset under en vecka.
C	En vedeldad kamin skötte uppvärmning av huset under en vecka.
D	Solceller samt kamin installerades och kompletterade varandra för att klara uppvärmning av huset under en vecka. Kaminen för scenario D var ett komplement som erbjuder värme när solcellerna inte producerar el. Energin hämtades först och främst från solceller och i andrahand av kaminen.



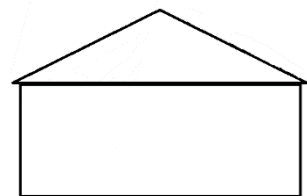
Figur 4-11: Redovisning av orientering för fasad för scenario A, C och D.



Figur 4-12: Redovisning av orientering för fasad för scenario B.

4.6.1 Scenario A

Scenario A innebar för respektive typhus att huset köper in el som med hjälp av en värmepump värmer upp huset. Scenario A motsvarade nollfallet, eller normalfallet, och det innebar att huset fortfarande var uppkopplat till elnätet. Se figur 4.13 som visar en principiell skiss. Vid bedömning av nollfallets potentiella klimatpåverkan genomfördes en känslighetsanalys av byggnadens använda energikälla för el. Byggnaden antogs antingen använda 100% vindkraft, 100%



Figur 4-13: Scenario A elnätsanslutet.

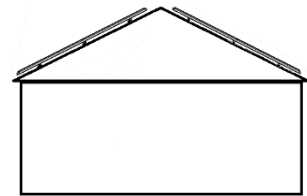
En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

kärnkraft eller svensk elmix i enlighet med Boverkets klimatdatabas. Scenario A blev det fallet som resterande scenarier jämfördes med under den vecka husen verkar off-grid. Jämförelsen gäller den potentiella klimatpåverkan i kg CO_{2e}.

I scenario A var tillgången till el från elnätet. Det innebar att den el som byggnaden kräver var för värmesystemet, tappvarmvatten, fläktar för ventilation, fastighetsel och hushållsel.

4.6.2 Scenario B

Scenario B innebar för respektive typhus att solceller sköter främst uppvärmningen under en vecka. Se figur 4.14 som visar en principiell skiss. Solcellerna placerades främst på taket men de som inte får plats har antagits placeras på tomten. För scenario B har solcellerna placerats i sydlig riktning för att optimera produktionen av solcellsel. Valet varför solceller har placerats åt söder var för att den optimerade produktionen av el ska lagras i ett batteri och därav användas under tider när produktionen av el blev mindre alternativt obefintlig. Orientering för scenario B blev att långsida 1 var åt norr, kortsida 1 åt öster, långsida 2 åt söder och kortsida 2 åt väster. Vid val av orientering har hänsyn även tagits till övertemperatur gällande placering av vilken långsida och därav fönsterarea som var placerad åt söder.



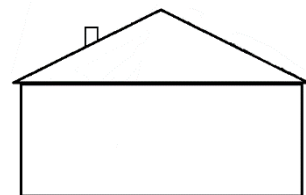
Figur 4-14: Scenario B solceller i kombination med batterier.

Batteriets förväntade laddningskapacitet tidsmässigt valdes till en vecka. Batterityp beror på vilken lagringskapacitet som krävs och det kan vara exempelvis ett hemsolbatteri eller ett elbilbatteri. Värmepumpen som fanns i huset har i det här scenariot fungerat med hjälp av den producerade solen. Användningen av värmepumpen effektiviserar uppvärmningen av huset.

I scenario B, men även övriga off-grid scenarier, har typhuset inte tillgång till tappvarmvatten eftersom vid längre strömavbrott kan tillgången till vatten försvinna. Det gör att vatten antogs hämtas vid ett centralt hämtställe och att det bortses i energisimuleringar för den värsta veckan. Den el som solcellerna producerar har använts till värmepumpen, ventilationsfläkt, fastighetsel och hushållsel.

4.6.3 Scenario C

Scenario C innebar att en vedeldad braskamin sköter uppvärmningen av huset dygnet runt under en vecka. Se figur 4.15 som visar en principiell skiss. I scenario C var tillgången till el obefintlig. Det gör att tillgången till tappvarmvatten inte fanns och att fläktarna för ventilationssystemet inte kan användas. Det har gjort att ventilation av typhuset har behövt ske genom vädring och att värmeåtervinning inte har kunnat användas. I det här



Figur 4-15: Scenario C braskamin

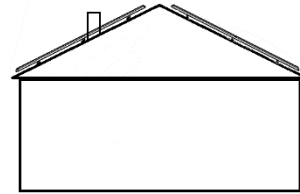
En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

scenariot fungerade inte värmepumpen eftersom el var otillgängligt. Det innebar att energibehovet blev större än för scenario A och B. Förutom braskaminen bidrar även solenergi och personvärme till uppvärmning.

Orientering för scenario C blev att långsida 1 placerades åt väster, kortsida 1 åt norr, långsida 2 åt öster och kortsida 2 åt söder.

4.6.4 Scenario D

Scenario D var en kombination av scenario B respektive C, d.v.s. ett hus med solceller samt braskamin som ska klara av uppvärmning för typhus I och II under en vecka. Se figur 4.16 som visar en principiell skiss. Kombinationen av scenarier ska ge en jämnare uppvärmning för typhuset och dess brukare. Här har huset solceller placerats riktade åt öst respektive väst. Solcellerna placerades åt öst respektive väst för att elproduktionen ska utnyttjas vid morgon och kväll enligt teorin. Under de tidsperioder när elproduktionen från solceller blev mindre eller obefintlig har uppvärmning av braskamin använts för att jämna ut temperaturskillnader.



Figur 4-16: Scenario D
solceller i kombination med
kamin

För att beräkna hur mycket eldning krävs av kaminen har först elproduktionen från solcellerna tagits fram. Därefter har solcellens tillförda energi tagits bort och det kvarvarande behovet av tillförd energi i kWh har motsvarat vedeldningsbehovet.

I scenario D har tillgången till elen kommit från solelproduktion och den har använts till värmepumpen, fastighetsel samt hushållsel. Uppvärmningen har skett via värmepumpen som drivs av solel och genom kaminuppvärmning.

Orientering för scenario D var liksom för scenario A och C att långsida 1 placerades åt väster, kortsida 1 åt norr, långsida 2 åt öster och kortsida 2 åt söder.

5 Metod för värsta veckan beräkningar

I det här kapitlet redovisas antaganden som gjorts för beräkningen av klimatpåverkan. Det första som presenteras var tillvägagångssättet för beräkning gällande uppvärmning under den värsta veckan för respektive scenario. Det andra som presenteras var det som låg till grund för beräkning av den potentiella klimatpåverkan för respektive scenario. Det var bland annat EPD:er, rapporter och egna antaganden.

5.1 Värsta veckan för respektive Scenario

Nedan visas tabell 5.1 där respektive parameter som ska uppfyllas för varje scenario presenteras. X i tabellen innebar att parametern ska uppfyllas i scenariot. Om en ruta i tabellen var grå innebar det att scenariot inte ska uppfylla parametern. Scenarierna i tabell 5.1 och kapitel 5.1.1–5.1.4 beskrevs tidigare i kapitel 4.6.

Tabell 5.1: Vilka parametrar som beaktas vid beräkning av självförsörjning under en vecka för respektive scenario.

Scenario	Hushållsel	Fastighetsel	Värmepump	Uppvärmning utan värmepump	Ventilation	Tappvarmvatten
A	X	X	X	X	X	X
B	X	X	X		X	
C				X	X	
D	X	X	X	X	X	

5.1.1 Scenario A

Scenario A:s värsta vecka togs fram med hjälp av resultatet av energiberäkningen i VIP. Eftersom Scenario A var nollfallet behövdes ingen ytterligare beräkning med hjälp av VIP göras utan här krävdes det bara att utgå från beräkningen i *Energiberäkning VIP* och ändra beräkningsperioden till vecka 6, d.v.s. dag 36 till 42.

5.1.2 Scenario B

För scenario B beräknades antalet solceller i m² och batterikapacitet i kWh fram med hjälp av VIP. Vid scenario B har simuleringar av solceller och solcellernas batterilagringkapacitet tagits fram med ett antagande att takets ena långsida, som placerades åt söder, har solceller. Fler kvm solceller krävdes än den andel kvm som kan placeras på taket och de antogs därför placeras på mark. Beräknat antal kvm solceller som kunde placeras på takets ena sida var 67 m².

För att få fram andelen solceller men även storleken på batteriet som ska lagra den producerade elen har en iterativ arbetsprocess använts. Här har ett utgångsvärde antagits och med hjälp av det har en beräkning gjorts. Beroende på om elförsörjningen har minskat eller ökat har en ny beräkning gjorts utifrån föregående värde. Det första antagandet var att batteriet hade en lagringkapacitet 2 kWh och att 67 m² solceller

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

användes. Därefter har antalet solceller men även batterilagringskapaciteten utökats efter hand.

Batterikapaciteten har tagits fram med hjälp av att dela batteriets lagringskapacitet genom antalet m² solceller.

Fördelningen i VIP för scenario B var att solex till värmepump och fläktar var prioriterat och att hushållsel samt fastighetsel var sekundära. I VIP-Energy redovisas solex till elförsörjning bestående av solex till värmepump respektive till frånluftsfläkt eller från- och tilluftsfläkt. Solex till hushållsel och fastighetsel redovisas separat.

Indata som användes för solceller och scenario B redovisas i tabell 5.2.

Tabell 5.2: Indata för scenario B i VIP-Energy

Ventilation	Tilluft	Flöde	0,36 l/s, m ²		
		Fläkttryck	Typhus I	0 Pa	
			Typhus II	600 Pa	
		Verkningsgrad	Typhus I	100 %	
	Typhus II		60 %		
	Frånluft	Flöde	0,36 l/s, m ²		
		Fläkttryck	Typhus I	200 Pa	
			Typhus II	500 Pa	
		Verkningsgrad	Typhus I	60 %	
	Typhus II		60 %		
Värmeväxling	Typhus I	0 %			
	Typhus II	85 %			
Hushållsenergi	2,4 W/m ²				
Fastighetsenergi	0,57 W/m ²				
Tappvarmvatten	0 W/m ²				
Solceller	Solcellstyp	Polykristallin			
	Orientering	Söder			
	Rotation	0			
	Lutning	30 grader			
	Batteri	Kapacitet	150 Wh/m ²		
		Verkningsgrad	90 %		
	Verkningsgrad utrustning	90%			

Parametern värmeförsörjning i tabell 6.4 och 6.5 var den energi som krävs extra för att uppvärmning ska ske korrekt. I VIP-Energy antogs den här parametern uppfyllas, och därav bli 0 kWh, genom inköpt fjärrvärme. Eftersom typhusen inte har tillgång till fjärrvärme tillkommer ett underskott. Hur stort underskottet blev redovisas under rubriken 6.2.3.3.

5.1.2.1 Beräkning av underskott

För scenario B fanns ett värmeunderskott för båda typhusen. Värmeunderskotten för scenario B berodde på att elförsörjningen och värmeförsörjningen inte var noll. Om elförsörjningen var mer än noll innebar det för scenario B att el saknas. När el saknas

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

gav det upphov till ett underskott för värme eftersom värmepumpen inte kan användas i den utsträckning som krävdes. Det andra underskottet värmeförsörjning tillkommer eftersom programmet VIP antar att parametern uppfylls genom inköpt fjärrvärme. Scenario B har inte tillgång till fjärrvärme och det gör att ett underskott tillkommer på grund av värmeförsörjningen. Storleken på värmeförsörjningsbehovet beror på byggnadens behov av värme och hur mycket värme som bergvärmepumpen gav upphov till. Underskottet som fanns gällande värme påverkar innetemperaturen i typhuset. Innetemperaturen behöver därför sjunka under lägsta temperaturen 21 grader. Nedan redovisas beräkningar av storleken på underskottet för respektive typhus.

5.1.3 Scenario C

För scenario C:s värsta vecka var elförsörjningen noll eftersom ingen el produceras av vedeldning. Eftersom ingen elförsörjning fanns blev energin för hushåll, fastighet och tappvarmvattnet noll i driftfallskatalogen i VIP-Energy. För båda typhusen togs bergvärmepumpen bort i VIP-Energy för att det verkliga värmebehovet under veckan skulle tas fram. Det verkliga värmebehovet var utan hänsyn till den effektivisering av energibehov som bergvärmepumpen medförde. Parametern värmeförsörjning i tabellerna 6.15 och 6.16 motsvarar den energimängd som behöver fås ut med vedeldning.

Fläktarna för ventilationen fungerade inte i det här fallet eftersom ingen tillgång till el fanns. Det gör att vädring skedde och att brukare därav behövde öppna fönster eller liknande för att få in luft. Antagen indata för scenario C oberoende typhus redovisas nedan i tabell 5.3.

Tabell 5.3: Indata för scenario C

Ventilation - Vädring	Tilluft	Flöde	0,1 l/s, m ²
		Fläkttryck	0 Pa
		Verkningsgrad	100 %
	Frånluft	Flöde	0,1 l/s, m ²
		Fläkttryck	0 Pa
		Verkningsgrad	100 %
Värmeväxling	0 %		
Hushållsenergi	0 W/m ²		
Fastighetsenergi	0 W/m ²		
Tappvarmvatten	0 W/m ²		

5.1.3.1 Kamin

Braskaminen som antogs i beräkningarna var Panadero Condor 8V EcoDesign med en nominell effekt på 8 kW enligt tillverkaren Panadero AB S.L (Panadero, u.å.). Enligt Rais (u.å.) värmer en modern braskamin upp cirka 10 m² per 1 kW, alltså ger 8 kW ungefär 80 m² uppvärmd yta vilket motsvarade väl mot den eftersökta värmeeffekten när en våning ska värmas upp. Eftersom båda våningarna i huset värms upp krävdes därför 2 kaminer. Material som ingår i braskaminen var stål samt keramiskt glas. Alla mått för braskaminen som ingick i beräkningarna anges i tabell 5.4 och 5.5.

Glas fanns i kaminens öppning samt i två sidofönster, se figur 5.1. Eftersom tjocklek för glasskivorna saknades från tillverkaren antogs i stället 5 mm för tjockleken, vilket brukar användas för glas till braskaminer enligt Glasteknik AKU AB:s glasegenskaper för keramiskt glas. Arean för glasskivorna togs fram eftersom den används i CO₂e beräkningar för glas.

Delen som består av stål i kaminen antogs vara en kub med en bredd, djup och höjd som togs från tillverkarens produktinformationsblad, se figur 5.1. Godstjockleken för stålkroppen antogs vara 5 mm enligt produktinformationsbladet. Volymen för ståldelen togs fram genom att beräkna volymen med yttermått och sedan subtrahera volym med innermått, det vill säga ta fram volym för själva stålkroppen, se ekvation 8. Volymen för stålröret som motsvarar rökkanalen med diametern 150 mm beräknades enligt liknande princip genom att subtrahera innervolymen från yttervolymen för att få fram själva ståldelen som sedan adderades till det övriga värdet för kaminkroppen, se figur 5.2.

Eftersom kaminkroppen som antogs vara en stålkub bestod även av glas beräknades också volymen för glassdelen enligt de mått som angavs i tillverkarens ritningar. Därefter togs glasvolymen bort från den beräknade kaminkroppens volym för att få kaminens verkliga stålvolum, se ekvation 9.

Tabell 5.4: Måtten som ingår i beräkning av stålkroppen

H [mm]	B [mm]	D [mm]	h ₁ [mm]	b ₁ [mm]	d ₁ [mm]	h ₂ [mm]	b ₂ [mm]	d ₂ [mm]
850	468	409	360	290	5	360	231	5

Tabell 5.5: Måtten som ingår i beräkning av stålröret

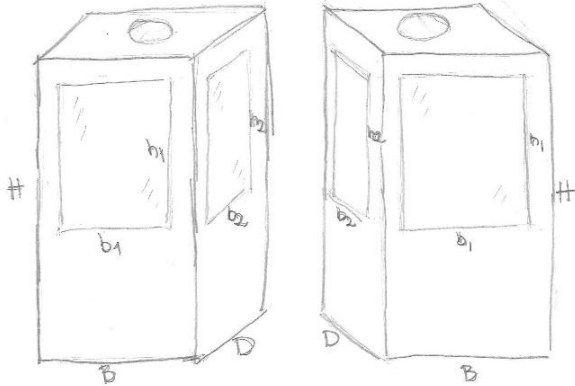
H [m]	R [mm]	R [mm]
6,5	75	70

$$V_{\text{stålkub}} = B \cdot D \cdot H - (B - 2 \cdot 0,05) \cdot (D - 2 \cdot 0,05) \cdot (H - 2 \cdot 0,05) \quad (8)$$

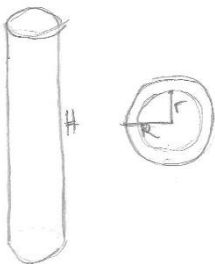
$$V_{\text{stålkub}} = 0,468 \cdot 0,409 \cdot 0,85 - 0,458 \cdot 0,394 \cdot 0,835 = 0,009197 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{stål}} = V_{\text{stålkub}} + V_{\text{stålrör}} - V_{\text{glas}} \quad (9)$$

$$V_{\text{stål}} = 0,009197 + 0,0148 - 0,000135 = 0,0239 \text{ m}^3$$



Figur 5-1: Ritning för beräkning av kaminkroppen



Figur 5-2: Ritning för beräkning av stålörret

5.1.3.2 Mängd ved som krävs

Vid beräkningen av mängden ved som krävdes antogs ett antal förutsättningar. Transporten av ved antogs vara en dieseldriven lastbil med timmer som transporterar ved till småhus. Lastbilen med timmer antogs leverera 60 m^3 travad ved. Det antagandet gjordes eftersom en timmerbil med tre travar kan ha med sig $55\text{--}60 \text{ m}^3$ enligt Föreningen och Tidningen Skogen. Vedeldning antogs ske med trädslaget björk som har en fukthalt på 20 procent.

Omvandlingstalet för omräkning av kubikmeter travad volym till fastkubikmeter är 0,65 (Föreningen och tidningen skogen, u.å.). Det gör att 60 m^3 ved i lastbilen motsvarar en volym på:

$$0,65 \cdot 60 = 39 \text{ m}^3\text{f}$$

Där m^3f står för fast kubikmeter enligt *Föreningen och tidningen Skogen*.

Enligt rapporten ”Brännved-energiinnehåll i några olika trädslag”, av Jan-Erik Liss, var värmevärdet för trädslaget björk 2820 kWh/m³f (s. iii). Det gäller vid en fukthalt på 20 procent.

5.1.4 Scenario D

För scenario D:s värsta vecka distribuerades värmeförsörjningen både genom värmepumpen och genom vedeldningen. När värmepumpen inte klarar av att sköta uppvärmningen på grund av otillräcklig solenergin under veckan antogs i stället vedeldning ske. För att få ut den mängd ved som behöver eldas har beräkningar med hänsyn till värden i VIP under den värsta veckan gjorts.

Ventilation antogs ske, liksom för scenario C, via vädring. Anledningen varför vädring valdes här var att det fanns svårigheter i VIP att ta fram ett scenario där tillgång till el fanns en viss del av tiden. En begräsning med VIP var att elförsörjningen, d.v.s. den inköpta elen från elnätet, inte kan stängas av i programmet. Med den mängd solceller som har antagits hade solelen för fläktarna funnits ungefär en tredjedel av tiden vilket gör att vädring hade behövt ske under resterande tid. Det gör att det blev svårt att få fram ett COP-värde för fläktarna och därmed vilken besparing som fanns när de drivs av solel. Vädring har därför antagits under hela drifttiden, d.v.s. en vecka, för att underlätta beräkningar och att undgå begräsningarna gällande elförsörjning till fläktarna i VIP.

För att få fram mängden ved som krävdes för att klara uppvärmningsbehovet med kombinationen vedeldning samt solceller har två olika simuleringar i VIP-Energy gjorts. Det har gjorts eftersom solcellerna här inte klarar av att ge el under dygnets alla timmar och därför kunde inte värmepumpen fungera hela tiden. När solcellselen inte räckte till skedde vedeldning i stället med hjälp av de två kaminerna.

Den första simuleringen var när el fanns och vilken värme värmepumpen gav upphov till, vilket i VIP motsvarade kondensorvärme. I beräkningen fanns bergvärmepump, verksamhetsel och fastighetsel som krävde el. Ventilation antogs ske genom vädring. Indata för vädring, hushållsenergi, fastighetsenergi och tappvarmvatten redovisas i tabell 5.6.

Den andra simuleringen som gjordes var när solceller fanns och det var för att ta fram hur mycket el till värmepumpen som solcellerna producerade. Utgångspunkt var att hela taket skulle fyllas med solceller. För scenario D antogs skorstenen som fanns på taket uppta 1 m² av takarean. Avluftshuven antogs även uppta 1 m². Det gör att respektive långsida av sadeltakets area har 1 m² mindre per sida. Solcellerna har därför antagits vara högst 66 m² per sida åt öst respektive väst. Det gav att utgångspunkten blev att antalet solceller totalt blev 132 m². Solcellerna delades upp lika på båda sidorna av taket. Lutning valdes till 30 grader. I VIP har solcellsel till värmepump, hushållsel och fastighetsel prioriterats lika i fördelningen.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

För typhuset II gjordes beräkningarna enligt samma princip som för typhuset I, dock har värmeväxlaren som annars använts för passivhuset avaktiverats och togs därför inte med i beräkningarna. Det beror på att ventilation av byggnaden skedde genom vädring.

Tabell 5.6: Indata Scenario D

Ventilation - Vädring	Tilluft	Flöde	0,1 l/s, m ²
		Fläktryck	0 Pa
		Verkningsgrad	100 %
	Frånluft	Flöde	0,1 l/s, m ²
		Fläktryck	0 Pa
		Verkningsgrad	100 %
Värmeväxling	0 %		
Hushållsenergi	2,4 W/m ²		
Fastighetsenergi	0,57 W/m ²		
Tappvarmvatten	0 W/m ²		

5.2 Potentiell klimatpåverkan för respektive scenario

Vid beräkningar av fossila CO₂e-utsläpp har data rangordnats enligt följande ordning:

1. EPD:er för en specifik produkt. Enligt EN 15804.
2. Boverkets klimatdatabas, d.v.s. generisk data
3. Rapporter där en produkts potentiella klimatpåverkan har tagits fram
4. Beräkningar av potentiell klimatpåverkan efter egna antaganden.

EPD:er för specifika produkter har främst använts i beräkningar för klimatpåverkan. Det valdes eftersom informationen kring utsläpp av CO₂e är transparent eftersom en tredjepartsgranskning har gjorts.

Om inte EPD:er fanns tillgängliga för de beräkningar som utfördes användes Boverkets klimatdatabas. Boverkets klimatdatabas har konservativa värden eftersom värdena har ökat med 25 procent.

Om inte EPD:er eller Boverkets klimatdatabas fanns kring en produkt användes rapporter kring utsläpp av CO₂e för en viss produkt eller produkter. Rapporterna innehöll generisk data.

Ifall inga EPD:er, Boverkets klimatdatabas eller rapporter fanns om potentiell klimatpåverkan för en viss produkt gjordes egna beräkningar. Beräkningarna togs fram utefter egna antaganden som grundades på främst samlad information från relevant tillverkare. Det var ritningar, beskrivningar, mängder och annan tillverkningsinformation.

5.2.1 Antaganden för beräkning av potentiell klimatpåverkan

5.2.1.1 Funktionell enhet

Den funktionella enheten för den potentiella klimatpåverkans beräkningen var uppvärmningen av typhuset under en vecka. Uppvärmningen skulle fungera för alla scenarier och oberoende typhus.

För scenario B, C och D redovisas två resultat. Det första resultatet som presenterades var den totala potentiella klimatpåverkan för energikällorna och energiförsörjningen för uppvärmning under en vecka. Det innebär att en energikällas totala potentiella klimatpåverkan enbart läggs på den efterfrågade veckan. Det andra resultat var att den potentiella klimatpåverkan för energikällorna redovisas under en vecka av respektive energikällas livslängd. Resultatet presenteras i kg CO₂e för båda resultaten.

5.2.1.2 Systemgränser

Tidsmässiga avgränsningar

LCA beräkningen begränsades till tidsperioden en vecka. Veckan som beräkningen gjordes på var årets värsta vecka enligt programmet VIP-Energy.

Geografiska avgränsningar

I LCA beräkningen var det geografiska området Malmöregionen i Skåne.

Avgränsningar i LCA

LCA avgränsades till att bara inkludera det som skiljer de olika scenarierna åt. Det som skiljer de olika scenarierna var att olika moduler i LCA användes för att beräkna den potentiella klimatpåverkan. Ingen potentiell klimatpåverkan beräknades för byggnadens konstruktion och material, eftersom typhuset som används var samma oberoende scenario.

Skillnader mellan olika scenarier:

- För scenario A begränsades livscykeln till modulen B6, driftsenergi.
- För scenario B begränsades livscykeln till modul A och modul B6 för solceller. För batterier begränsades det till modul A.
- För scenario C begränsades livscykeln till modul A för kaminen. Ved har begränsats till modulerna A1-A3.
- För scenario D begränsades livscykeln till modul A och modul B6 för solcellerna. För kamin och ved var det skede A respektive modul A1-A3 som livscykeln begränsades till.

För scenario A har den potentiella klimatpåverkan beräknats för den el som typhuset krävde. För scenario A innebär det elförsörjningsbehovet och värmeförsörjningsbehovet. Värmeförsörjningsbehovet antogs täckas av direktverkande el. I resultatet presenteras

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

den potentiella klimatpåverkan, uttryckt i kg CO_{2e}, av uppvärmning för en vecka on-grid.

För scenario B var utsläppet i kg CO_{2e} för solceller och batterier med i beräkningen. Det beror på att solcellsanläggningen och batterierna som krävdes var utformade utefter den värsta veckan. För scenario B:s energiberäknings behov togs behovet av kWh fastighetsel, hushållsel, fläktar- och värmepump i beaktning. Energikällorna för scenario B motsvarar solceller och batterier.

För scenario C var det totala utsläppet CO_{2e} för två kaminer som klarar uppvärmningsbehovet med och det fossila utsläppet i kg CO_{2e} av vedeldning. Vedeldnings CO_{2e} utsläpp var framtaget med hänsyn till transport och råvaruutformningen. Energikällorna för scenario C motsvarar kamin och vedeldning.

För scenario D var det utsläppet i kg CO_{2e} för kamin och solceller som togs med. Värdena för beräkningen av CO_{2e} gällande modul A samt B6 hämtades från scenario B respektive C. Utsläppet av CO_{2e} för vedeldning beräknades fram med mängden ved som användes. Energikällorna för scenario D motsvarar solceller, kamin och vedeldning.

5.2.2 Scenario A

För Scenario A som var nollfallet, d.v.s. byggnaden var ansluten till elnätet, har emissionsfaktorn för kärnkrafts- och vindkraftsproducerad el tagits från miljövarudeklarationer enligt EN 15804. The International EPD System, där EPD:er har hämtats ifrån, tar fram EPD:er enligt standarderna ISO 21930 och EN 15804. Svensk elmix emissionsfaktor hämtades från Boverkets klimatdatabas och var framtaget enligt produktstandard EN 15804 A1.

5.2.2.1 Vindkraft

Den fossila emissionsfaktorn för vindkraftsproducerad el inom Norden var totalt 14,4 g CO_{2e}/kWh enligt Vattenfalls EPD appendix "Results for the Nordic Wind Power".

Funktionell enhet för framtagandet av EPD:n var 1 kWh netto el som ska genereras och därefter distribueras till en elnätskund.

5.2.2.2 Kärnkraft

Den fossila emissionsfaktorn för kärnkraftsproducerad el, från kärnkraftsreaktorerna Ringhals och Forsmark, hade en total klimatpåverkan på 4,04 g CO_{2e}/kWh enligt vattenfalls EPD "EPD® of Electricity from Vattenfall's Nuclear Power Plants".

Den funktionella enheten för EPD:n var 1 kWh netto el som ska genereras och därefter distribueras till en elnätskund. Antagandet här var att kunden var industriell och att den var ansluten till 70/130 kV.

5.2.2.3 Svensk Elmix

Emissionsfaktor för svensk elmix var 0,037 kg CO₂e/kWh. Produktens användningsområde var att el köps från elnätet för att tillgodose det elbehov som fanns.

5.2.3 Scenario B

För scenario B, när solceller samt batteri står för självförsörjning av el, beräknades klimatpåverkan utefter utsläppet att tillverka solceller och batterier efter det elbehovet som fanns. För scenario B användes främst EPD:er.

5.2.3.1 Solceller

EPD:en för solceller "Mono-crystalline Double glass, N-Type, solar photovoltaic modules" har tagits fram enligt ISO14025:2006 och EN15804:2012+A2:2019. Den potentiella klimatpåverkan för solcellerna var 196,7 kg CO₂e/m².

Antagen livslängd:

För solceller antogs en livslängd på 30 år enligt EPD:ens referenslivslängd för produkten. Dessutom styrks antagandet av att de flesta solceller som Boverkets klimatdatabas redovisar har en 30-årig livslängd, se tabell 3:4 under 3.5.5 Solceller.

5.2.3.2 Batteri

I rapporten "Lithium-Ion Vehicle Battery Production", gjord av Dahlöf och Emilsson med IVL Svenska Miljöinstitutet, har en litteraturstudie gjorts om växthusgasutsläppen från produktion av litiumjon-batterier för fordon. Utsläppet enligt studien blev att det varierade mellan 61–106 kg CO₂e beroende på vilken elmix som använts.

För A1-A3, d.v.s. att ta fram material, blev koldioxidutsläppet 59 kg CO₂e/kWh lagringskapacitet för batteriet. För A4-A5, d.v.s. att producera batteriet, var koldioxidutsläppet 2–47 kg CO₂e/kWh lagringskapacitet för batteriet. Om det antogs vara förnybar el blev utsläppet vid produktion 0 men om det var el som var fossilrik blev utsläppet 47 kg CO₂e/kWh lagringskapacitet för batteriet.

I den här studien valdes det högre utsläppet eftersom det gav det värsta resultatet. Det har valts eftersom batterier i större utsträckning tillverkas i länder där energin har ett större CO₂e-utsläpp per kWh. Valt utsläpp per kWh lagringskapacitet för batteriet blev 106 kg CO₂e.

Antagen livslängd:

För litiumjonbatteriet antogs en livslängd på 8 år eftersom det anges som garantitid hos ett antal elbilstillverkare, bland annat Tesla, Chevy (GM), BMW, VW samt Hyundai som anger 10 år. Dessutom uppgavs det även att 70 % av den ursprungliga kapaciteten kommer bibehållas under dessa 8 år (Tesla u.å.; Hyundai USA u.å.; Chevrolet u.å.; BMW of North America 2016; Volkswagen u.å.). I rapporten "Economies of scale for

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

future lithium-ion battery recycling infrastructure” anges livslängden för batteriet till elbilar till ungefär 10 år (Richa, Babbitt, Gaustad & Wang, 2014). Men för att inte överskatta batteriets livslängd, och därav underskatta dess potentiella klimatpåverkan, valdes 8 år.

5.2.4 Scenario C

För scenario C togs CO₂e-utsläppet för kaminen med i beräkningen samt det fossila utsläppet från veden gällande uppvärmning.

Inga EPD:er gällande kaminer har hittats. Det har gjorts att handberäkningar har gjorts. Ett ungefärligt utsläpp för kaminen har tagits fram med hjälp av en mindre beräkning av den potentiella klimatpåverkan för material som kaminen består av. Beräkningar gjordes utifrån den antagna kaminen Panadero Condor 8V. Verkningsgraden för kaminen var 77%. Det gjorde att andelen ved behövdes tas hänsyn till för att få fram hur många kilo som krävs för eldning av en viss andel kWh. För att inte underskatta den potentiella klimatpåverkan som fanns från tillverkning av kamin har värdet som togs fram med handberäkningar multiplicerats med 25 procent. Den potentiella klimatpåverkan för kaminen redovisas i rubrik 6.2.3.4.

För ved har inga EPD:er eller rapporter hittats. Det gjorde att antaganden och beräkningarna har gjorts kring potentiell klimatpåverkan. Beräkningar samt antaganden hittas under rubriken 5.2.4.1.

Emissionsfaktorer som används i scenario C, redovisas nedan i tabell 5.7.

Tabell 5.7: Emissionsfaktor som används i scenario C

	Stål	Glas	Ved - tillverkning	Utsläpp per liter diesel
Emissionsfaktor	2000 kg CO ₂ e/ton	20,9 kg CO ₂ e/m ²	17,87 kg CO ₂ e/ m ³ och 1h drifttid	2,748 kg CO ₂ e/liter

Antagen livslängd:

För kaminen antogs en livslängd på 20 år enligt artikeln ”Livscykelanalys för träbaserade bioenergialternativ” (Martín-Gamboa, Dias, Quinteiro, Freire, Arroja & Dias, 2019).

5.2.4.1 Beräkning potentiell klimatpåverkan för kamin

För att beräkna den potentiella klimatpåverkan för kaminen har CO₂e-påverkan för stål och glas beräknats separat. Även den potentiella klimatpåverkan för transport av kaminen har beräknats. Hänsyn togs inte till de utsläpp som elanvändning för tillverkning av kaminen gav upphov till.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Emissionsfaktorn antogs till $20,9 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ för glaset enligt Swecos rapport om den potentiella klimatpåverkan från laminerat glas (Mikusinska, 2020). Emissionsfaktorn för laminerat glas har valts eftersom laminerat glas var det glas med information om dess potentiella klimatpåverkan med närmast liknande funktion som keramiskt. En stor andel av glaset som säljs i Sverige tillverkas i Estland därav har klimatpåverkan för glas tillverkat i Estland använts i denna studie. Emissionsfaktorn för glas anges i $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ vilket gjorde att arean bara behövde tas fram för kaminens glassdelar. Den potentiella klimatpåverkan för glassdelen beräknades nedan.

För stål antogs en densitet till 7800 kg/m^3 enligt boken *Praktisk byggnadsfysik* (2010). Emissionsfaktorn antogs till $2000 \text{ kg CO}_2\text{e/ton}$ enligt rapporten "Metaller och deras betydelse för produkters klimatavtryck" (Tillväxtanalys, 2018). Koldioxidutsläpp för ståldelen beräknades nedan.

Den sammanlagda CO_2e -påverkan för material i braskaminen blev $377,9 \text{ kg CO}_2\text{e}$. För att säkerställa eventuella felaktiga antaganden inte påverkar den potentiella klimatpåverkan gällande material har en felmarginal lagts till. Felmarginalen valdes till 25 procent eftersom Boverket använder det för generisk data klimatpåverkan i klimatdatabasen. Med tillägget på 25 procent blev den potentiella klimatpåverkan för kaminens material $472,3 \text{ kg CO}_2\text{e}$. Nedan redovisas beräkningar för kaminens materials potentiella klimatpåverkan:

$$\text{CO}_2_{\text{glas}} = 0,271 \text{ m}^2 \cdot 20,9 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 = 5,64 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2_{\text{stål}} = 0,0239 \text{ m}^3 \cdot 7800 \text{ kg/m}^3 \cdot 2 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 372,2 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{CO}_2_{\text{kamin}} = (372,2 + 5,64) \cdot 1,25 = 472,3 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

I beräkningen av kaminens potentiella klimatpåverkan ingick även utsläpp av CO_2e under transporten. Braskaminen Panadero Condor 8V EcoDesign producerades i Spanien, i närheten av Valencia, enligt tillverkarens uppgifter. Därmed har en beräkning gjorts för hur mycket utsläpp i $\text{kg CO}_2\text{e}$ transporten mellan Valencia och Malmö gav upphov till, där Malmö valdes till referensort i Skåne. Här har det antagits att transporten skedde med en lastbil. Sträckan som braskaminen transporterats med har tagits fram med hjälp av Google Maps och den förutsätts vara 2510 km. För att underlätta beräkningar kring bränsle antogs lastbilen ha samma bränsleåtgång som ett timmerfordon. Enligt Skogsforsk (2022) har ett timmerfordon i snitt ett utsläpp på 40 l/100 km . Bränslet för lastbilen antogs vara diesel MK3 och utsläppet per liter blev därför $2,748 \text{ kg CO}_2\text{e/liter}$ (Energimyndigheten, 2023c).

Utsläpp för transporten för hela lastbilen:

$$40 \cdot 2,748 \cdot 25,1 = 2759 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Lastbilens släp antogs ha en längd på 12 m, en bredd på 2,4 m och en lastbar höjd på 2,4 m. Den lastningsbara volymen blev:

$$V_{\text{lastbilsläp}} = 2,4 \cdot 2,4 \cdot 12 = 69,12 \text{ m}^2$$

Kaminen antogs vara paketerad vid leverans och volymen för den paketerade kaminen antogs vara $0,5 \text{ m}^3$.

Andelen enskild volym av kaminen av total lastningsbar volym blev:

$$\frac{0,5 \text{ m}^3}{69 \text{ m}^3} = 0,0072$$

Den enskilda kaminens utsläpp för transport antogs vara:

$$0,0072 \cdot 2759 \text{ kg CO}_2\text{e} = 20 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Utsläpp för en kamin med dess beräknade potentiella klimatpåverkan för material och transport blev:

$$472,3 + 20 = 492,3 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Eftersom kaminens värmeeffekt är 8 kW vilket motsvarar uppvärmning av ungefär 80 m^2 innebar det att endast en våning i typhuset värms upp. Därmed har värdet för hela potentiella klimatpåverkan av en kamin multiplicerats med 2 för att innefatta klimatpåverkan av kaminens uppvärmning för hela typhuset vilket gav den totala potentiella klimatpåverkan:

$$492,3 \cdot 2 = 984,6 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

5.2.4.2 Potentiell klimatpåverkan för vedeldning

Med hjälp av IVL Svenska Miljöinstitutets klimatverktyg ”Beräkning av klimatutsläpp från tjänsteresor och övrig bränsleanvändning” (2020) togs ett ungefärligt värde för den potentiella klimatpåverkan, uttryckt i $\text{kg CO}_2\text{e}$, fram för tillverkning av ved. Arbetsmaskinsmodellen för jord- och skogsbrukstraktorer användes. Motoreffekt har antagits vara 37–75 kWh och antal timmar i drift har antagits vara 1 h för 1 m^3 . Med följande värden gav verktyget att utsläppet blev $17,87 \text{ kg CO}_2\text{e}$. 1 m^3 trä har antagits vara en björk där höjden var 8 m och diametern var 40 cm. I tiden 1 h har det antagits att fällning av träd ingår samt klyvning av ved.

Vid beräkningen av klimatpåverkan för transport av den ved som krävdes har ett antal förutsättningar antagits. Transporten av ved har antagits vara en dieseldriven lastbil med timmer som transporterar ved till småhus. Lastbilen med timmer har som tidigare nämnts antagits leverera 39 m^3 ved. Transportsträckan som veden levereras antogs till 150 kilometer. Vedeldning har antagits ske med trädslaget björk som har en fukthalt på 20 procent.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Ett timmerfordon har ungefärligt ett utsläpp på 40 l/100 km för diesel (Timmerbil utrustad för minskat luftmotstånd och lägre bränsleförbrukning, Skogsforsk, 2022). Diesel har antagits vara MK3 och utsläppet per liter blev 2,748 kg CO₂e/liter (Växthusgasutsläpp, Energimyndigheten, 2023).

Utsläpp för transport för hela lastbilen:

$$40 \cdot 2,748 \cdot 1,5 = 165 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

5.2.5 Scenario D

För scenario D hämtades värden för CO₂e beräkning för solceller och ved från scenario B respektive scenario C. Gällande solceller användes samma EPD ("Mono-crystalline Double glass, N-Type, solar photovoltaic modules") från scenario B, och dess klimatpåverkan multiplicerades med andel solceller som användes i scenario D. Livslängd antogs vara samma som för solceller och kamin i scenario B respektive C. För ved antogs samma transportsträcka, volym, fordon och tillverkningsprocess som i scenario C. Fossil CO₂e-påverkan beräknades därför enligt den mängden ved som användes i scenario D. Fullständiga beräkningar och resultat för varje typhus redovisas i kapitel 6.2.4.3 samt 6.2.4.4.

6 Resultat och Analys

I det här kapitlet redovisas resultat och analys av energiberäkningar i kapitel 4 samt potentiell klimatpåverkan från kapitel 5. I kapitel 6.1 redovisas energiberäkningar från VIP-Energy under ett år. I kapitel 6.2 presenteras den värsta veckan för varje scenario och förutsättningarna för hur respektive scenario uppfyllts. I kapitel 6.3 illustreras den potentiella klimatpåverkan i figurer i form av stapeldiagram både för en vecka enbart samt för en vecka av energikällornas antagna livslängd. Analysen har gjorts utefter resultat för tabell och figurer.

6.1 Energiberäkning VIP

En energiberäkning med VIP gjordes för att säkerställa att utformningen för typhus I respektive II motsvarade kraven för BBR samt passivhusstandarden FEBY18 Guld. Beräkningen gjordes för att värsta veckan därefter ska tas fram för respektive typhus och scenario. Värsta veckans energibehov för respektive scenario enligt VIP-Energy redovisas i rubrik 6.2. Värsta veckan användes för att utföra beräkningar av den potentiella klimatpåverkan för respektive scenario, se rubrik 6.3.

I tabell 6.1 nedan redovisas primärenergitalet (EP_{pet}), U_m -medelvärde (U_m), specifik energianvändning och värmeförlusttalet för respektive typhus. Kravet för ett hus enligt BBR var att primärenergitalet ska vara $90 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$. Typhus I klarar därför kravet eftersom EP_{pet} blev $78,8 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$. För passivhuset var kravet enligt FEBY18 Guld att specifik energi ska vara $26 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$ och att värmeförlusttalet ska vara mindre än $18,9 \text{ W/m}^2$. Typhus II klarar kraven enligt FEBY18 Guld eftersom den specifika energi blev $21,6 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$ och för värmeförlusttalet $17,6 \text{ W/m}^2$.

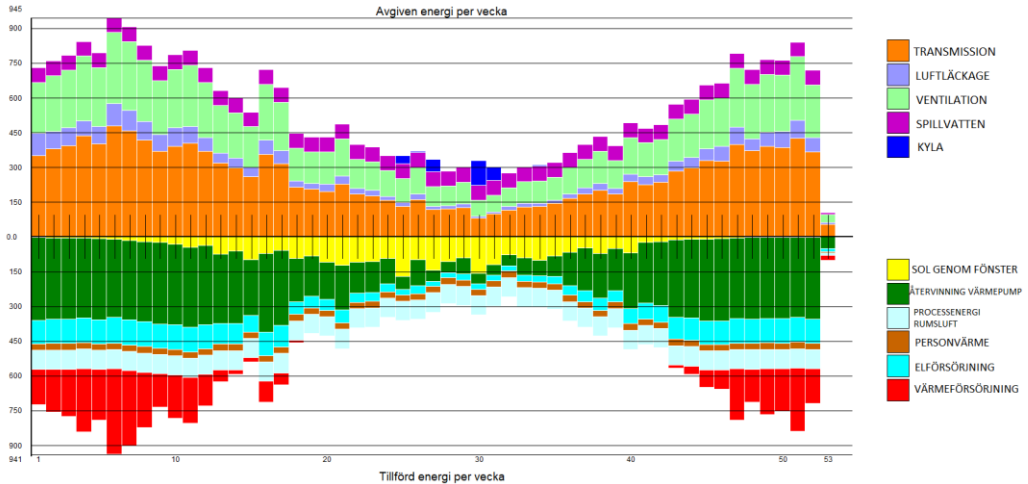
För typhus I och II blev skillnaden i storlek på EP_{pet} $38 \text{ kWh/m}^2, \text{ år}$. Skillnaden mellan typhusen beror bland annat på storleken på U_m , återvinning av ventilation och en tätare konstruktion. I tabell 6.1 redovisas U_m för typhusen och skillnaden var att typhus II U_m blev nästan hälften av typhus I.

Tabell 6.1: Resultat för typhus gällande energi

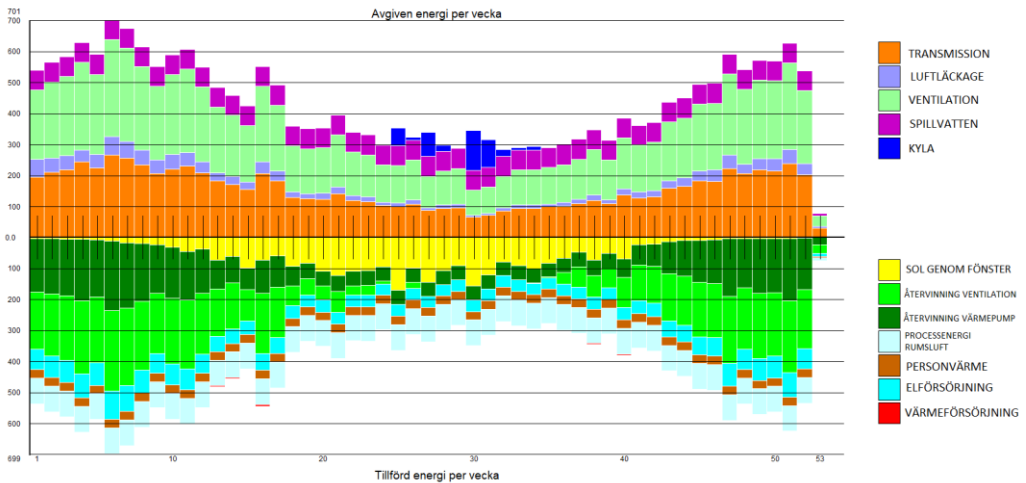
	Primärenergital [kWh/m ² , år]	U_m [W/m ² °C]	Specifik energi [kWh/m ² , år]	Värmeförlusttal [W/m ²]
Typhus I	78,8	0,298	53,3	43,2
Typhus II	40,8	0,164	21,6	17,6

6.2 Värsta veckan

Den värsta veckan för alla scenarier var vecka 6 oberoende typhus enligt VIP-Energy. Beräkningsperioden i programmet blev därför dag 36 till 42. Val av värsta veckan har tagits utifrån graferna för varje typhus och redovisas i figur 6.1 samt 6.2. Den värsta veckan är den vecka under året med störst avgiven respektive tillförd energi.



Figur 6-1: Diagram med typhus I avgivna respektive tillförda energi för respektive vecka på ett år.



Figur 6-2: Diagram med typhus II avgivna respektive tillförda energi för respektive vecka på ett år.

6.2.1 Scenario A

Scenario A var när typhuset var anslutna till elnätet och valda energikällor var svensk elmix, 100 % vindkraft eller 100 % kärnkraft. Scenario A var nollfallet och alla parametrar har tagits i beaktning i VIP-Energy.

6.2.1.1 Typhus I

Den avgivna respektive tillförda energin under den värsta veckan redovisas i tabell 6.2. Den avgivna energin var cirka 945 kWh och den tillförda energin var 941 kWh för den värsta veckan. Elförsörjningen var 111 kWh enligt specifikationen av energitillförseln, och det var den andel el som köps från elnätet. Värmeförsörjningen blev 370 kWh och det var det som motsvarar underskottet som enligt VIP ska uppfyllas genom att exempelvis använda fjärrvärme. Eftersom typhuset inte använder sig av fjärrvärme antogs därför värmeförsörjningen uppfyllas genom användning av direktverkande el. Elbehovet blev därför 481 kWh för typhus I under den värsta veckan.

Tabell 6.2: Värsta veckan för typhus I i scenario A

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	476
Luftläckning	97
Ventilation	308
Spillvatten	64
Kyla	0
	Σ 945
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	12
Återvinning ventilation	0
Återvinning Värmepump	338
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	0
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	83
Värmeförsörjning	370
Elförsörjning	111
Fuktlatentenergi	0
	Σ 941

6.2.1.2 Typhus II

I tabell 6.3 redovisas avgiven respektive tillförd energi för passivhuset. Under den värsta veckan var den avgivna energin cirka 699 kWh och den tillförda var cirka 697 kWh. Elförsörjningen under den värsta veckan var 89 kWh enligt specifikationen av energitillförseln. Elförsörjningen är det som behövs köpas in från elnätet. Värmeförsörjningen var 0 kWh och det innebar att inget underskott fanns för typhus II.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Tabell 6.3: Värsta veckan för typhus II i scenario A

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	266
Luftläckning	58
Ventilation	311
Spillvatten	64
Kyla	0
	Σ 699
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	12
Återvinning ventilation	259
Återvinning Värmepump	227
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	0
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	83
Värmeförsörjning	0
Elförsörjning	89
Fuktlatentenergi	0
	Σ697

6.2.2 Scenario B

Scenario B innebar att batterier lagrade solcellsel som drev en bergvärmepump men även ventilation, hushålls- och fastighetsel.

För scenario B:s värsta vecka var den avgivna energin mindre än för scenario A. Det beror på att tappvarmvattnet i VIP sattes till noll. För att uppnå att typhuset ska vara självförsörjande ska elförsörjningen vara nära 0 i specifikationen av energitillförseln. Elförsörjningen i VIP-Energy var den inköpta energin som huset krävde.

Energitillförseln kunde inte vara 0 eftersom det vid vissa dagar produceras för lite el på grund av exempelvis en molnig dag. Andra dagar kan solcellerna producera mer el än som kan lagras i batteriet vilket gjorde att den elen förloras. På grund av det har beräkningarna av hur mycket kvm solceller som behövs försökt ge ett så litet energitillförselbehov som möjligt. Det energitillförselbehovet från elförsörjning som krävs bidrar till ett underskott eftersom den elen saknas. Se beräkning för underskott för typhus I och II i rubrik 6.2.2.3.

Optimal batterikapacitet oberoende typhus blev 150 Wh/m² i VIP, framtaget genom en iterativ arbetsprocess.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

6.2.2.1 Typhus I

För typhus I var den avgivna energin 881 kWh och den tillförda energin 878 kWh under den värsta veckan. Storleken på parametrarna för den värsta veckan redovisas i tabell 6.4.

Tabell 6.4: värsta veckan för typhus I i scenario B

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	476
Luftläckning	97
Ventilation	308
Spillvatten	0
Kyla	0
	Σ 881
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	13
Återvinning ventilation	0
Återvinning Värmepump	338
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	185
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	4
Värmeförsörjning	305
Elförsörjning	5
Fuktlatentenergi	0
	Σ 878

I tabell 6.5 redovisas till vilket energibehov soleden går till.

Tabell 6.5: Redovisning av vad soled från solceller ger

Solel	Solel till elförsörjning	Solel till värmepump	103 kWh
		Solel till frånluftsfläkt	3 kWh
	Solel till hushållsel internt	64 kWh	
	Solel till fastighetsel internt	15 kWh	

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

6.2.2.2 Typhus II

För typhus II i scenario B blev den avgivna energin 643 kWh och den tillförda energin 642 kWh. För typhus II fanns inget underskott gällande värmeförsörjning. Se tabell 6.6.

Tabell 6.6: Värsta veckan för typhus II i scenario B

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	266
Luftläckning	58
Ventilation	313
Spillvatten	0
Kyla	0
	Σ637
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	13
Återvinning ventilation	259
Återvinning Värmepump	185
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	144
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	4
Värmeförsörjning	0
Elförsörjning	3
Fuktlatentenergi	0
	Σ 636

I tabell 6.7 redovisas till vilket energibehov soleden går till.

Tabell 6.7: Redovisning av vad soled från solceller ger

Soled	Soled till elförsörjning	Soled till värmepump	48 kWh
		Soled till tilluftsfläkt	10 kWh
		Soled till frånluftsfläkt	8 kWh
	Soled till hushållsel internt	64 kWh	
	Soled till fastighetsel internt	15 kWh	

6.2.2.3 Underskott

Typhus I

Värmeförsörjningsunderskottet, med hänsyn till att elförsörjningen har tillgång till el, var 305 kWh. Det totala underskottet var värmeförsörjningsunderskottet och underskottet för den saknade elen. För typhus I var elförsörjningsbehovet 5 kWh och all el gick till värmepumpen.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

För att få fram underskottet av den saknade elen krävdes en beräkning av antalet kWh som en bergvärmepump gav upphov till. För att få fram antalet kWh värme som värmepumpen gav per förbrukad kWh el har ett COP-värde tagits fram med hjälp av kondensorvärmens och el värmepump. Värdet som användes hämtades från tabell 6.8 och COP-värdet motsvarar värmepumpens verkningsgrad.

Tabell 6.8: Simulering om tillgång till elnätet fanns

Om ej solceller	
El värmepump:	108 kWh
Kondensorvärme:	445 kWh

$$\text{COP: } \frac{\text{Kondensorvärme (kWh)}}{\text{El till värmepump (kWh)}} = \frac{445 \text{ (kWh)}}{108 \text{ (kWh)}} = 4,12$$

COP-värdet innebar att på 1 kWh el gav bergvärmepumpen 4,12 kWh värme. I tabell 6.9 redovisas elen som producerats av solcellerna. Med COP-värdet togs den värme som värmepumpen gav upphov till fram.

Tabell 6.9: Simuleringar om solceller fanns som gav el till värmepump

Solceller:	242 kvm
Solel till elförsörjning:	106 kWh
Solel till Värmepump	103 kWh

Värmen som värmepumpen gav upphov till när den har tillgång till solceller blev:

$$103 \text{ kWh} \cdot 4,12 = 424,4 \text{ kWh}$$

Underskottet av värme när värmepumpen inte fungerar blev:

$$445 \text{ kWh} - 424,4 \text{ kWh} = 20,6 \text{ kWh}$$

Det totala underskottet för typhus I blev:

$$305 \text{ kWh} + 20,6 \text{ kWh} = 325,6 \text{ kWh}$$

Typhus II

För typhus I var elförsörjningsbehovet 3 kWh och all el går till värmepumpen. Värmeförsörjningsunderskottet var noll och det gjorde att det enbart var elförsörjningsbehovet som gav upphov till ett underskott.

COP-värdet togs fram med hjälp av kondensorvärmens och elvärmepump i tabell 6.10.

$$\text{COP: } \frac{\text{Kondensorvärme (kWh)}}{\text{El till värmepump (kWh)}} = \frac{235 \text{ (kWh)}}{50 \text{ (kWh)}} = 4,7$$

Tabell 6.10: Simulering om tillgång till elnätet fanns

Om ej solceller	
El värmepump	50 kWh
Kondensorvärme:	235 kWh

I tabell 6.11 hämtades den el som värmepumpen får från solcellerna.

Tabell 6.11: Simuleringar om solceller fanns som gav el till värmepump

Solceller:	184 kvm
Solel till elförsörjning:	65 kWh
Solel till Värmepump	48 kWh

Värmen som värmepumpen gav upphov till när den har tillgång till solceller blev:

$$48 \text{ kWh} \cdot 4,7 = 225,6 \text{ kWh}$$

Underskottet av värme när värmepumpen inte fungerade:

$$235 \text{ kWh} - 225,6 \text{ kWh} = 9,4 \text{ kWh}$$

Totalt underskott för typhus I blev:

$$0 \text{ kWh} + 9,4 \text{ kWh} = 9,4 \text{ kWh}$$

6.2.2.4 Antal solceller och batterikapacitet som krävs enligt VIP

Antalet solceller och den batterikapacitet som krävdes för att elförsörjningen ska bli så nära noll som möjligt redovisas i tabell nedan. Elförsörjningen i VIP motsvarar den inköpta elen som byggnaden vid on-grid köper in.

För typhus I var det optimala antalet solceller 242 m² med orientering åt söder. Lagringskapaciteten för batteri blev 36,3 kWh. Vid 242 m² solceller var det kvarvarande elförsörjningsbehovet 5 kWh. Elförsörjningsbehovet minskade inte när antalet solceller eller batteriets lagringskapacitet ökades i VIP. Det kan förklaras med att lagring av solenergi var direkt beroende av tillgång på sol som varierar under den värsta veckan vilket leder till att det fortfarande fanns ett visst elförsörjningsbehov.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

För typhus II var det optimala antalet solceller 184 m² och lagringskapaciteten för batteriet blev 27,6 kWh. Vid 184 m² var det kvarvarande elförsörjningsbehovet 3 kWh. Elförsörjningsbehovet minskade inte när antal solceller hade ökats.

En sammanställning av de olika typhusens kvarvarande elförsörjningsbehov, underskott, antal solceller samt batterikapacitet redovisas i tabell 6.12.

Tabell 6.12: Sammanställning av antal solceller, batterikapacitet, kvarvarande elförsörjningsbehov och underskott för respektive typhus.

	Typhus I	Typhus II
Batterikapacitet	36,3 kWh	27,6 kWh
Antal batterier	Ett elbilsbatteri	Två hemsolsbatterier
Antal m ² solceller	242	184
Placering solceller	Söder	Söder
Kvarvarande elförsörjningsbehov	5 kWh	3 kWh
Underskott	325,6 kWh	9,4 kWh

6.2.3 Scenario C

Scenario C innebär att vedeldade kaminer skötte uppvärmning under den värsta veckan. För scenario C togs enbart parametern uppvärmning utan bergvärmepump i beaktning och ventilation antogs ske via vädring.

6.2.3.1 Typhus I

I tabell 6.13 redovisas den tillförda och avgivna energin för typhus I i scenario C. Den tillförda energin var 658 kWh och 654 för den avgivna energin.

Tabell 6.13: Värsta veckan för typhus I scenario C

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	476
Luftläckning	97
Ventilation	85
Spillvatten	0
Kyla	0
	Σ 658
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	12
Återvinning ventilation	0
Återvinning Värmepump	0
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	0
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	0
Värmeförsörjning	615
Elförsörjning	0
Fuktlatentenergi	0
	Σ 654

6.2.3.2 Typhus II

Avgiven respektive tillförd energi för typhus II i scenario C blev 409 och 407 kWh. Se tabell 6.14.

Tabell 6.14: Värsta veckan för typhus II scenario C

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	266
Luftläckning	58
Ventilation	85
Spillvatten	0
Kyla	0
	Σ 409
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	12
Återvinning ventilation	0
Återvinning Värmepump	0
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	0
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	0
Värmeförsörjning	367
Elförsörjning	0
Fuktlatentenergi	0
	Σ 407

6.2.3.3 Mängd ved

Typhus I

Värmeförsörjningsbehovet för BBR huset under den värsta veckan var 615 kWh. Det innebar att vedeldningen för björk motsvarade 615 kWh. Eftersom kaminen har en verkningsgrad på 77 procent krävdes det mer ved för att få ut samma antal kWh för värmeförsörjningen. Därför multiplicerades mängden med $\frac{1}{0,77}$.

Mängden björk som krävdes blev:

$$\frac{615 \text{ kWh}}{2820 \text{ kWh/m}^3} \cdot \frac{1}{0,77} = 0,283 \text{ m}^3$$

Typhus II

Värmeförsörjningsbehovet för passivhuset under den värsta veckan var 348 kWh. Det innebar att vedeldningen för björk motsvarade 348 kWh. Kaminen har en verkningsgrad på 77 procent vilket gjorde att mängden multiplicerades med $\frac{1}{0,77}$.

Mängden björk som krävdes blev:

$$\frac{367 \text{ kWh}}{2820 \text{ kWh/m}^3} \cdot \frac{1}{0,77} = 0,169 \text{ m}^3$$

6.2.3.4 Beräkning potentiell klimatpåverkan för vedeldning

Typhus I

Mängden björk som krävdes för vedeldning blev 0,283 m³.

Beräkning av den potentiella klimatpåverkan av tillverkning av ved, d.v.s. råvaruframställning, redovisas nedan:

Andel ved vid tillverkning:

$$\frac{0,283 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} = 0,283$$

Den potentiella klimatpåverkan med hänsyn till tillverkning blev:

$$17,87 \cdot 0,283 = 5,06 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Andel av ved som används under den värsta veckan:

$$\frac{0,283 \text{ m}^3}{39 \text{ m}^3} = 0,0073$$

Den potentiella klimatpåverkan för transport blev:

$$165 \text{ kg CO}_2\text{e} \cdot 0,0073 = 1,20 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Med hänsyn till tillverkning och transport av den mängd ved som användes under den värsta veckan blev det totala utsläppet:

$$5,06 + 1,20 = 6,26 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Typhus II

Mängden björk som krävdes är 0,169 m³.

Beräkning av den potentiella klimatpåverkan av tillverkning av ved, d.v.s. råvaruframställning, redovisas nedan:

Andel ved vid tillverkning:

$$\frac{0,169 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} = 0,169$$

Den potentiella klimatpåverkan med hänsyn till tillverkning:

$$17,87 \cdot 0,169 = 3,02 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Andel av ved som används under den värsta veckan:

$$\frac{0,169 \text{ m}^3}{39 \text{ m}^3} = 0,0043$$

Klimatpåverkan för transport blev:

$$165 \text{ kg CO}_2\text{e} \cdot 0,0043 = 0,715 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Med hänsyn till tillverkning och transport av den mängd ved som användes under den värsta veckan blev det totala utsläppet:

$$3,02 + 0,715 = 3,74 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

6.2.4 Scenario D

Scenario D innebar att solceller tillsammans med vedeldade kaminer skötte uppvärmningen via en bergvärmepump. De övriga parametrarna som togs i beaktning var hushållsel, fastighetsel, och ventilation.

6.2.4.1 Typhus I

I tabell 6.15 redovisas den tillförda och avgivna energin för typhus I i scenario D. Den tillförda energin var 658 kWh och 654 kWh för den avgivna energin. Tabell 6.15: värsta veckan för typhus I i scenario D

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	476
Luftläckning	97
Ventilation	85
Spillvatten	0
Kyla	0
	Σ 658
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	12
Återvinning ventilation	0
Återvinning Värmepump	335
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	55
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	59
Värmeförsörjning	88
Elförsörjning	78
Fuktlatentenergi	0
	Σ654

6.2.4.2 Typhus II

Den tillförda energin för typhus II var 409 kWh och 407 kWh för den avgivna energin. Värden redovisas i tabell 6.16.

Tabell 6.16: värsta veckan för typhus II i scenario D

Vecka 6 – Februari	
Avgiven energi	[kWh]
Transmission	266
Luftläckning	58
Ventilation	85
Spillvatten	0
Kyla	0
	Σ 409
Tillförd energi	[kWh]
Solenergi fönster	12
Återvinning ventilation	0
Återvinning Värmepump	224
Återvinning Spillvatten	0
Solfångare	0
Solcell	42
Personvärme	27
Processenergi rumsluft	58
Värmeförsörjning	0
Elförsörjning	45
Fuktlatentenergi	0
	Σ407

6.2.4.3 Mängdberäkning ved när vedeldning sker i kombination med solceller

Typhus I

För att få fram antalet kWh värme som värmepumpen gav per förbrukad kWh el togs ett COP-värde fram med hjälp av kondensorvärmens och el värmepump. Kondensorvärme och el värmepump hämtades i tabell 6.17.

$$\text{COP: } \frac{\text{Kondensorvärme (kWh)}}{\text{El till värmepump (kWh)}} = \frac{443 \text{ (kWh)}}{108 \text{ (kWh)}} = 4,10$$

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Tabell 6.17: Simulering om tillgång till elnätet finns och inga solceller finns.

Om ej solceller	
Elförsörjning	108 kWh
El värmepump	108 kWh
Värmesystem:	531 kWh
Kondensorvärme:	443 kWh
Värmeförsörjning:	88 kWh

Genom en iterativ arbetsprocess blev resultatet att 114 m² var det lägsta antalet solceller som ändå gav samma antal kWh solcellsel som kunde användas. I tabell 6.18 presenteras fördelningen av solcellselen till värmepumpen, hushållselen och fastighetselen.

Tabell 6.18: Simulering om solceller finns som ger el till värmepump, hushållsel och fastighetsel.

Solceller:	114 kvm
Solel:	55 kWh
Solel till elförsörjning:	30 kWh
Solel till värmepump	30 kWh
Solel till hushållsel	19 kWh
Solel till fastighetsel	5 kWh

Besparing av värmebehov med hjälp av solcellsel togs fram med hjälp av COP-värdet. Besparingen av värmebehovet innebar det kWh som gavs av att värmepump drivs av solel. Solcellerna gav inte el hela tiden men under den period där el var tillgängligt gavs en besparing av värmebehovet.

$$\text{För värmepump: } 30 \text{ kWh} \cdot 4,1 = 123,1 \text{ kWh}$$

Värmebehovet som togs fram var framtaget med hänsyn att solceller gav el under en del av dagen och att det under resterande tid eldas. Det gjorde att det värmebehovet som kompenseras av elning blev:

$$531 \text{ kWh} - 123,1 \text{ kWh} = 408 \text{ kWh}$$

Mängden björk som krävdes blev:

$$\frac{408 \text{ kWh}}{2820 \text{ kWh/m}^3} \cdot \frac{1}{0,77} = 0,188 \text{ m}^3$$

Typhus II

Elförsörjningsbehov för värmepump om el fanns och kondensorvärme redovisas i tabell 6.19. COP-värdet för värmepumpen togs fram med hjälp av kondensorvärmens och el värmepump.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

$$\text{COP: } \frac{\text{Kondensorvärme (kWh)}}{\text{El till värmepump (kWh)}} = \frac{284 \text{ (kWh)}}{61 \text{ (kWh)}} = 4,66$$

Tabell 6.19: Simulering om tillgång till elnätet finns och inga solceller finns.

Om ej solceller	
Elförsörjning	61 kWh
El värmepump	61 kWh
Värmesystem:	284 kWh
Kondensorvärme:	284 kWh
Värmeförsörjning:	0 kWh

Genom en iterativ arbetsprocess blev resultatet att 110 m² var det lägsta antalet solceller som ändå gav samma antal kWh solcellsel som kunde användas. I tabell 6.20 presenteras fördelningen av solcellselen till värmepumpen, hushållselen och fastighetselen.

Tabell 6.20: Simuleringar om solceller finns som ger el till värmepump, hushållsel och fastighetsel.

Solceller:	110 m ²
Solel:	42 kWh
Solel till elförsörjning:	16 kWh
Solel till värmepump	16 kWh
Solel till hushållsel:	20 kWh
Solel till fastighetsel	5 kWh

Besparing av värmebehov med hjälp av solcellsel togs fram med hjälp av COP-värdet. Besparingen av värmebehovet innebar de kWh som ges av värmepump som i sin tur drivs av solel.

$$\text{För värmepump: } 16 \text{ kWh} \cdot 4,66 = 74,5 \text{ kWh}$$

Värmebehovet som har tagits fram var framtaget med hänsyn till att solceller gav el under en del av dagen och resterande tid eldades det. Det gjorde att värmebehovet som kompenserades av eldnings blev:

$$284 \text{ kWh} - 74,5 \text{ kWh} = 209,5 \text{ kWh}$$

Mängden björk som krävdes blev:

$$\frac{209,5 \text{ kWh}}{2820 \text{ kWh/m}^3} \cdot \frac{1}{0,77} = 0,0965 \text{ m}^3$$

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Antal solceller och mängd ved för respektive typhus

I tabell 6.21 presenteras antalet solceller, placering för solceller, antalet kaminer och den mängd ved som krävs för scenario D.

Tabell 6.21: Sammanställning av antalet solceller, placering av solceller, antal kaminer och den mängd ved som krävs för scenario D

	Antal m ² solceller	Placering solceller	Antal kaminer	Mängd ved [m ³]
Typhus I	114	Öst och väst	2	0,188
Typhus II	110	Öst och väst	2	0,0965

6.2.4.4 Beräkning potentiell klimatpåverkan för vedeldning

Typhus I

Mängden björk som krävdes för vedeldning blev 0,188 m³.

Beräkning av den potentiella klimatpåverkan av tillverkning av ved, d.v.s. råvaruframställning, redovisas nedan:

Andel ved vid tillverkning:

$$\frac{0,188 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} = 0,188 \text{ m}^3$$

Den potentiella klimatpåverkan med hänsyn till tillverkning:

$$17,87 \cdot 0,188 = 3,36 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Andel av ved som användes under den värsta veckan:

$$\frac{0,188 \text{ m}^3}{39 \text{ m}^3} = 0,0048 \text{ m}^3$$

Den potentiella klimatpåverkan för transport blev:

$$165 \text{ kg CO}_2\text{e} \cdot 0,0048 = 0,795 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Med hänsyn till tillverkning och transport av den mängd ved som användes under den värsta veckan blev det totala utsläppet:

$$3,36 + 0,795 = 4,15 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Typhus II

Mängden björk som krävdes blev 0,0965 m³.

Beräkning av den potentiella klimatpåverkan av tillverkning av ved, d.v.s. råvaruframställning, redovisas nedan:

Andel ved vid tillverkning:

$$\frac{0,0965 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} = 0,0965$$

Den potentiella klimatpåverkan med hänsyn till tillverkning:

$$17,87 \cdot 0,0965 = 1,724 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Andel av ved som användes under den värsta veckan:

$$\frac{0,0965 \text{ m}^3}{39 \text{ m}^3} = 0,00247$$

Den potentiella klimatpåverkan för transport blev:

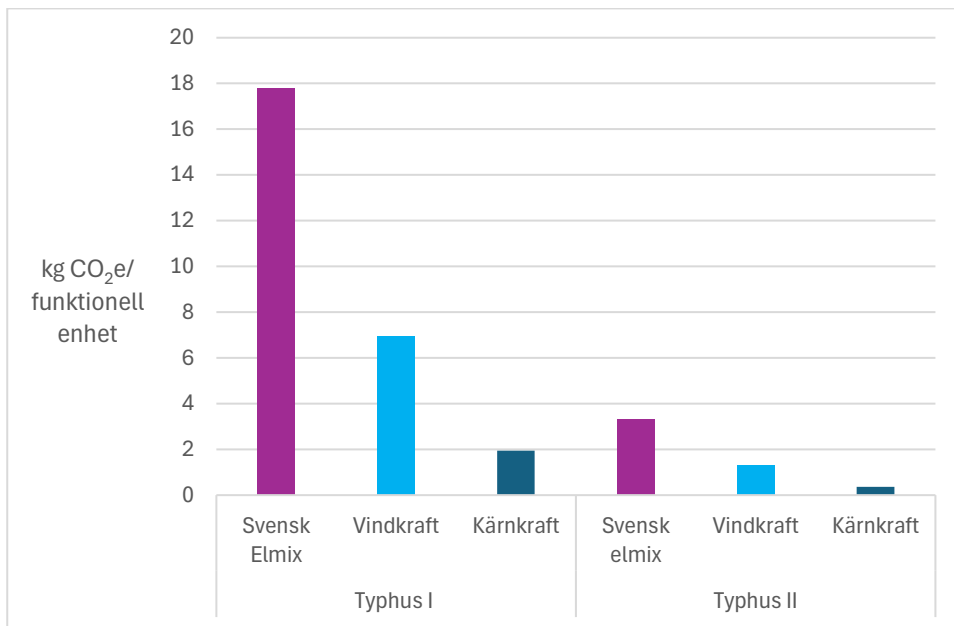
$$165 \text{ kg CO}_2\text{e} \cdot 0,00247 = 0,408 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Med hänsyn till tillverkning och transport av den mängd ved som användes under den värsta veckan blev det totala utsläppet:

$$1,724 + 0,408 = 2,13 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

6.3 Potentiell klimatpåverkan för scenarier

Figur 6.3 illustrerar den potentiella klimatpåverkan för Scenario A, d.v.s. när typhuset är anslutet till elnätet, under den värsta veckan. Resultatet i figuren visar att svensk elmix potentiella klimatpåverkan för typhus II gav en besparing på 14,5 kg CO₂e i förhållande till typhus I. För vindkraft blev besparingen för typhus II 5,6 kg CO₂e jämfört med typhus I. Besparingen för typhus II som använder kärnkraft blev cirka 1,6 kg CO₂e i jämförelse med typhus I. Skillnaden mellan svensk elmix för typhus I, som har den största potentiella klimatpåverkan för scenario A, och kärnkraft för typhus II blev ungefär 17,4 kg CO₂e för en vecka. Besparingen, oberoende energikälla i scenario A, blev med hjälp av en utformning enligt typhus II 81 procent.



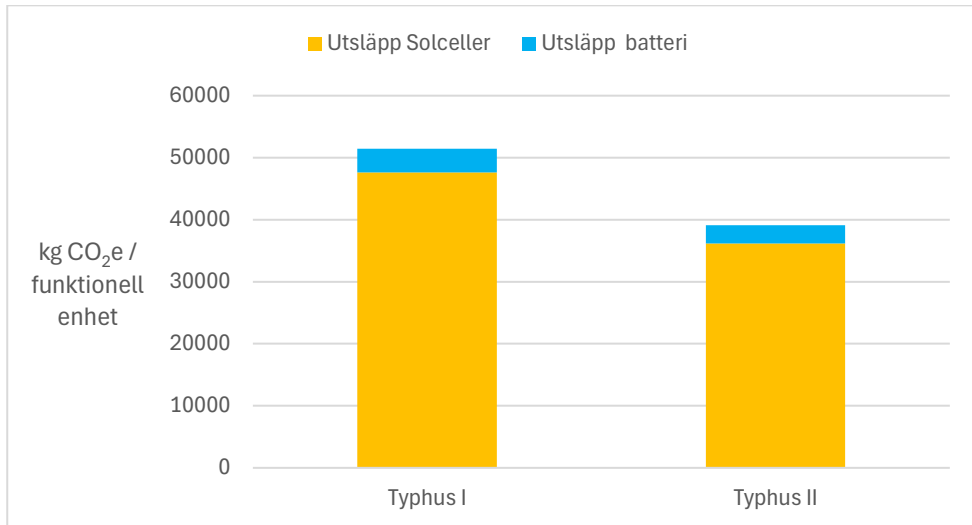
Figur 6-3: Potentiell klimatpåverkan för scenario A. Scenario A är när typhus är anslutet till elnät under den värsta veckan på året. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

I figur 6.4 redovisas den totala potentiella klimatpåverkan för scenario B när allt utsläpp för solceller och batteri enbart sätts på den värsta veckan. Den potentiella klimatpåverkan för solceller motsvarar 47 601 kg CO₂e och 36 193 kg CO₂e för typhus I respektive typhus II. För typhus I är batteriernas potentiella klimatpåverkan 3 848 kg CO₂e och för typhus II är det 2 926 kg CO₂e. Skillnaden för den totala potentiella klimatpåverkan är därför cirka 12 330 kg CO₂e. Typhus II, passivhuset enligt FEBY18 Guld, gav därför upphov till en besparing på cirka 12 330 kg CO₂e gällande solcells och batterianläggning. Det motsvarade en minskning av utsläppet på 24 procent.

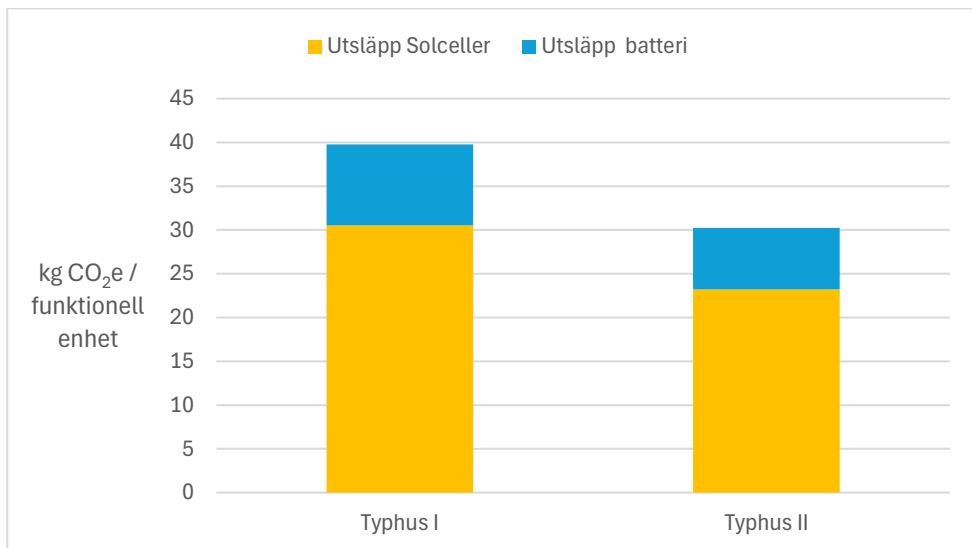
I figur 6.5 presenteras det potentiella utsläppet under en vecka för scenario B om solcellerna och batteriet används både innan och efter off-grid scenariot. Den potentiella

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

klimatpåverkan för typhus I är cirka 40 kg CO₂e och för typhus II är det cirka 30 kg CO₂e. Typhus II gav en besparing på 9,5 kg CO₂e per vecka jämfört med typhus I.



Figur 6-4: Total potentiell klimatpåverkan för scenario B. Scenario B är när typhus är off-grid och el från solceller lagras i batterier för att sköta uppvärmning, ventilation, fastighetsel och hushållsel. I figur redovisas den totala potentiella klimatpåverkan om utsläppet enbart sätts på den värsta veckan. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

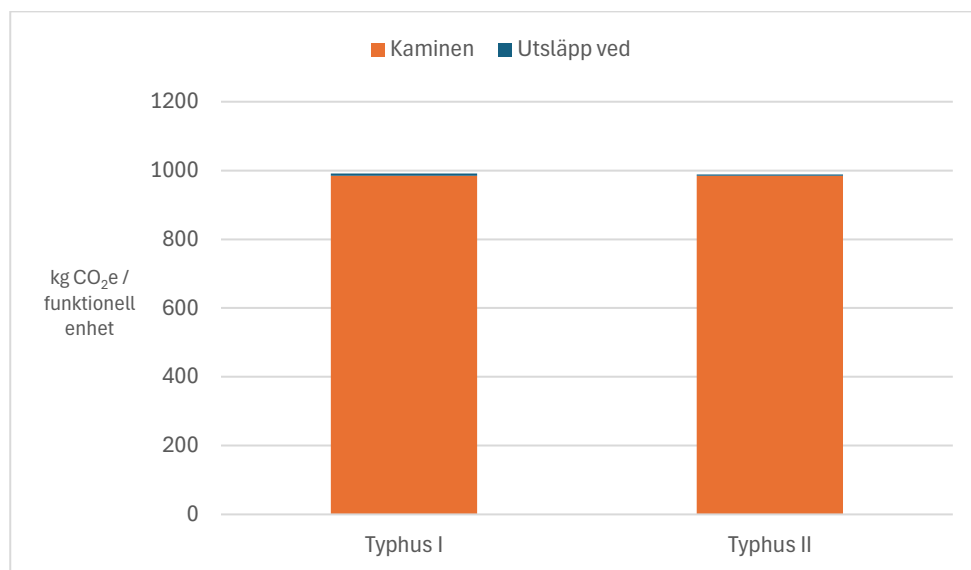


Figur 6-5: Potentiell klimatpåverkan för scenario B under en vecka av solcellernas och batteriets totala antagna livslängd. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

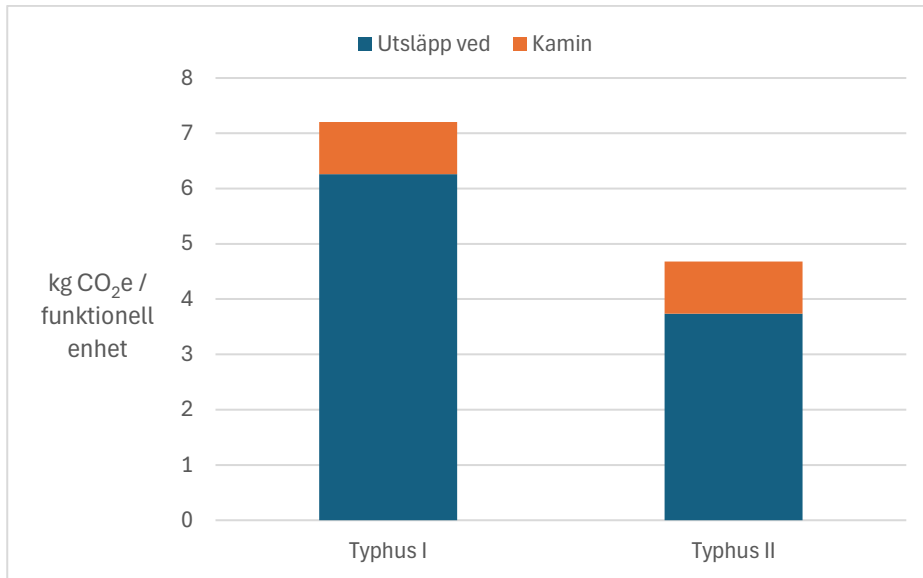
Figur 6.6 redovisar den totala potentiella klimatpåverkan för scenario C där två vedeldade braskaminer används endast under en vecka. I figuren motsvarar utsläppet för de vedeldade kaminerna cirka 985 kg CO₂e för båda typhusen. Utsläppet för ved under en veckas vedeldning framgår i figur 6.7.

I figur 6.7 presenteras den potentiella klimatpåverkan för kaminerna under en vecka av kaminens livstid. Här antogs det att kaminerna används både före och efter veckan när byggnaden är off-grid under vinterhalvåret. Kaminernas potentiella utsläpp under en vecka av dess livstid blev cirka 1 kg CO₂e och vedeldningens utsläpp blev 6,3 respektive 3,7 kg CO₂e för typhus I samt II. Skillnaden mellan den potentiella klimatpåverkan för vedeldning blev 2,5 kg CO₂e för typhus I och II. Det motsvarade att typhus II krävde 40 procent mindre ved jämfört med typhus I.



Figur 6-6: Total potentiell klimatpåverkan för scenario C. Scenario C är när typhuset värms upp med hjälp av två vedeldade braskaminer. I figur redovisas den totala potentiella klimatpåverkan om utsläppet enbart sätts på den värsta veckan. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

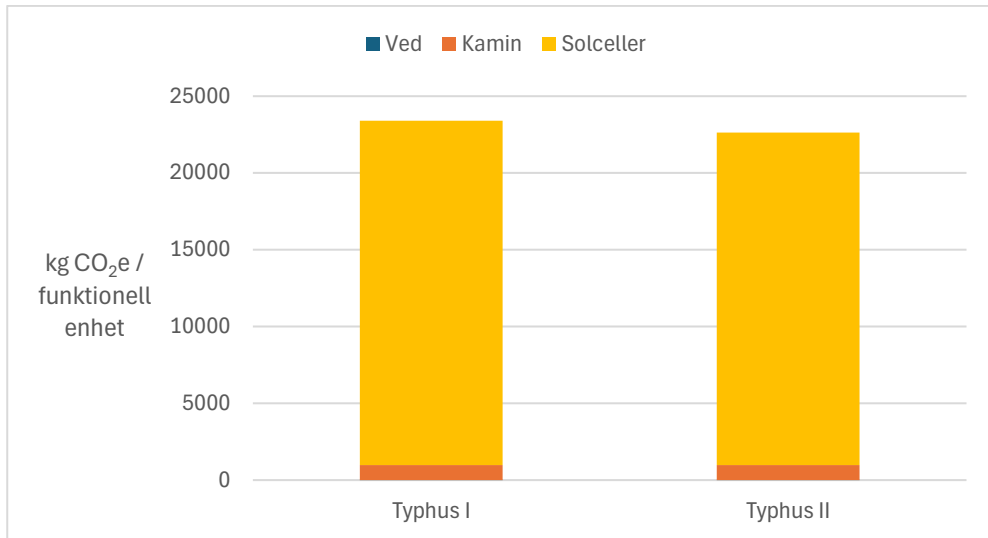


Figur 6-7: Potentiell klimatpåverkan för scenario C under en vecka av kaminens totala antagna livslängd. I figuren redovisas även den potentiella klimatpåverkan för en veckas vedeldning. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

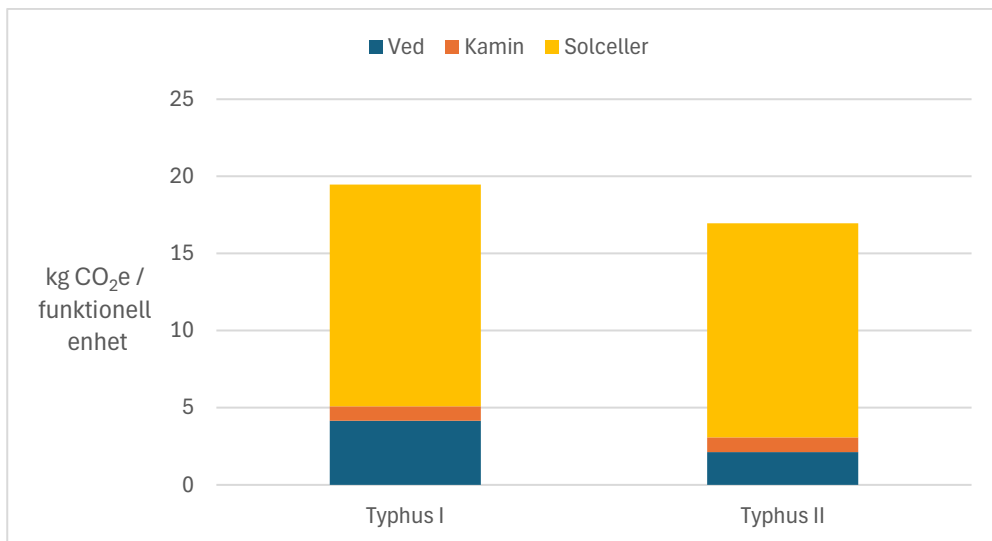
Figur 6.8 visar den totala potentiella klimatpåverkan för scenario D om det enbart används under en vecka. Den potentiella klimatpåverkan för scenario D beror på solceller, kaminer och vedeldning. För typhus I var den potentiella klimatpåverkan för solceller 22 424 kg CO₂e, för kaminer 985 kg CO₂e och för vedeldning 4,15 kg CO₂e. För typhus II var den potentiella klimatpåverkan för solceller 21 637 kg CO₂e, för kamin cirka 985 kg CO₂e och för ved 2,13 kg CO₂e. Den procentuella förbättringen för typhus II jämfört med typhus I blev 4 procent för solceller och cirka 48 procent gällande vedeldning. Kaminernas utsläpp är densamma oberoende typhus vilket gör att ingen besparing ges. Dock har solcellerna än större potentiell klimatpåverkan vilket innebär att den totala besparingen för typhus II blev cirka 3,4 procent.

I figur 6.9 framgår den potentiella klimatpåverkan för scenario D under en vecka av solcellernas och kaminens livstid. Här antogs det att solcellerna och kaminen används både innan och efter att typhusen är off-grid. Solcellerna motsvarar för typhus I respektive II 14,4 och 13,9 kg CO₂e. För kaminerna är det cirka 1 kg CO₂e för båda typhusen. Den potentiella klimatpåverkan för vedeldning blev för typhus I 4,15 kg CO₂e och för typhus II 2,13 kg CO₂e. Vedeldnings besparingen för typhus II motsvarade därför cirka 49 procent jämfört med typhus I. Totalt blev den potentiella klimatpåverkan 19,5 kg CO₂e för typhus I och 17 kg CO₂e för typhus II. Besparingen blev därför cirka 2,5 kg CO₂e per vecka, som motsvarade 13 procent, om typhus II används.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning



Figur 6-8: Total potentiell klimatpåverkan för scenario D. Scenario D är när typhuset värms upp med hjälp av en vedeldad braskamin och solceller försörjer typhuset med el till värmepump, fastighetsel samt hushållsel. I figuren redovisas den totala potentiella klimatpåverkan om utsläppet enbart sätts på den värsta veckan. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

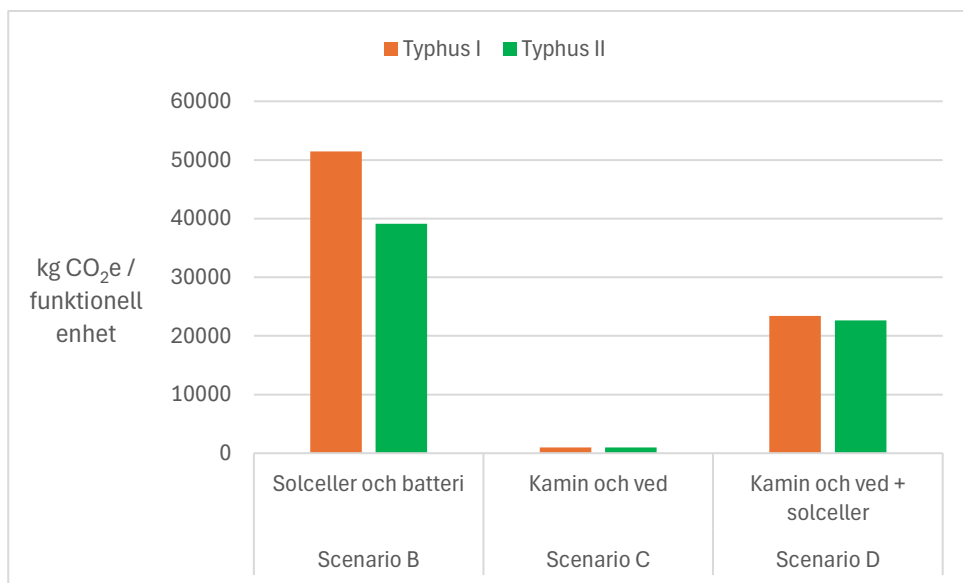


Figur 6-9: Potentiell klimatpåverkan för scenario D under en vecka av kaminens och solcellernas totala antagna livslängd. I figuren redovisas även den potentiella klimatpåverkan för en veckas vedeldning. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

I figur 6.10 tydliggörs det, liksom i figur 6.11, att scenario B är det fallet som har högst potentiell klimatpåverkan oberoende om solcellerna och batterierna används året om eller enbart under en enskild vecka. Scenario B för typhus I har i jämförelse med scenario C och D ett större utsläpp på cirka 50 500 respektive 28 000 kg CO₂e. Det motsvarade en ökning på cirka 98 respektive 54,5 procent jämfört med scenario C och D typhus I. För typhus II är utsläppet för scenario B cirka 38 100 kg CO₂e större än för scenario C. Om scenario D används som uppvärmning för typhus II är den potentiella klimatpåverkan cirka 16 500 kg CO₂e mindre än för scenario B. Det motsvarade i stället en ökning på 97,5 respektive 42,2 procent jämfört med scenario C och D typhus II.

Gällande typhusen framgår det i figuren att skillnaden mellan BBR huset och passivhuset enligt FEBY18 Guld är minimal för scenario C och D. Det kan sannolikt bero på att vedeldning sköter uppvärmning helt eller till stor del för scenario C och D. Vedeldning har i jämförelse med solceller haft en betydligt mindre potentiell klimatpåverkan. Skillnaden mellan BBR och passivhuset är i scenario B cirka en fjärdedel och det beror troligen främst på att typhus I krävde fler m² solceller samt en större lagringskapacitet. Elförsörjningsbehovet innan solceller var för typhus I cirka 111 kWh jämfört med typhus II som hade ett elförsörjningsbehov på 68 kWh. Skillnaden i elförsörjningsbehovet beror på att FEBY18 Guld har betydligt hårdare krav gällande energianvändning för småhuset än BBR.



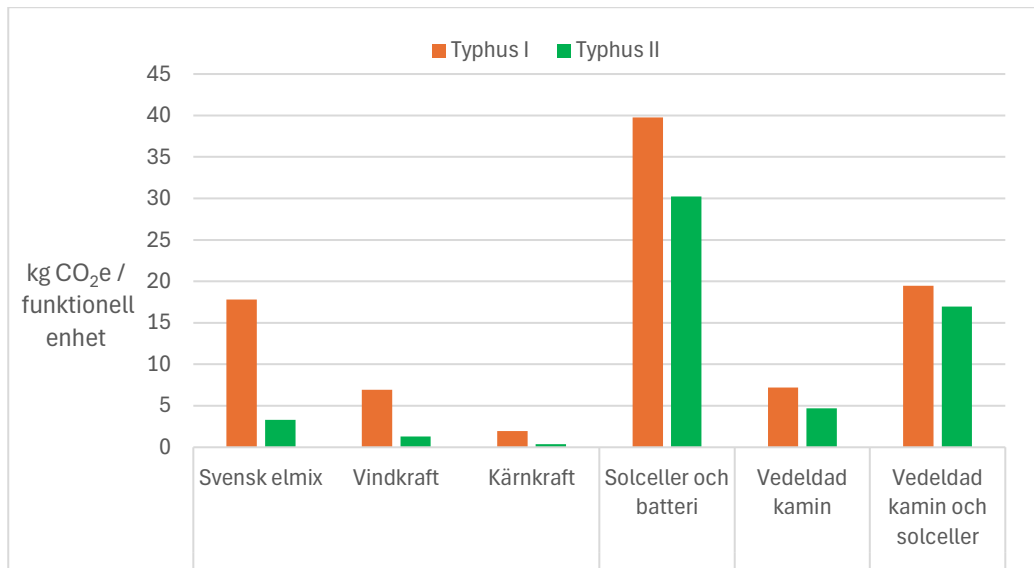
Figur 6-10: Den potentiella klimatpåverkan under 1 veckas uppvärmning av huset där hänsyn tagits till att energikällor, såsom solceller och kamin, används när typhusen inte är anslutna till elnätet. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Figur 6.11 illustrerar den potentiella klimatpåverkan för respektive scenario om det är en vecka under energikällornas livstid. I figuren visas det att svensk elmix för typhus I, i scenario A, gav en minimalt högre potentiell klimatpåverkan än för scenario D för typhus II.

Scenario A, d.v.s. när typhusen är anslutna till elnätet, gav över lag ett lägre utsläpp av CO₂e under en enskild vecka än för off-grid scenarierna. Det är enbart scenario C som gav en lägre potentiell klimatpåverkan jämfört med de elnätsanslutna alternativen i scenario A. Scenario C, typhus I, där uppvärmning sker med hjälp av vedeldade kaminer har bara en lägre potentiell klimatpåverkan än svensk elmix, typhus I. För scenario A, typhus I, där 100 % vindkraft användes var den potentiella klimatpåverkan 6,9 kg CO₂e. Det motsvarar nästan scenario C, typhus I, potentiella klimatpåverkan som är 7,2 kg CO₂e.

Scenario D har ett utsläpp på mer än 12 kg CO₂e jämfört med scenario C, oberoende typhusen. Det kan troligen bero på att scenario D, liksom scenario C, har två vedeldade kaminer men även solceller som producerar el. Uppvärmningsbehovet är ungefär detsamma men eftersom el till värmepump, fastighetsel och hushållsel fanns tillgängligt i scenario D ökar utsläppen med nästan 12 kg CO₂e per vecka vilket procentuellt motsvarade ca 68 procent jämfört med scenario C.



Figur 6-11: Den potentiella klimatpåverkan för respektive scenario där en vecka av energikällans totala livslängd har tagits hänsyn till. Den potentiella klimatpåverkan redovisas i kg CO₂e/funktionell enhet på y-axeln.

7 Diskussion och slutsats

I det här kapitlet redovisas diskussion, slutsatser och även möjliga framtida studier inom energi och potentiell klimatpåverkan. I diskussionen diskuteras de olika scenariernas resultat gällande potentiell klimatpåverkan, olika faktorer som påverkar resultatet, osäkerheter och antaganden.

7.1 Diskussion

7.1.1 Scenarier och energikällor

Ur resultatet kan det utläsas att off-grid scenarierna har högre potentiell klimatpåverkan än grundfallet. En stor bidragande faktor till det här är att typhuset i scenario A antogs vara anslutna till elnätet från början samt att inga produkter eller material hade tillkommit, vilket var annorlunda för de övriga scenarierna. Om det i stället hade antagits att typhuset behövdes anslutas till elnätet hade utsläppet för byggnation, material och arbete för infrastrukturen ökat den potentiella klimatpåverkan för scenario A.

För alla scenarier fanns det någon typ av underskott gällande saknad av värme. Underskotten gällande värme beror på en otillräcklig elförsörjning för bergvärmepumpen eller att det kvarstår ett värmeförsörjningsbehov. Om det hade funnits ett underskott gällande värme skulle innetemperaturen sjunka och därav brukarens komfort minska. För scenario A och B är underskottet gällande värmeförsörjning 0 kWh för passivhuset vilket innebär att det enbart var ett eventuellt underskott gällande elförsörjning som fanns. Elförsörjning motsvarar i VIP elförsörjning till värmepump och till-och frånluftsfälkten men även hushålls- och fastighetsel. För scenario A har parametern värmeförsörjning uppfyllts genom att el har antagits motsvara energibehovet när det är anslutet till elnätet. För scenario C och D har parametern värmeförsörjning uppfyllts genom att vedeldning ska motsvara den värme som krävs. För scenario B uppkom ett underskott av värme som beror på att elförsörjningen för värmepumpen var större än noll. Oavsett ökning av antalet solceller och en större batterilagringkapacitet kvarstod ett elförsörjningsbehov för värmepumpen. Det kvarvarande elförsörjningsbehovet beror sannolikt på att solcellerna under nätter eller exempelvis molniga dagar producerar mindre el. För scenario B kvarstår därför ett underskott för elförsörjning för båda typhuset samt ett underskott från värmeförsörjning för typhus I. Anledningen till att rumstemperaturen inte sänktes under 21 °C i scenario B är dels för att alla scenarier ska ha samma förutsättningar, dels för att se om typhuset i scenario B kan klara av att upprätthålla den valda inomhustemperaturen. Eftersom de inte gjorde det tillkom ett underskott i energitillförseln vilket i praktiken innebär att inomhustemperaturen sjunker. Det innebär att scenario A, C och D klarar av att upprätthålla inomhustemperaturen samtidigt som att B inte klarar av det.

Att scenario B hade högst potentiell klimatpåverkan av alla scenarier var inte oväntat eftersom det var det scenario med störst mängd solceller som i sin tur har störst total kg CO₂e utsläpp per m². Att scenario B utöver solceller hade batterier, där den solcellsproducerade elen skulle lagras, bidrog att utsläppet ökade med cirka 8 procent på

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

den totala potentiella klimatpåverkan om allt utsläpp lagts på en vecka. Om utsläppet för scenario B var på en vecka av solcellernas och batteriernas livstid var andelen utsläpp för batterier cirka 23 procent. Ökningen beror på att batterierna i beräkningen antogs ha en livstid på cirka 8 år jämfört med solcellernas livstid på 30 år. För scenario B ska det understrykas att det främst var mängden solceller och dess utsläpp per m² som bidrog till den potentiella klimatpåverkan.

Solceller är den energikälla för off-grid scenarier med störst total kg CO₂e utsläpp oberoende om det är att allt utsläpp läggs på en vecka eller om det är utsläppet för en vecka av solcellernas livstid. En anledning varför utsläppet för solcellerna är störst, närmare 197 kg CO₂e per m², kan bero på att antagen EPD för solceller gäller solceller tillverkade i Kina. Kina är idag en av världens största tillverkare av solcellspaneler och den el som används i Kina är fortfarande till stor del kolkraft. Kolkrafts producerad el har en potentiell klimatpåverkan på närmare 1 kg CO₂e/kWh mer jämfört med svensk elmix. Om solcellerna i stället hade producerats i Sverige hade utsläppet per m² solceller varit betydligt lägre och därav hade skillnaden mellan off-grid scenarier minskat. Solcellerna har i jämförelse med ved mellan 14–32 kg mer utsläpp av CO₂e under en veckas livstid. En fördel med förnybar el som produceras av solceller är att luftföroreningar inte uppkommer som vid vedeldning.

Av de olika off-grid scenarierna framgår det i resultatet att scenario C med en vedeldad braskamin är det scenariot med säreget låg potentiell klimatpåverkan för en veckas uppvärmning, oberoende om den totala potentiella klimatpåverkan läggs enbart på en vecka eller om den potentiella klimatpåverkan tas från en vecka av kaminens antagna livstid. Den lägre potentiella klimatpåverkan jämfört med scenario B respektive D beror sannolikt på att utsläppet för två kaminers material och transport motsvarar cirka 5 m² solcellers potentiella klimatpåverkan. Här bör det dock tas hänsyn till att kaminens potentiella klimatpåverkan har tagits fram utefter egna antaganden jämfört med solcellernas som hämtats från en EPD. Kaminens potentiella klimatpåverkan har tagits fram utefter påverkan från material och transport av kamin. Den verksamhetsel som används för att tillverka kaminen har inte tagits med och därav finns ett bortfall gällande potentiell klimatpåverkan. Det innebär att skillnaden i potentiella klimatpåverkan är skälig eftersom det minsta antalet solceller är 114 m² för typhus II i scenario D. Dock bör det tas hänsyn till att scenario C enbart erbjuder uppvärmning och att ventilation sker genom vädring. För exempelvis scenario D fanns det under den veckan typhuset är off-grid tillgång till hushålls- och fastighetsel. Det innebär att i scenario D kan brukaren använda exempelvis spis, kyl, frys, lampor, pumpar och liknande.

Den potentiella klimatpåverkan för vedeldning är för scenario D och C mellan 2-6 kg CO₂e under den värsta veckan på året beroende på scenario respektive typhus. Vedeldnings potentiella klimatpåverkan är, om hänsyn tas till en vecka av kaminens antagna livstid, betydligt större än kaminens potentiella klimatpåverkan som är på cirka 1 kg CO₂e. Det innebär till skillnad från solcellsproducerad el att den värme som den vedeldade kaminen gav upphov till har en relativt stor potentiella klimatpåverkan. Vedeldning ger förutom potentiell klimatpåverkan även upphov till andra negativa effekter såsom utsläpp av luftföroreningar. Föroreningar som kan uppkomma är

exempelvis sot, polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och dioxiner. Luftföroreningar kan därav i sin tur leda till sjukdomar och problem i andningsvägarna men även hjärt- och kärlsystemet. Föroreningarnas effekter drabbar äldre, barn och personer med andningsbesvär hårdare.

Den potentiella klimatpåverkan för braskaminerna och vedeldningen bör tolkas med försiktighet eftersom den potentiella klimatpåverkan togs fram utefter egna antaganden. Antaganden har försökt hämtas utefter ritningar, rapporter och datorverktyg men ett begränsat urval av material har gjort att resultatet inte är generaliserbart. Antaganden kring transporter som inte varit definierade eller osäkerheter kring tidslängd att utföra en specifik sak har gjort att följande värden inte helt säkert kan vara tillförlitliga.

7.1.2 Antaganden och data för VIP

I varje resultat är det tydligt att typhus II, alltså typhuset definierat enligt passivhuskravet FEBY18 Guld, har en mindre potentiell klimatpåverkan än typhus I, BBR hus. Rättare sagt gäller det för energikällornas klimatpåverkan eftersom det undersöktes i arbetet. Det som utslöts var själva typhusens klimatpåverkan, det vill säga utsläpp för allt material respektive typhus består av. Anledningen till att typhus II har en mindre klimatpåverkan än typhus I beror på ett antal skillnader mellan dem. Den främsta är naturligtvis olika konstruktioner. Då typhus II är utformat enligt passivhusstandard som ställer höga krav på energianvändning innebar det bland annat att värmeförlusterna genom klimatskalet minimerades. För att uppnå detta har typhus II en betydligt större mängd isolering i väggar, grund och tak än typhus I. Fönster och dörrar valdes med bättre U-värden. Konstruktionen var även mer lufttät för att minska transmissionsförlusterna genom luftläckage. Ventilation med återvinning genom ett FTX-system bidrog med större energibesparingar än vad ett frånluftssystem i typhus I gav. Alla dessa åtgärder innebar att typhus II hade en mindre energianvändning och därmed genererade ett mindre utsläpp än typhus I. Däremot är det rimligt att anta att utsläpp för typhusets konstruktion och alla ingående komponenter, som exempelvis ett FTX-system, är större i ett passivhus med tanke på en större mängd av material.

En brist i undersökningen gällande utformningen av typhuset var takkonstruktionen för typhus I samt grundkonstruktionen för typhus II. Takkonstruktionen för typhus I fick bara 120 mm isolering. Det valdes i början av undersökningen dels för att kunna simulera en medelgod BBR konstruktion, dels för att utformning av konstruktionen inte tycktes vara väsentlig för frågeställningen så länge konstruktionen i sig uppfyllde krav för primärenergitalet. Nu i efterhand är det tydligt att andra val kunde gjorts, med tanke på att isolering på taket är det minst besvärliga åtgärden att göra i ett hus och även i ett vanligt hus ska isoleringen vara högre än 120 mm för att behålla värmen. För grundkonstruktionen för typhus II kan man i stället argumentera att det valdes en för hög siffra, nämligen 600 mm isolering, än vad som är praxis för ett passivhus. Som det redan beskrevs i 3.2.2.2 brukar tillverkarna använda sig av 300–400 mm isolering. Återigen valdes 600 mm främst för att uppfylla det låga värmeförlusttalet för ett passivhus enligt FEBY18 Guld.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

En ytterligare brist i undersökningen var att många antaganden gjordes efter den värsta potentiella klimatpåverkan. Det berodde främst på att det ansågs att dessa antaganden var mest realistiska samt för att vara på den säkra sidan. Det kan dock anses att de här antagandena är för konservativa och på ett sätt ger ett vinklat resultat. Om vissa parametrar såsom emissionsfaktorer hade ändrats hade resultaten för den potentiella klimatpåverkan troligtvis gett andra slutsatser.

Värmepumpens verkningsgrad eller COP är större för typhus II än typhus I, oberoende vilket scenario som undersöktes i, i det här fallet scenario B och D. Värmepumpen som används för uppvärmning är mer effektiv i typhus II eftersom värmeförlusterna var mindre. Det berodde på en mer isolerad och mer lufttät konstruktion, där transmission- samt läckageförlusterna hade minimerats. Det gjorde att värmepumpen inte behövde förbruka lika mycket kWh el som i typhus I. En observation var att värmepumpens verkningsgrad är förhållandevis densamma i scenario B och D för respektive typhus trots att inget FTX-system fanns för typhus II i scenario D. En tolkning av resultatet var därmed att ventilation med återvinning inte har någon påverkan på verkningsgraden utan det är i stället mängden isolering samt konstruktionens lufttätethet. Här bör det dock nämnas att bergvärmepumpen som valdes var en av de bättre gällande prestanda i VIP programmet. Det kan ha bidragit till en mer energieffektiv byggnad och därav gett en mindre potentiell klimatpåverkan.

Hushållsel och fastighetsel togs med i scenario B och D främst för att göra en mer likvärdig jämförelse med nollfallet, d.v.s. scenario A. En annan anledning varför hushålls- och fastighetsel togs med var för att se hur scenario B samt D klarade av att upprätthålla samma funktion som nollfallet under en veckas off-grid. Här hade dock, i första hand för scenario B, kunnat argumenterats att värme med hjälp av den solcellsproducerade elen borde prioriterats i stället för att använda den åt fastighets- och hushållsel. Underskottet i scenario B hade eventuellt kunnat undvikas eller minskats betydligt om brukarna inte hade tillgång till hushålls- och fastighetsel. Den sista anledningen varför temperaturen inte sänktes var att en av frågeställningarna var att ta reda på om huset kunde upprätthålla inomhustemperaturen. Därav valdes det i slutändan att typhusen för scenario B och D skulle bidra med fastighets- samt hushållsel liknande nollfallet.

7.1.3 Systemgränser

Angående antagen livslängd samt systemgränser för solceller, batteri och kamin har flera förutsättningar antagits. För att ha ett mått på den funktion som alla scenarierna oberoende typhus ska leverera avgränsades den funktionella enheten till användning av en hel byggnad under en vecka. Mer specifikt motsvarar användningen att det går att bruka huset vilket i den här undersökningen valdes motsvara uppvärmningen av byggnaden som ska uppfyllas för varje scenario. Om den funktionella enheten i stället hade motsvarat uppvärmning och tillgång till fastighets- samt hushållsel hade scenario C inte klarat av att uppfylla den funktionella enheten. Det hade gjort att scenario D hade varit det bästa alternativet för off-grid ur ett värme- och potentiellt klimatpåverkanperspektiv.

Avgränsningar som gjordes i LCA beräkningar är bland annat att den potentiella klimatpåverkan beräknades för endast vissa moduler för respektive scenario. Dessutom uteslöts klimatpåverkan för själva byggnaden. I den ingår utsläpp för alla ingående material, både utvinning av råmaterial och produktion av färdiga byggprodukter och installationer, samt anläggning och byggnation av småhuset. Hade utsläpp för materialtillverkning och byggnation tagits med hade givetvis den totala potentiella klimatpåverkan för båda typhusen varit mycket högre. Däremot skulle klimatpåverkan för uppvärmning av husen vara oförändrad eftersom energibehoven är desamma.

Vidare valdes den geografiska avgränsningen av praktiska skäl till Skåne, mer specifikt Malmö, i stället för hela Sverige eftersom det för energiberäkningar förekommer olika förutsättningar beroende var i landet huset är placerat i. Det gjorde att resultat för den potentiella klimatpåverkan gällde specifikt för ett hus placerat i Malmöregionen. Om huset var placerat i exempelvis Norrland hade energibehovet under den värsta veckan varit avsevärt mycket större vilket hade ökat den potentiella klimatpåverkan. Å andra sidan om typhuset var placerat i andra delar av Europa, till exempel i Spanien, hade den värsta veckan med stor sannolikhet varit under sommaren och typhuset hade haft ett kylbehov vilket hade lett till att en kamin inte hade behövts.

De tidsmässiga avgränsningarna för beräkning av den totala potentiella klimatpåverkan valdes till både en vecka enbart och en vecka av energikällorna antagna livslängd. Eftersom klimatpåverkan undersöks för den värsta veckan har därmed allt utsläpp för respektive energikälla lagts under den veckan. Utöver det undersöktes även klimatpåverkan under en vecka av energikällornas antagna livstid. Anledningen att det valdes är att det är mer rimligt att kaminen, solceller och batteri nyttjas under hela sin livslängd, i det här fallet även före och efter den tid som husen är självförsörjande. Användningen av en vecka under energikällans livstid gjorde det även jämförbart med när typhusen är anslutna till elnätet.

7.1.4 Skillnader typhus och scenarier

Skillnaderna mellan de olika hustyperna och scenarierna var att scenario B, C och D var off-grid. Passivhus var alla typhus II oberoende scenario. Om det frånses att byggnaden är off-grid för scenario B typhus II, d.v.s. den solcellsel som produceras kan exporteras och köpas in vid behov utöver den lagrade energin, är byggnaden sett över hela året ett nära-nollenergihus. Byggnaden kan även kvalificeras som ett plusenergihus om exporten av solcellsel är större än den som behöver köpas in. Liknande scenario B kan typhus II scenario D, sett över ett helt år, räknas som ett plusenergihus om typhuset är anslutet till elnätet där import och export av el fungerar. Här bör det dock understrykas att det är solcellernas produktion som gör att huset kan kvalificeras som plusenergihus och inte vedeldning med kamin. Vedeldning med kamin behöver inte användas för scenario D om byggnaden är ansluten till elnätet utan det krävs bara när scenariot är off-grid. Scenario C kan inte, sett utöver ett helt år, ses som ett nära-nollenergi- eller plusenergihus eftersom en förnybar produktion av el saknas.

7.2 Slutsats

En slutsats var att passivhuset enligt FEBY18 Guld gav en genomsnittlig besparing på 390 kWh el under den värsta veckan för scenario A jämfört med typhuset enligt BBR.

En slutsats som kan dras var att scenario A, C och D klarade av att upprätthålla inomhustemperaturen under den veckan som undersöktes. Scenario C och D klarade av att upprätthålla inomhustemperaturen genom att vedeldning kunde uppfylla det underskott som uppkom främst från värmeförsörjning. Resultatet visade även att scenario B, enbart solceller och batteri, inte var optimalt för att leva off-grid eftersom det underskott som fanns gav upphov till en lägre inomhustemperatur än den önskade. Det gör att en alternativ energikälla krävs om temperaturen inte ska sjunka. I litteraturstudien som gjordes var ett av tipsen för att undvika problem vid off-grid just användningen av flera energikällor. Scenario B blev även det sämsta alternativet för off-grid ur potentiellt klimatpåverkanperspektiv.

Kaminernas lägre potentiella klimatpåverkan jämfört med solceller gör scenario C till det off-grid scenariot med lägst potentiell klimatpåverkan för uppvärmning av typhuset. Här bör det dock understrykas att scenario C till skillnad från scenario B och D inte hade tillgång till el. Scenario C gav även en potentiell klimatpåverkan genom transport och utvinning av ved som inte tillkommer vid förnybar energi genom solcellerna. Vedeldning bidrar, förutom potentiell klimatpåverkan, till ökad risk för exempelvis sjukdomar och hälsoproblem genom luftföroreningar som uppkommer vid förbränning av ved.

Trots att typhus II gav en mindre potentiell klimatpåverkan i alla scenarier jämfört med typhus I, blev slutsatsen att det inte direkt går att påstå att passivhuset var bättre ur klimatsynvinkel än BBR-huset i denna studie. Det beror bland annat på att konstruktionsmaterial som förekommer i större kvantiteter i typhus II än I var en betydande utsläppskälla som inte togs med i CO₂e beräkningar. I stället gällde detta för energikällornas utsläpp som i sin tur var baserade på det energibehov typhuset hade i varje scenario. Det går dock att påstå att ett passivhus gav en lägre potentiell klimatpåverkan för uppvärmning under en veckas användning jämfört med BBR huset. För att få en helhetsbild skulle därmed nästa steg i undersökningen exempelvis vara att räkna utsläpp för alla ingående material för respektive typhus. Det här har dock inte varit aktuellt i den här studien eftersom befintliga byggnader har antagits vilket gjorde att materials klimatpåverkan inte tagits i beaktning.

En slutsats som kan dras av studien var att det, ur ett potentiellt klimatpåverkanperspektiv, inte var rimligt att leva off-grid om möjligheten till att leva on-grid fanns. Dock bör det understrykas att en kamin eller kombinationen kamin samt solceller var ett alternativ för att leva off-grid under kortare perioder. Kaminen gav lägst klimatpåverkan men enbart uppvärmning kunde ske. Kamin och solceller innebar tillgång till en jämn uppvärmning samt solcellsproducerad el.

7.3 Framtida studier

I litteraturstudien om off-grid konceptet lyftes den ekonomiska aspekten, i en majoritet av exemplen, som den främsta anledningen varför småhusen valts till off-grid. Det valdes bort i den här i studien eftersom arbetet hade blivit för brett. Den ekonomiska aspekten har dock en stor betydelse vid utformning av småhus. I verkligheten hade det för varje scenario som definierats även gjorts en ekonomisk analys. Där hade bland annat kostnader jämförts för olika fall samt den långsiktiga lönsamheten beräknats. Exempelvis hade scenario B troligen inte varit lönsamt med tanke på en enorm mängd solceller som hade medfört stora utgifter. Dock skulle det vid ökade elpriser eventuellt kunna bli en lönsam investering om priserna ökar tillräckligt mycket. En jämförelse mellan ett frånlufts- och ett FTX system hade även gjorts. Meningen med FTX är bland annat att det ska spara energi, men för att skaffa själva FTX aggregatet innebär det en högre startkostnad. Dessutom tillkommer det även materialkostnader, speciellt för typhus II som har en större andel isolering än typhus I. Å andra sidan gav exempelvis arbets- samt materialkostnad för solceller och arbetskostnad för bergvärme rätt till ett ROT-avdrag vilket också skulle ingå i den ekonomiska analysen. Slutligen är det rimligt att anta att ett flertal av valen som gjordes i studien hade förmodligen varit annorlunda om den ekonomiska aspekten hade beaktats. Mycket av valen kring utformning beror förstås på brukaren och dess förutsättningar.

En möjlig framtida vidareutveckling av studien som valdes bort i början av arbetet var att undersöka typhus bestående av andra material och en annan konstruktion än enbart träregelhus, som exempelvis hampakalk. Anledningen att den valdes bort var de potentiella svårigheterna med att undersöka ett material som ännu inte är väl etablerad på den svenska marknaden. Det ansågs att det inte fanns samma behov och resultat att hämta i den här undersökningen. Även om det hade varit intressant att studera ett relativt nytt material som har stor potential att användas mer i framtiden fanns det en risk att det i arbetet blev för många olika alternativ och att den röda tråden förlorades. Träregelhus valdes då det är en konventionell byggteknik för småhus men nästa steg i studien skulle kunna vara att jämföra den tekniken med ett mer klimatvänligt byggmaterial som är på uppgång och hur det materialet skulle kunna klara energikrav och de olika scenarierna som undersöktes i studien.

En ytterligare intressant inriktning för studien hade varit användningen av andra typhus, exempelvis ett fritidshus eller ett flerbostadshus i stället för ett småhus som användes i studien. Resultatet hade troligen varit betydligt annorlunda eftersom storleken, kraven och behoven hade varit annorlunda. En stuga hade förmodligen haft ett mindre energibehov och därav gjort det betydligt enklare att verka som off-grid. Ett flerbostadshus hade nog bidragit till fler svårigheter kring utformning och otydlighet för resultatet gällande potentiell klimatpåverkan.

I en vidare studie hade det även varit intressant att se hur energisnåla produkter, exempelvis kyl och frys, skulle kunna påverka en byggnads möjligheter till off-grid.

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en
veckas självförsörjning

Slutligen hade undersökningen gällande potentiell klimatpåverkan för off-grid kunnat utökas till ett år i stället för enbart den värsta veckan. Det hade krävts en aning mer arbete men hade troligen gett ett annat resultat eftersom sommarhalvårets förutsättningar tas mer hänsyn till. Det hade även varit intressant att se hur energibehovet och den potentiella klimatpåverkan för ett typhus hade påverkats utefter geografiska förutsättningar. Exempelvis hade ett typhus i Norrland kunnat jämföras med ett typhus placerat i södra Sverige.

Referenser

Källor:

Andersson, R., Moberg, S., Larsson, J., Jusufovska, S., Holmqvist, J., Jennings, P. & Ekelund, B. (2022). *Byggnadsdesign med livscykelerspektiv*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

<https://www.ivl.se/download/18.5ae47fd818530c6f06017924/1674485915170/slutrapp-ort-byggnadsdesign-med-livscykelerspektiv.pdf> [2023-11-15]

Andrén, L. (2007). *Solvärmeboken*, Ica Bokförlag, Västerås: Forma Publishing Group AB

Andrén, L., Tirén, L. (2010) *Passivhus: En handbok om energieffektivt byggande*. Svensk Byggtjänst. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst

Bengtsson, A., Holm, E., Larsson, D., Karlsson, B. (2017). *Skuggningshandbok Design av solcellssystem för minimerad inverkan av skuggning*.

<https://energiforsk.se/media/28623/skuggningshandbok-energiforskrapport-2017-385.pdf>

Beyond the Grid Fund for Africa, *Bringing clean, affordable, off-grid energy access to millions*. <https://beyondthegrid.africa/> [2024-03-08]

Björklund, F. (2023). *Kan jag använda elbilens batteri som energilager?* Elinstallatören.

<https://www.elinstallatoren.se/2023/08/kan-jag-anvanda-elbilens-batteri-som-energilager/> [2024-03-08]

BMW of North America (2016). *NEW VEHICLE LIMITED WARRANTY 2017 BMW i3 & i8*. <https://juicedcar.com/wp-content/uploads/2018/12/2407724-BMW-17MY-i3-i8-Warranty.pdf>

Boverket (2017). *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår; BEN 2*. <https://rinfo.boverket.se/BFS2016-12/pdf/BFS2017-6.pdf>

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Boverket (2019a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2024-02-15]

Boverket (2019b). *Mer om byggvarudeklaration för byggprodukter (EPD)*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> [2024-02-15]

Boverket (2019c). *Metodval för LCA*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/metodval-for-lca/> [2024-02-26]

Bokverket (2019d). *Miljödata*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljodata/> [2024-02-15]

Boverket (2019e). *Redovisning av LCA*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/lca-i-byggprocessen/redovisning-av-lca/> [2024-02-15]

Boverket (2019f). *Så här görs en LCA*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/> [2024-02-15]

Boverket (2019g). *Vad visar en LCA?*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/vad-visar-en-lca/> [2024-02-15]

Boverket (2020a). *Klimatskärmens isolering – genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m* <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energiushallningskrav/klimatskarm/> [2023-11-13]

Boverket (2020b). *Konsoliderad version av Boverkets byggregler (Rapport BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4)*. Boverket.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2020/konsoliderad-bbr-2011-6-tom-2020-4.pdf>

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Boverket (2020c). *LCA i byggprocessen*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/lca-i-byggprocessen/> [2024-02-26]

Boverket (2020d). *Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader 2020:13*.

ISBN pdf: 978-91-7563-701-3 <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2020/utveckling-av-regler-om-klimatdeklaration-av-byggnader/> [2024-02-27]

Boverket (2020e). *Vad är Primärenergital?*

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energi-hushallning/vad-ar-primarenergital/> [2023-11-11]

Boverket (2022a). *Primärenergital och byggnadens energiprestanda*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energi-hushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/> [2023-11-11]

Boverket (2022b). *Verktyg för LCA*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/verktyg-for-lca/>

[2024-02-26]

Boverket (2023a). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/> [2023-11-05]

Boverket (2023b). *Dessa byggnader ska klimatdeklareras*.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/vilka-byggnader/ska-deklareras/> [2024-02-21]

Boverket (2023c). *Klimatdeklarationens omfattning*.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/> [2024-03-07]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Boverket (2023d). *Om Boverkets klimatdatabas.*

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>
[2024-03-07]

Boverket (2023e). *PBL och klimatdeklarationer.*

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/pbl-och-klimatdeklarationer/> [2024-02-21]

Boverket (2023f). *Slutredovisning av Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan och en utökad klimatdeklaration.* <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/nyheter/gransvarde-klimatpaverkan/> [2024-02-27]

Boverket (2023g). *Syftet med att klimatdeklarera byggnader.*

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/syfte/>
[2024-02-21]

Boverket (2023h). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn.*

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> [2023-11-05]

Boverket (2024). *Luft och ventilation i bostäder.*

<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/> [2024-02-29]

Boverkets Klimatdatabas (2024a). *Elektricitet, Svensk Elmix.*

(Version 02.05.000, 2024-01-25)

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/klimatdatabas/>
[2024-02-29]

Boverkets klimatdatabas (2024b). *Solcell.* (Version 02.05.000, 2024-01-25)

<https://klimatdatabasen.boverket.se/sok/solcell> [2024-03-21]

Bygghemma (u.å.). *Ytterdörr Br. Johansson SY202 Klarglas.*

<https://www.bygghemma.se/hus-och-bygg/dorrrar-och-portar/ytterdorrrar/enkelytterdorr/ytterdorr-br-johansson-sy202-klarglas/p-662450>
[2023-02-22]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Chevrolet (u.å.). *Important Information*. <https://www.chevrolet.com/important-information>. [2024-04-04]

Dickson, S. Gick ”off-grid” – slipper dyra elräkningar. *Svenska Dagbladet Näringsliv*, 19 april 2019.

<https://www.svd.se/a/2GpOVa/gick-off-grid-slipper-dyra-elrakningar> [2024-03-07]

Emilsson, E. & Dahllöf, L. (2019). *Lithium-Ion Vehicle Battery Production*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

<https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3faf9/1591706083170/C444.pdf>

Emrahus (2023). *Passivhus och energihus – bara sunt förnuft*.

<https://www.emrahus.se/passivhus/> [2023-11-17]

Energimyndigheten (2010), *Välj rätt värmepump*

<https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=104247>

Energimyndigheten (2016). *Braskaminer*

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/tester/tester-a-o/braskaminer/> [2024-02-28]

Energimyndigheten (2019). *Det här ingår i en solcellsanläggning*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/det-har-ingar-i-en-solcellsanlaggning/> [2023-11-17]

Energimyndigheten (2021a). *Så undersöker du förutsättningarna för sol*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/> [2023-11-15]

Energimyndigheten (2021b). *Vindkraftens resursanvändning*.

https://www.energimyndigheten.se/48ff35/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning_slutversion-20210127.pdf [2024-02-28]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Energimyndigheten (2022a). *Energieffektiva fönster och dörrar*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/fonster-dorrrar/>
[2023-11-17]

Energimyndigheten (2022b). *Energieffektiv ventilation*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/ventilation/>
[2023-11-17]

Energimyndigheten, (2023a). *Antalet solcellsanläggningar fortsätter att öka*.

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/antalet-solcellsanlaggningar-fortsatter-att-oka/> [2023-11-30]

Energimyndigheten (2023b). *Minskad elanvändning under 2022*

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/minskad-elanvandning-under-2022-i-sverige/> [2023-11-05]

Energimyndigheten (2023c). *Växthusgasutsläpp från vindkraft*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/elproduktion/vindkraft/kunskap-och-data/faktablad/vaxthusgasutslapp-fran-vindkraft/> [2024-02-27]

Energimyndigheten (2024). *Koppla batterier till solcellerna*.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/hur-stor-anlaggning-passar-mig/batterier-kopplat-till-solceller/> [2024-03-04]

Energimyndigheten (u.å). *Energistatistik för småhus 2022*

https://www.energimyndigheten.se/4913f5/globalassets/statistik/officiell-statistik/statistikprodukter/energistatistik-i-smahus/tabeller/rapport_smh_2022.xlsx

Energi&Miljö (2017). *Åtta år med första plusenergihuset*. <https://www.energi-miljo.se/atta-ar-med-forsta-plusenergihuset/> [2024-05-15]

Europeiska rådet (2023). *55 %-paketet*.

<https://www.consilium.europa.eu/sv/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> [2023-11-12]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

FEBY – Forum för Energieffektivt Byggnade (2024). *Kravspecifikation för energieffektiva byggnader – Bostäder och lokaler*. <https://www.feby.se/files/2019-01/kravspecifikation-feby18.pdf>

FEBY – Forum för Energieffektivt Byggnade (u.å.). *Kriterier*. <https://www.feby.se/Kriterier> [2024-02-27]

Föreningen & Tidningen Skogen (u.å.). *Omföringstabell för kubikmetermått*. <https://www.skogen.se/skogssverige/omvandlare/> [2024-03-19]

Hegger, M., Fafflok, C., Hegger, J., Passig, I., (2016). *Aktivhaus - The Reference Work: From Passivhaus to Energy-Plus House*. <https://www-degruyter-com.ludwig.lub.lu.se/document/doi/10.1515/9783038214861/html>

Hemming, S. (2023). *Lönsamhet för solcells batterier: Återbetalningstid för batteri till solceller 2024*. Hemsol. <https://hemsol.se/solceller/solcells batteri/lonsamhet/> [2024-03-04]

Hojková, K., Sandèn, B., & Ahlborg, H. (April 2018). Three electricity futures: Monitoring the emergence of alternative system architectures. <https://eds-p-ebscohost-com.ludwig.lub.lu.se/eds/detail/detail?vid=16&sid=1fb2902c-5335-4814-a3b4-116e8fd412dc%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVpZCZzaXRIPWVky1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=edselc.2-52.0-85040791665&db=edselc> [2024-03-07]

Hyundai USA. (u.å.). *America's Best Warranty*. <https://www.hyundaiusa.com/us/en/assurance/america-best-warranty> [2024-04-04]

IVL Svenska miljöinstitutet (u.å.). *Byggsektorns miljöberäkningsverktyg*. <https://www.ivl.se/projekt/byggsektorns-miljoberakningsverktyg.html> [2024-02-25]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

IVL Svenska Miljöinstitutet (2020). *Beräkning av klimatutsläpp från tjänsteresor och övrig bränsleanvändning.*

<https://www.naturvardsverket.se/link/6e4a301aa9094cf1845b997b29ea565d.aspx>
[2024-03-26]

Liss, J-E (2005). *Brännved-energiinnehåll i några olika trädslag.* Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik. Högskolan Dalarna.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:522819/fulltext01.pdf>

Martín-Gamboa, M., Dias, L.C., Quinteiro, P., Freire, F., Arroja, L. & Dias, A.C., (2019). Multi-Criteria and Life Cycle Assessment of Wood-Based Bioenergy Alternatives for Residential Heating: A Sustainability Analysis. *Energies*. 12(22), s. 6.

<https://doi.org/10.3390/en12224391>

Mather, C. Lessons From OFF-GRID LIVING. *Mother Earth News*. Issue 266, p26-29. 4p. Oct/Nov2014.

<https://eds-p-ebcsohost-com.ludwig.lub.lu.se/eds/detail/detail?vid=5&sid=271cbc94-5459-4bfc-8923-75ba6c49f2f3%40redis&bdata=JkF1dGhUeXB1PWlwLHVpZCZzaXR1PWVkcylsaXZlJnNjb3B1PXNpdGU%3d#AN=98000421&db=a9h> [2024-03-07]

Mikusinska, M. (2020). *Klimatpåverkan från närproducerat laminerat glas i Sverige jämfört med motsvarande importerad produkt.* Örebro Vatten och Miljö, Sweco,

Svensk Planglasförening (SPF) https://svenskplanglas.se/wp-content/uploads/2020/09/Rapport-klimatpaverkan_Laminerat-glas_2020-09-07.pdf

[2024-03-12]

Morups (u.å-a). *Fast fönster.* <https://morups.se/produkter/vara-fonster/fast-fonster/>
[2023-02-22]

Morups (u.å-b). *Sidohängt fönster.* <https://morups.se/produkter/vara-fonster/sidohangt-fonster/> [2023-02-22]

Nationalencyklopedin (2023a). *Passivhus.* <http://www-ne-se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/passivhus> [2023-11-11]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Nationalencyklopedin (2023b). *Solfångare*.

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/solfångare> [2023-11-16]

Nationalencyklopedin (2023c). *Solvärme*.

<http://www.ne.se/ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/solvärme>
[2023-11-17]

Naturvårdsverket (2023a). *Elda med Ved i kamin, spis och ugn*.

<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/vedeldning/elda-med-ved-i-kamin-spis-och-ugn/> [2024-02-29]

Naturvårdsverket (2023b). *Klimatet och bygg- och fastighetssektorn*.

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimat-och-bygg--och-fastighetssektorn/> [2024-04-18]

Naturvårdsverket (u.å.). *Biogena koldioxidutsläpp och klimatpåverkan*.

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimat-och-skogen/biogena-koldioxidutslapp-och-klimatpaverkan/> [2024-03-07]

Panadero (u.å.), *CONDOR 3V*. <https://panadero.com/sv/produkt/condor-3v/> [2024-03-20]

Pelletsförbundet (u.å.), *Pelletsprisindex*

<https://pelletsforbundet.se/om-pellets/statistik/pelletsprisindex/> [2023-11-30]

Pilkington Group Ltd (2017). *Pilkington Spectrum*. (version 3.3.10+5ecc87d6fe). [App]

Hämtad från <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nsg.spectrum&hl=en>
[2024-03-14]

Rais (u.å.). *Guide: Så väljer du rätt braskamin*. <https://www.rais.com/se/inspiration/rad-och-vaegledning/guide-sa-valjer-du-ratt-braskamin> [2024-03-20]

Richa, K., Babbitt, C W., Gaustad, G., Wang, X. 2014. *Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure*. Volym 83. Rochester: Elsevier, s. 53-62

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

[https://www.sciencedirect-com.ludwig.lub.lu.se/science/article/pii/S0921344913002541/pdf?md5=da6b4de5740d57924acc5414811a9cd0&pid=1-s2.0-S0921344913002541-main.pdf](https://www.sciencedirect.com.ludwig.lub.lu.se/science/article/pii/S0921344913002541/pdf?md5=da6b4de5740d57924acc5414811a9cd0&pid=1-s2.0-S0921344913002541-main.pdf)

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

SMHI (2023). *Klimatindikator – solinstrålning*.

<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/stralning-1.17841>
[2023-11-16]

S-Solar. (2010) Solenergi 2010, *Guidelines och tekniska anvisningar – professional edition*.

Statistiska Centralbyrån [SCB] (2023). *Boende i Sverige*.

<https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/boende-i-sverige/#de-flesta-personer-bor-i-smahus> [2024-03-13]

Statistiska centralbyrån [SCB] (u.å.). *Elhandelspriser på elenergi efter avtalstyp, elområde, kundkategori och månad*. <https://www.statistikdatabasen.scb.se/sq/147634>
[2023-12-01]

Takcentrum (2015). *PIR Isolering – högeffektiv isolering för alla typer av konstruktioner*. <https://www.takcentrum.se/produkter/pir-isolering/> [2023-04-30]

Tesla (u.å.). *Vehicle Warranty*. <https://www.tesla.com/support/vehicle-warranty>
[2024-04-04]

The Norwegian EPD Foundation (2023). *Mono-crystalline Double glass, N-Type, solar photovoltaic modules*. The International EPD System.

<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/f09a7942-cb32-4118-5353-08dc2e3a662b/Data>

Tillväxtanalys (2018). *Metaller och deras betydelse för produkters klimatavtryck*. <https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f1c3c1/1586366166371/Metaller> [2024-03-12]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Träguiden (2017). *Lufttätet och tryckförhållanden*.

<https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/varmeisolering-och-lufttathet/varmeisolering-och-lufttathet/lufttathet-och-tryckforhallanden/> [2023-11-17]

Träguiden (2021). *Anslutning mot mellanbjälklag*.

<https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/vaggar/icke-barandeyttervagg/anslutning-mot-mellanbjalklag/> [2023-11-17]

USAID From the American people. *Beyond the Grid*.

<https://www.usaid.gov/powerafrica/beyondthegrid> [2024-03-08]

Vattenfall AB (2022a). Appendix: Results for the Nordic Wind Power. The International EPD System.

<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/22aa7947-00ac-42ae-cd8b-08d9df0ea78f/Data>

Vattenfall AB (2022b). *Därför är elpriserna så höga*.

<https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/varfor-ar-elpriset-sa-hogt/> [2023-11-29]

Vattenfall AB (2022c). *Electricity from Vattenfall's wind farms*. The International EPD System.

<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/487ba9dd-8cca-4c17-cd8a-08d9df0ea78f/Data>

Vattenfall AB (2022d). *Så rustade oljekrisen oss för dagens omställning*.

<https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/sa-rustade-oljekrisen-oss-for-dagens-omstallning> [2023-11-29]

Vattenfall AB (2023a). *EPD® of Electricity from Vattenfall's Nuclear Power Plants*. The International EPD System.

<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/650518ba-a85c-47de-159b-08daf357f6d4/Data>

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en veckas självförsörjning

Vattenfall AB (2023b). *Summary: EPD® of Electricity from Vattenfall's Nuclear Power Plants*. The International EPD System.

<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/bec4bb07-534e-49d8-159c-08daf357f6d4/Data>

Vattenfall AB (u.å.). *Planerarens dilemma*.

<https://historia.vattenfall.se/stories/hela-sverige-bliir-elektriskt/planerarens-dilemma>
[2023-11-29]

Villa Varm (2023). *Villa Varms isolerade väggar och tak*.

<https://www.villavarm.se/lagenergihus/vaggar-och-tak/> [2023-11-17]

VIP Energy (u.å.). *MANUAL VERSION 4 och 5*.

<https://www.vipenergy.net/Manual.htm>
[2024-04-18]

Volkswagen (u.å.). *2016 e-Golf Press Kit*. <https://media.vw.com/en-us/press-kits/2016-e-golf-press-kit> [2024-04-04]

Wahlström, A. *Går det att leva off-grid?* Vattenfall. (2021)

<https://www.vattenfall.se/fokus/trender-och-innovation/kan-vi-leva-off-grid/> [2024-03-07]

Warfinge, C. & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. 1:19 uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Westin, P. (2007). *Hushålls och energibeteende: En rapport om energi och miljömål*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (Elektronisk).

<https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=104028>

Figurer/bilder:

Boverket (2019a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2024-02-15]

Boverket (2019b). *Vad visar en LCA?*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/vad-visar-en-lca/> [2024-02-15]

Boverket (2020). *LCA i byggprocessen*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/lca-i-byggprocessen/> [2024-02-26]

Energimyndigheten (2022). *Energieffektiv ventilation*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/ventilation/>
[2023-11-17]

Energimyndigheten (2023). *Minska behovet av värme och varmvatten*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/> [2023-11-18]

FEBY – Forum för Energieffektivt Byggande (2018). *Värmeförlusttal som komplement till energiprestanda*. <https://www.feby.se/files/rapporter/vitbok-vft.pdf>

SGU, Sveriges geologiska undersökning. Daniel, E., Malmberg Persson, K. & Persson, M., 2000: *Skånes jordarter, Ba 55*.

<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/ba/ba55karta/ba55-karta.pdf>

SMHI (2017). *Normal globalstrålning under ett år*.

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/stralning/normal-globalstralning-under-ett-ar-1.2927> [2023-11-16]

SMHI (2023a). *Klimatindikator – solinstrålning*.

<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/stralning-1.17841>
[2023-11-16]

En undersökning av ett hus energibehov och potentiella klimatpåverkan under en
veckas självförsörjning

SMHI (2023b). *Klimatindikator – solinstrålning*.

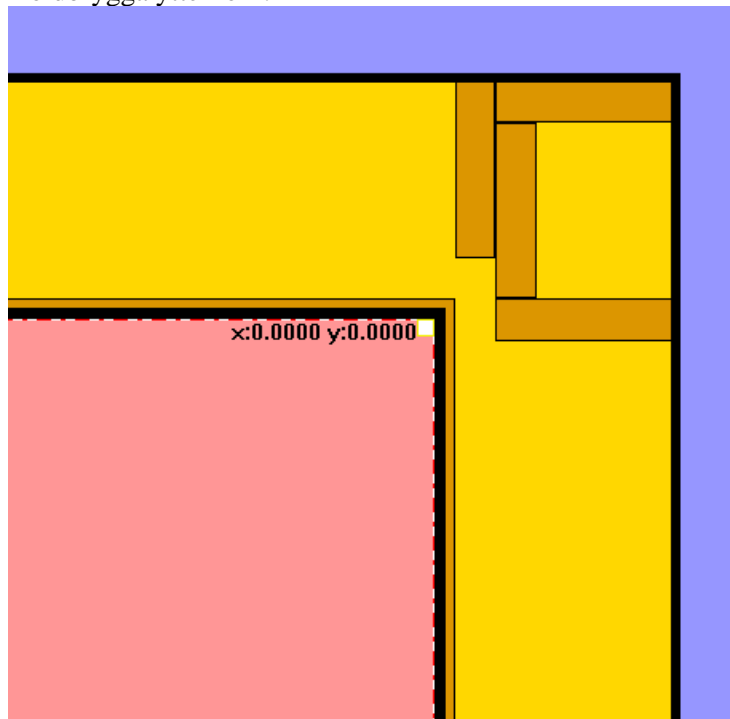
<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/stralning-1.17841>

[2023-11-16]

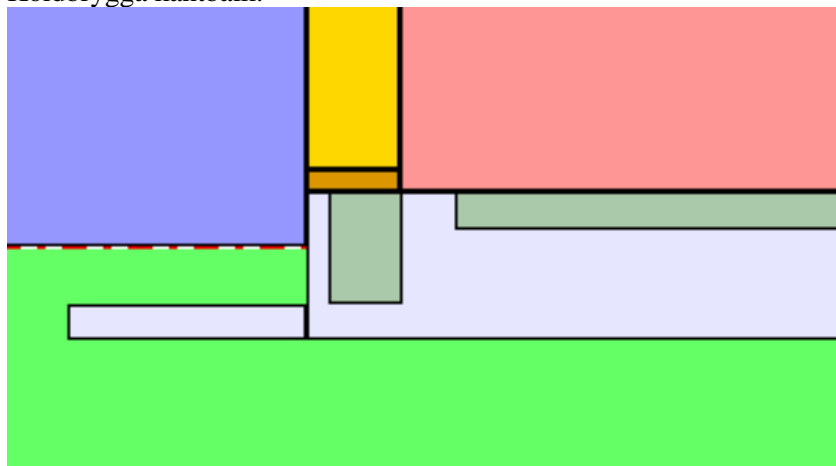
Bilaga A. Köldbryggor för Typhus I

Figureerna nedan visar köldbryggorna som har byggts upp i programmet VIP Energy för typhus I. I figuren motsvarar rosa – inne, svart – gipsskiva, brun – trä, mörk- respektive ljusgul – mineralull, lila/blå – ute, olivgrön – betong, ljusgrön – mark samt grå – cellplast.

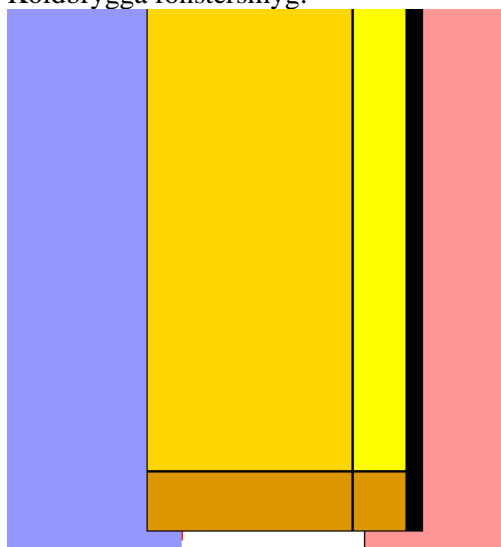
Köldbrygga ytterhörn:



Köldbrygga kantbalk:



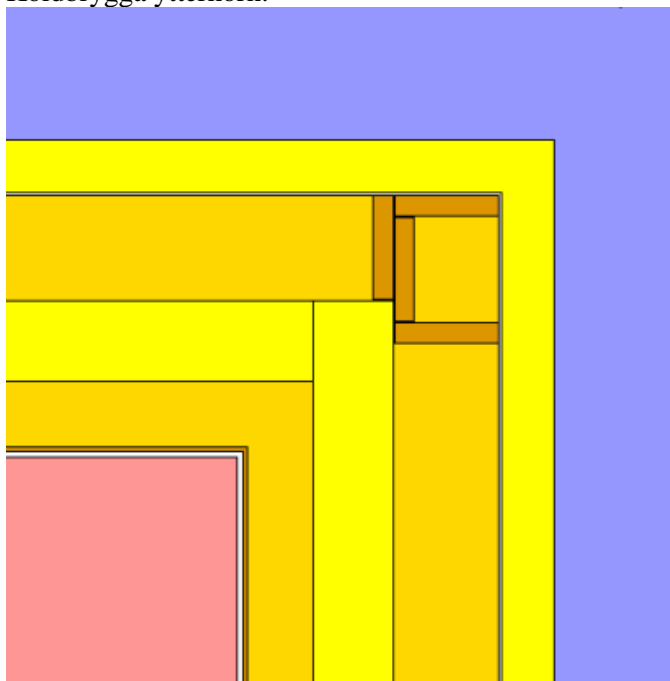
Köldbrygga fönstersmyg:



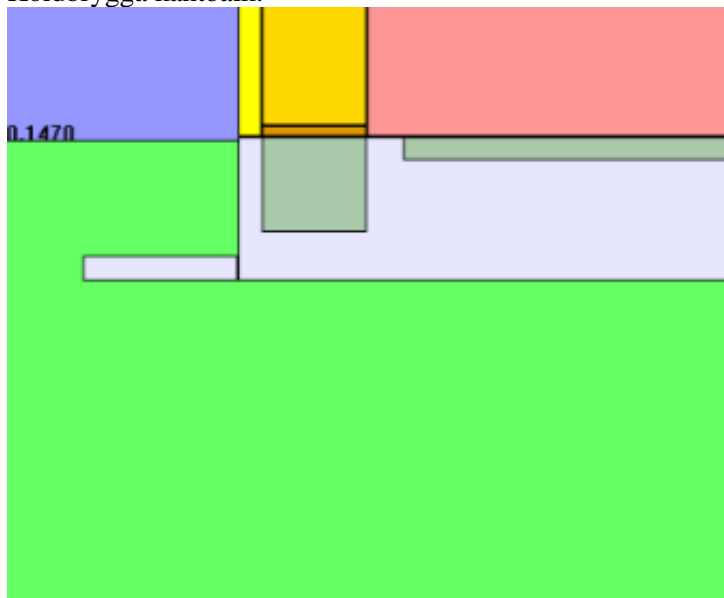
Bilaga B. Köldbryggor för Typhus II

Figureerna nedan visar köldbryggorna som har byggts upp i programmet VIP Energy för typhus II. I figurerna motsvarar rosa – inne, vit – gipsskiva, brun – trä, mörk- respektive ljusgul – mineralull, lila/blå – ute, olivgrön – betong, ljusgrön – mark samt grå – cellplast.

Köldbrygga ytterhörn:



Köldbrygga kantbalk:



Köldbrygga fönstersmyg:

