

Hållbar och energieffektiv utformning av en ekoby

- Analys och jämförelse mellan olika byggnadsmaterial, ventilations- och energisystem för utformningen av bostadshus i en ekoby.

Sunisa Knutsson
Sissa Svensson



LUNDS
UNIVERSITET

Hållbar och energieffektiv utformning av en ekoby

- Analys och jämförelse mellan olika byggnadsmaterial, ventilations- och energisystem för utformningen av bostadshus i en ekoby.

Sunisa Knutsson
Sissa Svensson

Examensarbete

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

© Sunisa Knutsson & Sissa Svensson

ISRN LUTVDG/TVBH—21/5110—SE(73)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

Denna rapports syfte var att studera och ge förslag om hur en framtida ekoby kan byggas med hänsyn till energihushållning och miljöpåverkan. Studien undersökte R:ekoby, ett projekt vars mål var att bygga en ekoby i Röstånga. Olika förslag togs fram från föreningen, inblandade experter och examensarbetare. Undersökningen var baserad på ett radhus från Koncept B som var ett av tre konceptförslag framtagna från FOJAB Arkitekter. Målet med detta examensarbete var att utifrån undersökning av byggnadsteknik, byggnadsmaterial, ventilations- och energisystem komma fram till det mest optimala lösningsalternativet som främjade ekobyens utveckling. Olika alternativ vad gällde byggnadsskal och relevanta VVS-installationer togs fram i syftet att jämföra dess klimatpåverkan.

De framtagna alternativen inom byggnadsmaterial var stommaterial i trä, betong, lätt betong och stål. Värmeisoleringsmaterialen var uppdelade mellan biobaserade och mineralull. Grundalternativet som användes var platta på mark och stod mellan betonggrund och Koljern-teknik (foamglas). För att underlätta valen gjordes en enkät som skickades ut till föreningen för deras synpunkter. Därefter undersöktes de mest populära alternativen, vilket visade sig vara träregelvägg med biobaserade värmeisoleringsmaterial och Koljern-teknik i grunden.

Byggnadens energibehov, termisk komfort och andra energirelaterade faktorer var framtagna med hjälp av modelleringsprogrammet IDA ICE. För att minska tidsåtgången studerades enbart ett radhus från Koncept B. Radhuset bestod av tre lägenheter med total uppvärmd golvarea på cirka 242 kvadratmeter. De olika ventilationssystem som simulerades var F-system och FTX-system. Uppvärmningssystem som studerades var frånluftvärmepump, bergvärmepump, pyrolysis, fjärrvärme och solceller. Totalt simulerades fem alternativ vid undersökningen av byggnadsmaterial och nio alternativ togs fram vid undersökningen av ventilation- och uppvärmningssystem.

För att få fram och jämföra de olika alternativens miljöpåverkan sett ur deras livscykel-perspektiv användes verktyget Renobuild. Uppvärmningssystemens miljöpåverkan togs fram med hjälp av emissionsfaktorer baserade på litteraturstudier. Resultaten på miljöpåverkan och energiförbrukningen presenterades genom den funktionella enheten i två olika miljöpåverkanskategorier. Det första kategori presenterade resursanvändningen i enheten $\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år, och det andra presentade växthusgasutsläppet i gram CO_2 -ekvivalent/ $\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ och år. Resultaten som erhöles av denna undersökning visade på att det bästa alternativet, sett ur miljöperspektivet var en byggnad med biobaserade byggnadsmaterial och Koljern-teknik i grunden. Studien visade på att hampafiberisolering var det miljövänligaste alternativet med lägst koldioxidutsläpp jämfört med cellulosafiber-, träfiber- och mineralullsisolering. Inom grundundersökningen visade Koljern-teknik med foamglas på en bättre miljöprestanda än betong med cellplast.

Vid undersökningen mellan de olika ventilationssystemen visade FTX-systemet på enorm energibesparing då byggnadens energibehov minskade från cirka 25 000 kWh/år till 18 600 kWh/år efter installeringen. Ur energihushållningsperspektivet var en byggnad med FTX-system och bergvärmepump i kombination med solceller det bästa alternativet. Kombinationen hade det lägsta primärenergitalet, i detta fall 45 kWh/m² A_{temp}, år jämfört med det sämsta fallet som hade 87 kWh/m² A_{temp}, år som försörjs med fjärrvärme och hade F-system som ventilationssystem. Samma bästa alternativ gällde vid undersökningen av energisystemets miljöbelastning då lösningsalternativet hade det lägsta koldioxidutsläppet som låg på 333 g CO₂/m² A_{temp}, år då bergvärmepumpen hade sin ursprungsel från Svensk elmix.

De olika utformningskombinationerna hade en stor påverkan på byggnadens slutgiltiga energiprestanda och koldioxidavtryck. Slutsatsen som drogs gällande materialvalen var att det ekologiska fotavtrycket blev mindre när biobaserade material användes i byggnaden. Det rekommenderas att göra materialvalen redan i tidigt skede då valen kommer till att påverka slutresultaten, både i form av byggnadens energianvändning och koldioxidutsläpp. Vidare lönade det sig miljömässigt att använda effektiva bergvärmepumpar i kombination med solceller jämfört med eget värmenät i kombination med solceller. Att kombinationen var ett bättre alternativ i denna undersökning var bland annat att solelen kunde direkt utnyttjas för att täcka driften av både värmepumpens och FTX-systemets komponenter.

Nyckelord: ekoby, hampafiber, Koljern-teknik, energisystem, värmepump, bergvärme, pyrolysis, ventilationssystem, livscykelanalys, funktionella enheten, emissionsfaktor.

Abstract

The study done in this thesis was based on a planned eco village in Röstånga, Sweden. The aim of the study was to find a solution into which energy- and ventilation systems that were sustainable and had the least environmental impact in combinations with each other and the chosen building materials. This has been done through literature studies, simulations and life cycle analysis based on those three parameters. Different scenarios were chosen with a wooden framed structure where the foundation and thermal insulation changed. The conclusion based on materials showed that Hemp fiber isolation together with the Koljern technology made of foamglas and thin steel was the most sustainable choice. The ventilation- and energy systems examined were exhaust air systems, exhaust air heat pump, air handling unit with heat recovery, geothermal heat pump, pyrolysis, district heating and photovoltaic. These were simulated in different combinations and the conclusion showed that an air handling unit with heat recovery together with a geothermal heat pump and photovoltaics had the least amount of carbon dioxide equivalents as well as it needed the least amount of delivered energy.

Keywords: Eco village, hemp fiber, Koljern technique, energy systems, heat pump, geothermal heat pump, pyrolysis, ventilation systems, life cycle analysis, the functional unit, emission factor.

Förord

Som avslutning på vår utbildning valde vi att studera om ämnen som vi både hade djupa intressen i, hållbart byggande och energihushållning. Vi hade stora värderingar när det kom till hållbart byggande som har blivit ett av dagens avgörande huvudämne inom byggbranschen. Eftersom vi delade våra värderingar med ekobyns förening kände vi oss utmanade att undersöka flera möjligheter inom energieffektiv utformning. Vi båda som författade detta examensarbete kände oss tacksamma av all hjälp och vägledning som vi har fått av vår handledare Petter Wallentén. Vi vill tacka honom för hans tålamod och engagemang som han har visat under hela examensarbetsgång. Vidare vill vi rikta ett stort tack till Christian Stenqvist och Göran Sarnér som varit våra kontaktpersoner till Röstånga Ekoby och en stor hjälp under stora delar av arbetet. Vårt examensarbete hade heller inte blivit så finslipad utan lysande idéer och tips av Sara Ericsson och Helena Bülow-Hübe från FOJAB Arkitekter. Tills sist vill vi tacka vår examinator, Mikael Lantz för alla värdefulla kommentarer och råd.

Helsingborg, juni 2021

Sunisa Knutsson & Sissa Svensson

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT.....	III
FÖRORD.....	IV
1 INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	2
1.3 METOD OCH AVGRÄNSNING	2
2 TEORI OCH LITTERATURSTUDIER	5
2.1 EKOBY.....	5
2.2 LIVSCYKELANALYS OCH BERÄKNING AV MILJÖPÅVERKAN	5
2.2.1 Funktionella enheten	6
2.2.2 Emissionsfaktor	6
2.3 BYGGNADSMATERIAL	7
2.3.1 Byggnadsmaterialens miljöpåverkan.....	7
2.3.2 Stommaterial	7
2.3.3 Grundmaterial.....	9
2.3.4 Värmeisoleringsmaterial.....	10
2.3.5 Fasadmaterial	12
2.3.6 Taktäckningsmaterial	13
2.4 UTFORMNING.....	13
2.4.1 Fönster	13
2.4.2 Förutsättning för solex.....	14
2.5 VENTILATIONSSYSTEM	14
2.6 ENERGI OCH VÄRME.....	16
2.6.1 Värmeeffekt- och energibehov.....	16
2.6.2 Byggnadens energiprestanda och regelverk.....	16
2.6.3 Energikällor och energianvändning	17
2.7 ENERGISYSTEM	19
2.7.1 Värmepump	19
2.7.2 Frånluftsvärmepump	19
2.7.3 Bergvärmepump	20
2.7.4 Fjärrvärmesystem	21
2.7.5 Biobränslepanna med pyrolysis.....	22
2.7.6 Solceller.....	23
3 METOD.....	26
3.1 KONCEPT B	26
3.2 PARAMETERSTUDIER	27
3.3 ENERGIBERÄKNING & BYGGNADSSIMULERING	27
3.4 LIVSCYKELANALYS METODIK.....	28
3.5 EXAMENSARBETETS UPPLÄGG	29

4	UTFORMNING AV RADHUSET	31
5	RESULTAT OCH ANALYS.....	33
5.1	MATERIALKOMBINATIONER	33
5.2	BYGGNADENS ENERGIPRESTANDA	33
5.3	BYGGNADENS MILJÖPÅVERKAN	37
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	41
6.1	SLUTSATS.....	44
	REFERENSER	45
	BILAGOR	51
	BILAGA A: PRODUKTDEKLARATION FOAMGLAS T3+	51
	BILAGA B: GRUNDKONSTRUKTION AV FOAMGLAS	52
	BILAGA C: SAMMANSTÄLLNING AV SVAR FRÅN R:EKOBY BYGGNADSMATERIAL ENKÄT	53
	BILAGA D: RENOBUILD INDATA	56
	BILAGA E: SOLEL PRODUKTION	57
	BILAGA F: MATERIALKOMBINATIONER OCH DESS UPPBYGGNAD	58
	BILAGA G: BERÄKNING AV SAMMANSATTA MATERIAL	60
	BILAGA H: BERÄKNING KÖPT ENERGI & MILJÖPÅVERKAN	61
	BILAGA I: BERÄKNING AV PRIMÄRENERGITAL	62
	BILAGA J: VÄRMEÅTERVINNING HOS VENTILATIONSSYSTEM.....	63

1 Inledning

De svenska byggnaderna står för cirka 40 % av Sveriges totala energianvändning. På grund av den höga siffran inom byggbranschen krävs det långsiktiga forskningsbehov inom energiområdet för att främja hållbart byggande. Energianvändningen går främst till el och uppvärmning, därför bör uppvärmningssystemen effektiviseras. Dessutom står de svenska byggnaderna för en femtedel av det totala växthusgasutsläppet ur ett livscykelperspektiv (Naturvårdsverket, 2020).

Energimyndigheten har formulerat sex övergripande områden för forskning och ett av de berör resurseffektivitet och hållbar bebyggelse som även är kopplade till människans energiutnyttjande och energianvändning. Det innebär bland annat att använda sig av livscykelperspektiv vid bedömning av byggnadens miljöpåverkan samt att ta hänsyn till ekosystemtjänster i byggandet. Förutom det skall användning av energi, mark, vatten och andra resurser ske på ett effektivt och miljöanpassat sätt för att i framtiden kunna främja förnybara energikällor (Boverket, 2020a). Undersökningsobjektet i detta examensarbete var ett radhus från ett ekobyprojekt i Röstånga. Det framtida radhuset undersöktes gällande dess energianvändning, byggnadsskal och miljöpåverkan.

1.1 Bakgrund

Examensarbetet kommer att utgå ifrån R:ekoby i Röstånga som vill bygga en hållbar ekoby. R:ekobyn är ett projekt som styrs av en förening på ett 20-tal personer som är intresserade i olika delar av miljö och hållbarhetslära. Deras mål är att producera ca 30 bostäder och bli självförsörjande och har fokus i en gemenskap. I förstudien till projektet har föreningen ett partnerskap med FOJAB arkitekter. FOJAB arkitekter har tagit fram tre byggnadsförslag där utformningen av Koncept B valdes att använda i denna studie.

Som bakgrund till examensarbetet finns ett tidigare examensarbete av Johanna Eriksson (2019) som undersökte fyra olika scenarier och energisystem inom parametrarna ekonomi och klimatpåverkan. Grundfallet i studien var en värmepump och när andra system lades till såsom solceller, batteri och vätgaslager ökade både klimatpåverkan och kostnaden.

För att begränsa miljöpåverkan baserat på nutidens hållbarhetsperspektiv kommer examensarbetet att baseras på 4 av de 17 FN:s globala mål för hållbar utveckling (FN:s utvecklingsprogram, u.å.) som anses beröra byggsektorn.

- Mål 7-Hållbar energi för alla
- Mål 11-Hållbara städer och samhällen
- Mål 13-Bekämpa klimatförändringarna
- Mål 15-Ekosystem och biologisk mångfald

Hållbar energi för alla handlar om att alla ska ha tillgång till rena bränslen och hållbar, tillförlitlig och förnybar energi. För att klara av att möta flera av världens utmaningar såsom klimatförändringar, tillväxt och fattigdom är hållbar energi en utgångspunkt för

att detta ska ske. Efterfrågan av el förväntas att öka samtidigt som fossil energi står för en stor del av utsläppen av växthusgaser, men ett sätt som detta kan förbättras är på sättet energin produceras och konsumeras (FN:s utvecklingsprogram, 2021a).

Hållbara städer och samhällen innehåller bland annat målen att minska städernas miljöpåverkan, inkluderande och hållbar urbanisering samt skapa säkra och inkluderande grönområden för alla. Hälften av världens befolkning bor i urbana områden och andelen ökar. Även om det finns positiva effekter av urbanisering med ekonomisk tillväxt finns det negativa konsekvenser av den snabba urbaniseringen som ökande sociala klyftor och påfrestningar på ekosystemet (FN:s utvecklingsprogram, 2021b).

Bekämpa klimatförändringarna är ett mål som påverkar alla. När växthusgasernas utsläpp ökar, stiger också den genomsnittliga temperaturen globalt vilket får konsekvenser för bland annat vattentillgång, ekosystemet, haven och hälsan. Genom att genomföra nödvändiga förändringar för planetens säkerställande främjar det också hela världens välbefinnande (FN:s utvecklingsprogram, 2021c).

Ekosystem och biologisk mångfald går ut på att stödja en hållbar användning av ekosystemen. Genom främjande av hållbar användning av världens naturresurser utan att skada den biologiska mångfalden får arter en chans att överleva (FN:s utvecklingsprogram, 2021d).

1.2 Syfte och Mål

Arbetet utgick från att undersöka möjlighet att göra en hållbar och energieffektiv utformning av bostadshus. Syftet med denna studie var att analysera och jämföra lösningsalternativ för bostadshus bestående av olika byggnadsmaterial samt ventilations- och energisystem. Syftet var även att fastställa det optimala alternativet ur energi- och miljösynpunkt.

1.3 Metod och avgränsning

Detta examensarbete var baserat kring en fallstudie som studerades med hjälp av flera parameterstudier. Systemgränsen var ett radhus med tre lägenheter (se Figur 4). Byggnadens utformning, materialval och ventilations- och energisystem studerades. Ett antal antagande om energiförsörjning gjordes i syftet att jämföra energisystemens miljöpåverkan. Byggnaden energisimulerades vid undersökningen av energirelaterade egenskaper. Vidare gjordes förenklade livscykelanalyser av byggnaden och dess uppvärmningssystem.

Studien var baserad på den framtida ekobyens förslag på energieffektivisering med fokus på hållbart byggande och minimering av byggnadens klimatpåverkan. Detta arbete avgränsades till ett av tre hållbarhetsperspektiv, vilket var det ekologiska perspektivet. Byggnadens val av material baserades på dagens lättillgängliga byggt teknik, därför studerades exempelvis inte exotiska material som i dagsläget inte är aktuella i den svenska byggt tekniken. Studien avgränsades även bort de parametrarna som ansågs vara

irrelevanta med energieffektivisering och miljöpåverkan, därför gjordes exempelvis inga kostnadsanalys eller andra analys inom det sociala perspektivet.

Byggnadens livscykelanalys baserades på resultaten från modelleringsprogramet IDA ICE och beräknades med hjälp av verktyget Renobuild samt handberäkningar med emissionsfaktorer. Siffrorna på emissionsfaktorer var ett värde från litteraturstudier som inte tagit hänsyn till R:ekobyns verklighet då projektet inte var fastställt. För tidsmässig systemgräns studerades byggnaden enbart under dess livslängd som antogs vara 30 år inklusive byggande och rivning. Vad gällde geografisk systemgräns antogs byggnadens koldioxidavtryck att vara begränsad till Sverige.

2 Teori och litteraturstudier

I detta kapitel behandlas de relevanta teorier och litteraturstudier som berör undersökningen. Det behövs teoretiska grunder för att kunna förstå hur de olika parametrarna hänger ihop. Teorier som berör denna undersökning och hållbart byggandet är bland annat ekobyns värderingar, byggnadsmaterial och utformning. För övrigt behövs det grundläggande förståelser om energi och det som berör energihushållningen såsom energikällor, ventilations- och energisystem.

2.1 Ekoby

Den första ekoby i Sverige byggdes i Skåre, Värmland 1984 och heter Tuggelite. Syner på vad en ekoby är ändras med tiden. Under 80–90-talet var det energisnåla hus, oftast parhus eller radhus som värmdes med förnybar energi. Den sociala gemenskapen stod i fokus och det fanns plats att odla intill husen. Under 2000-talet ändrades fokuset till att skapa en hållbar livsstil på en individuell nivå tillsammans med andra familjer med liknande intresse. Byn flyttade ut på landet och många som bodde i dessa ekobyar kunde arbeta hemifrån och det fanns mycket plats för odlingar, höns, får och bin. Här var det inte bara fokus på att husen skulle vara energisnåla och använda förnybar energi utan de skulle dessutom byggas av material som var miljövänliga (Bokalders & Block, 2014).

Den senaste principen för ekobyar är att byn inte ska vara beroende av samhället utan vara helt självförsörjande. Husen ska vara energieffektiva, använda förnybar energi och vara byggda med miljövänliga material. Husen ser oftast olika ut och har egna energi-anläggningar för att producera egen el, det finns också egen vattenförsörjning och avloppssystem. I denna typ av ekoby finns det också plats för hållbar odling, samt plats för boskap och andra djur. För att kunna ta hand om byns olika funktioner är invånarna ofta indelade i olika arbetsgrupper (Bokalders & Block, 2014).

2.2 Livscykelanalys och beräkning av miljöpåverkan

Livscykelanalys (LCA) är en metod för att beräkna produktens miljöpåverkan under hela dess livscykel. Det finns antal olika metodval och verktyg för att göra en LCA. Enligt Boverket (2019a) studerar metoderna produkten från utvinning av naturresurser till rivningen av byggnaden eller tills dess att produkten inte används längre.

För att göra en LCA och kunna jämföra de olika fallen måste den funktionella enheten bestämmas. Enligt TräGuiden (2015) är det viktigt att göra val om vilket miljöpåverkans-kategori och kategoriindikatorer den undersökta produkten kommer att ingå i. Några exempel på dessa visas i Tabell 1.

Tabell 1: Exempel på några miljöpåverkanskategorier och kategoriindikatorer, tagen ur TräGuiden (2015).

Miljöpåverkanskategori	Kategoriindikatorer
Växthuseffekt	CO ₂ -ekvivalenter
Försurning	SO ₂ -ekvivalenter
Resursanvändning, material	Kg
Resursanvändning, energi	MJ

Vidare är det till fördel att sätta systemgränser och tillåta vanliga undantag för att analysen inte skall bli för detaljerad. LCA-beräkningen avgränsas med hjälp av systemgränser. Där definieras vilka aktiviteter och processer som ingår i analysen och vilka som inte gör det. Eftersom detta kan innefatta oändligt flöde som vår vetenskap inte räcker till är det bättre att utesluta de osäkra processerna. Exempel på sådant flöde är framtida beslut om underhåll och byte av en produkt som inte är direkt planerade. Vanliga systemgränningar är tidsmässiga och geografiska avgränsningar. Dessa handlar om hur länge byggnadens livslängd förväntas vara, samt om koldioxidavtrycket förväntas vara i Sverige eller i större geografisk utsträckning (Boverket, 2019a).

2.2.1 Funktionella enheten

Funktionella enheten kan användas för att presentera och jämföra byggnadens klimatpåverkan i samband med byggnadens livscykelanalys. Syftet med den funktionella enheten är att skapa en referensenhet som förtydligar relationen mellan input- och outputdata. De jämförda fallen skall mätas på samma sätt och därför bör enheten vara tydlig definierad och mätbar. Det vill säga att en prestation från en produkt jämförs med motsvarande från en annan produkt. För att uppfylla den definierade funktionen bör mängden av material kvantifieras och nyckelenheten analyseras. Ett exempel på en tänkbar funktionell enhet vid jämförelsen mellan en liter av två olika typer av målarfärg är; en kvadratmeter målad yta med en bestämd täckningsgrad och livstid på 10 år (TräGuiden, 2015). Klimatpåverkan måste dock beskrivas som ett nyckeltal som oftast presenterar byggnadens miljöpåverkan per kvadratmeter och år (Boverket, 2019a).

2.2.2 Emissionsfaktor

För att beräkna mängden koldioxid och andra växthusgaser som släpps ut i luften vid bränsleanvändning kan emissionsfaktorer användas. För att använda emissionsfaktorerna vid beräkningen av utsläppen tar man emissionsfaktorn multiplicerat med bränsle- eller elförbrukningen och värmevärdet. Värdena på emissionsfaktorerna kan ändras år till år beroende på den senaste fakta som finns tillgänglig (Naturvårdsverket, 2021). Generella emissionsfaktorer som gäller för hela livscykeln hänvisas här till miljöfaktaboken som skrevs 2011 som fortfarande är den senaste av sitt slag. Verklighetens värden kan därför vara annorlunda än de som skrevs i miljöfaktaboken då den var skriven för att reflektera den tidens värden (Gode et al. 2011). Tabell 2 nedan visar några emissionsfaktorer från olika källor.

Tabell 2: Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el och värme.

Källa	Emissionsfaktor [g CO ₂ -ekv/kWh]	Referens
Solel	20	(Lindahl et al., 2018)
Svensk elmix	20	(Gustafsson & Hantman Kollén, 2017)
Nordisk elmix	90,4	(Sandgren & Nilsson, 2021)
Skogsflis	10,8	(Gode et al., 2011)
Fjärrvärme (Eslöv, Lomma, Lund)	11,4	(Krafringen, u.å.)

2.3 Byggnadsmaterial

2.3.1 Byggnadsmaterialens miljöpåverkan

Byggnadsmaterialens miljöpåverkan kan delas in i tre kategorier. Kategori ett är arbetsmiljön vid tillverkning, nybyggnad, ombyggnad och rivning. Kategori två handlar om inomhusmiljön och kategori tre är yttre miljön, det vill säga resursanvändning, utsläpp, klimatpåverkan med mera (Burström & Nilvér, 2018).

I miljöpåverkan av inomhusmiljön ingår farliga ämnen i byggnadsmaterial, emissioner från byggnadsmaterial samt radonhalten som kan påverka inomhusluften. Dessa faktorer framkallar negativa besvär hos de som vistas i byggnaden, det kan påverka personer på så sätt att de får huvudvärk, slemhinnor besvär, onaturlig trötthet eller liknande. Materialens påverkan på yttre miljö är kopplade till tillverkning av material, transport, användning, återvinning och deponering. Dessa faser är resurskrävande och bidrar till utsläpp av växthusgaser samt påverkan på försurning, övergödning, ozonnedbrytning med mera som är negativt för miljön.

För att förstå byggnadsmaterialens miljöpåverkan studeras dess livscykel från utvinning av naturresurser till rivningen av byggnaden eller tills dess att produkten inte används längre. Från början behandlas naturresurserna till olika byggprodukter som byggs in i en byggnad. Byggnaden kommer sedan att stå i användning och försörjs med energi under lång tid tills den rivs ner (Burström & Nilvér, 2018).

Byggnadens bidrag till negativ miljöpåverkan domineras av byggskede och driftens energianvändning. Materialen tas hand om på olika sätt efter rivningen beroende på hur materialens tillstånd och förutsättning ser ut. Stor del av byggnadsmaterialen deponeras men en del kan återanvändas eller återvinnas för att ingå i ett nytt material. Oavsett vart materialen sedan tar vägen har de förbrukat olika former av resurser exempelvis el för att driva fabriker och maskiner, bränsle för transporter under produktionen och så vidare som bidrag till koldioxidutsläpp och andra klimatpåverkande gaser (Boverket, 2019b)

2.3.2 Stommaterial

Stommen omfattar byggnadskonstruktionens viktigaste delar såsom grund, bärande väggar, pelare, bjälklag samt takstolar. Delarna samverkar och utgör byggnadens bärande del som har som uppgift att uppta, fördela samt föra ner laster till grunden. Det finns antal olika stommaterial, bland de vanligaste är stål, betong och trä. Eftersom stomsystemet påverkar både installationen och planlösning i en byggnad är det viktigt

att välja material som uppfyller kraven för flexibilitet och öppenhet (Sandin, 2019). Stommateriens olika tekniska egenskaper står beskrivna i Tabell 3 nedan och används bland annat vid beräkningar av byggnadens energibehov.

Tabell 3: Visar värmekonduktivitet, specifik värmekapacitet och densitet för olika stommaterier. De tekniska egenskaperna är hämtade ur Burström och Nilvér (2018).

Material	Värmekonduktivitet, λ [W/(m·K)]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kg·K)]	Densitet, ρ [kg/m ³]
Betong	1,70	1 000	2 300
Lätt betong	0,14	1 000	500
Trä	0,14	1 600	500
Stål	60	460	7 850

Trä

Förr i tiden var det vanligt att bygga med trästommar, i äldre byggnader som byggdes i slutet av 1800-talet bestod de bärande väggarna av massiva trästockar och bjälklag av träbjälkar med 0,6m i avstånd. Vid samma tidpunkt utvecklades stolpverkshuset som blir dagens träregelstommar. Träregelstomme finns i ett antal olika dimensioner och är anpassade till tjockleken på isoleringen, och standardmått på reglarna kan exempelvis vara 95-145mm på djupet och 38–45 mm på bredden. Numera finns det även fabriksstillverkade träreglar (Sandin, 2019).

Trä är ett anisotropiskt material vilket betyder att materialet har olika egenskaper i olika riktningar. Trä har tre huvudriktningar som är fiberriktning, radiell riktning och tangentiell riktning. Densiteten för trä skiljer sig åt beroende på hur stor fuktkvoten är samt vilket träslag det är, den vanligaste fuktkvoten för trä som man brukar räkna med är 12 % och furu som ofta används som konstruktionsmaterial har en densitet som ligger på 480–530 kg/m³. Värmekonduktiviteten (λ -värdet) är förmågan för ett material att leda värme. Den är relativt hög för trä på grund av träets höga porositet men det är även något som skiljer sig åt beroende på träets vinkelriktningar och anisotropa egenskaper. Ett exempel på λ -värdet för trä är 0,14 W/(m·K) som är räknat vinkelrätt mot fibrerna (Burström & Nilvér, 2018). Två andra egenskaper som träet har är att det för det första är ett förnybart byggmaterial och för det andra binder träet upp koldioxid under sitt kretslopp (Svenskt trä, 2020).

Betong

Betong är en blandning av cement, vatten och ballast men kan också innehålla tillsatsmedel för att få önskad effekt. När betongens olika material blandas påbörjas de kemiska reaktionerna som sker mellan vattnet och cementen. Detta kallas för hydratation. Betongens hållfasthet, det vill säga den hårdhet som materialet har påverkas av tiden för torkning. Efter 28 dagar har hållfastheten för betong blivit tillräckligt stor för att fortsätta bygga (Burström & Nilvér, 2018). I dagens läge är betongstommen dominerande inom byggnad av flerbostadshus. Betongen är ett material som har möjligheten att gjutas på plats eller beställas prefabricerade. Prefabricerade stommar är fabriksstillverkade betongelement som kommer i skivor eller färdiga rum som sedan monteras på byggarbetsplatsen, detta gör det möjligt att minska byggnadstiden eftersom

betongen redan är torr. Fördelen med betongelement är att de kan vara tillverkade som hålbjälklagsplattor eller TT-plattor för att kunna dölja installationer (Sandin, 2019).

Klimatpåverkan av betong beror på vilka ämnen som finns i betongen samt vilken teknik som används för att producera materialen. Cementen står för ungefär 78,5 % av den totala klimatpåverkan i betongen (Andersson & Gard, 2019) och cirka 3–4 % utsläppen av koldioxid i världen (Svensk Betong, u.å.).

Lättbetong

Under 1950-talet var lättbetongstommar de som förekom oftast. Lättbetongen används i både bärande inner- och ytterväggar, samt bjälklagselement. Lättbetongen har relativt hög värmeisoleringsförmåga vilket leder till att man inte behöver lika mycket värmeisoleringsmaterial i väggen (Sandin, 2019). Innehållet i lättbetong varierar då det finns flera olika underkategorier av lättbetong. Den vanligaste kategorin av lättbetong som används i Sverige är autoklaverad lättbetong. Autoklaverad lättbetong är ett poröst och finkornigt material som gör att den har en relativt låg densitet. Densiteten för lättbetong beror på vilken kategori och kvalitetstyp som den har. Då densiteten minskar, ökar värmeisoleringsförmågan men vid för låg densitet klarar inte lättbetongen längre av de bärande funktionskraven. På grund av att de bärande funktionskraven ska uppfyllas bör därför lättbetongens densitet inte understiga 300 kg/m^3 (Burström & Nilvér, 2018).

Stål

Stå består till störst del av järn men ett annat viktigt ämne i stålet är kol. Kolet i stål räknas som ett legeringsämne som är viktigt för stålets egenskaper. Kolhalten i stål har dock krav på att den ska vara lägre än 2 %. Legering betyder att metallen blandas ut med andra metalliska eller ickemetalliska ämnen som ger stålet förbättrade egenskaper. Det finns flera olika konstruktioner av stål, men de ingår i underkategorierna varmvalsade stålprofiler och kallformade stålprofiler. De varmvalsade stängerna har oftast redan bestämd utformning exempelvis H-, U- och I-balkar. De kallformade stålprofilerna kan däremot formas efter beställning men har vanligtvis en godstjocklek på 1–4 mm (Burström & Nilvér, 2018).

2.3.3 Grundmaterial

Det finns olika sätt att konstruera en grund. Dessa delas in i tre olika grundkonstruktioner som i sin tur har underkategorier. De olika grundkonstruktionerna är kryppgrund, källare och platta på mark. I ett hus med en kryppgrund ligger huset på plintar och grunden kan vara antingen ventilerad eller oventilerad. Platta på mark menas med att grundelementet placeras i direktkontakt med marken och måste ha både ett dränerande och ett kapillärbrytande skikt. En källare har ett källargolv som liknar en platta på marks och har en yttervägg av betong eller som är murad, men här finns det ett krav att det ska finnas ett kapillärbrytande och dränerande skikt inte bara nedanför källargolvet utan även utanför källarväggarna (Sandin, 2019).

Betong

Se 2.3.2 Stommateriäl, Betong

Foamglas

Skumglas går ofta under namnet foamglas och består av 85 % glasgranulat och 15 % cement. Foamglas är både bärande och isolerande och innehåller inga skadliga tillsatser, de är formstabila, kan stå emot frost, mögel och brand (Bokalders & Block, 2014). Varumärket Koljern har utvecklat en lösning för att använda foamglas som ett stommaterial. Lösningen går under namnet Koljern-tekniken (Koljern, u.å.a). Koljern-tekniken använder foamglaselement som består mestadels av återvunnen cellglas-isolering samt lättplåtsbalkar med en tjocklek på 1,5 – 3 mm (Koljern, u.å.b). Tjockleken på konstruktionen har ett moderelement av koljern på 208 mm, men har extra foamglas isolering på tjocklekar mellan 100–200 mm (Bilaga A). Värmeledningseffekten för Koljern är 0,036 W/(m·K) (Bilaga B) och kan jämföras med värmeledningseffekten för isoleringsmaterial (se Tabell 4). Detta betyder att en stomme av koljern inte behöver något ytterligare material för isolering. Densiteten för foamglas kategorin T3+ som används i Koljern-tekniken ligger på 100 kg/m³ (Foamglas, u.å.a).

2.3.4 Värmeisoleringsmaterial

Enligt Burström och Nilvér (2018) är val av värmeisoleringsmaterial avgörande både ur energi- och miljösynpunkt. Eftersom isolermaterialen har en påverkan på husets energianvändning är det en stor faktor som måste beaktas. Ju bättre värmeisolering, desto lägre energianvändning som sedan resulterar i mindre uppvärmningskostnader. Värmeisoleringsmaterial kan i stort sett delas in i tre olika kategorier, biobaserade, cellplast och mineralisk.

Värmeisoleringsmaterial kategoriseras som porösa material och värmetransport genom sådana material sker genom ledning, strålning och konvektion. Summan av dessa värmetransporters effekt är det så kallade värmeledningseffekt eller värmeledningseffekt och betecknas med λ . Vid val av värmeisoleringsmaterial önskas låga λ -värde (Burström och Nilvér, 2018). I Tabell 4 redovisas några värmeisoleringsmaterials tekniska egenskaper.

Tabell 4: Densitet och värmeledningseffekt hos några värmeisoleringsmaterial tagen ur Burström och Nilvér (2018), Ekolution (u.å) och Foamglas (u.å.a).

Isoleringsmaterial	Densitet, ρ [kg/m ³]	Värmeledningseffekt, λ [W/(m·K)]
Glasull	20–100	0,030–0,037
Stenull	30–200	0,033–0,037
Cellulosafiber	24–65	0,039–0,050
Trällsplatta	260–350	0,090
Hampafiber	30	0,040
Foamglas	100–200	0,036–0,058

Biobaserade värmeisoleringsmaterial

Träbaserade material har många positiva egenskaper, exempelvis dess långa livslängd, god hållfasthet samt att det är bearbetningsbar (Oreholm, 2016). Dessutom är trä ett hygroskopiskt byggnadsmaterial som känner av den omgivande luftens fuktighet och temperatur. Det gör att materialet hela tiden strävar efter att komma i jämvikt med omgivningens relativa luftfuktighet och temperatur (TräGuiden, 2017).

Träfiberisolering är bearbetade träfiber som används i form av lösull eller skivor. Densiteten av isoleringen bestäms redan vid inblåsningen, genom att reglera trycket vid inblåsning kan den önskade densiteten uppnås. Det önskas hög densitet hos träfiberisolering på grund av att det ger många fördelar vid användning av materialen. Hög densitet ger bland annat goda ljuddämpande egenskaper samtidigt som den kan bidra med minskad konvektion. Den stora fördelen är att värmekapacitivet förbättras, dvs förmågan att lagra värmen. Oreholm (2016) hävdar också att egenskaperna att lagra värmen hos träbaserade isolermaterial kan bli ungefär dubbelt så hög som mineralull.

Trällsplattor är en typ av träbaserade isoleringsmaterial. Plattorna framställs av träspån från gran och portlandcement. På det sättet får de bättre brandtekniska egenskaper jämfört med andra träbaserade värmeisoleringsmaterial.

Den tredje biobaserade värmeisoleringsmaterial är cellulosafiber. De är tillverkade av tidningar, oftast feltryckta tidningar som sedan malts ned och framställs som lösull och skivmaterial (Oreholm, 2016). Cellulosafiber blandas oftast med brandhämmande medel såsom borsalt för att uppnå en godkänd brandklass. För att få den vattenavvisande egenskaperna och förhindra mögelpåväxten blandas de med aluminiumsulfat och harts (Burström & Nilvér, 2018).

Hampa, ett naturligt råmaterial med egenskaper som uppfyller kraven för att få använda som värmeisoleringsmaterial. Hampan odlas för sin starka fiber och dess näringsrika frön som har många användningsområden. Enligt den svenska byggnadssystemutvecklaren Ekolution AB (u.å.) är hampa koldioxidnegativt då det finns mer bundet CO₂ i hampan än vad det går åt till framtagandet av slutprodukten. Med liknande hygroskopisk egenskap som trä har hampa även en naturlig fuktkontroll. Hampafiber har dessutom hög specifik värmetröghet vilket innebär att det tar längre tid att värma upp materialet. Detta är något positivt eftersom det bidrar till mindre temperaturvariationer i byggnadsskalet.

Ett annat typ av hampaisoleringsmaterial är hampakalk. Enligt Strandberg och Balksten (2019) har materialet en bra värmeisoleringsförmåga, är diffusionsöppet och har bra termisk massa. Förutom det är materialet formbart, vilket underlättar appliceringen vid arbeten. Materialet består av hampans vedämnen och byggkalk, det används oftast i renoveringsprojekt som tilläggsisolering såväl invändigt som utvändigt. Anledningen till att materialet används i detta ändamål är för att bevara det kulturhistoriska värdet och utseendet som byggnaden har. Nackdelen är att det är arbetsintensivt och att väggen måste tillåts torka efter appliceringen, vilket kan drabba tidsplaneringen av ett sådant projekt.

Kombination av hampa och kalk visade en förbättring på fuktförhållande i väggen samt bidrog till en bra fuktbalans i trä- och tegelbyggnader. Ett antal fallstudier via ett samarbete mellan Lunds- och Uppsala universitet bekräftade att hampakalk har en stor potential som tilläggsisoleringsmaterial med uppmätt energibesparing om cirka 30–50 % (Strandberg & Balksten, 2019).

Cellplast

Cellplast är en typ av plast som kan användas som isolermaterial i väggar och grund. Vid tillverkning av cellplast expanderas en lämplig plast så att ett system av porer erhålls. Porerna kan antingen vara slutna eller öppna, men ur värmeisolerings- och fuktsynpunkten är slutna porer mer optimala. De två olika styrencellplaststyper som användas i byggsammanhanget är så kallad expanderad polystyren (EPS) och extruderad polystyren (XPS). Skillnaden mellan dessa två typerna är deras framställningsprocess. Expanderad polystyren tillverkas genom upphettning av små plastkuler som innehåller ett kolväte och drivgas. Extruderad polystyren framställs genom att låta smält polystyren och kolväte expandera ur ett munstycke för att sedan kunna gjutas direkt i önskade dimensioner. Styrencellplastsmaterial har god kemisk beständighet och är lämpliga som värme- och fuktisolering under platta på mark (Burström & Nilvér, 2018).

Mineralisk

Mineraliska isolermaterial är uppdelad i tre olika typer. Två av dessa med likande egenskaper är stenull respektive glasull. De finns som lösull, mattor och även skivor som är anpassade till alla användningsområden. Materialen har goda ljudabsorberande egenskaper samt att ånggenomgångmotståndet är så lågt att man kan försumma det. Materialen själva är inte bearbetningsbara och behöver tillsättning av fenolharts för att få den formstabila egenskapen. Samtidigt måste små mängder av mineralolja tillsättas för att minska materialens dammavgivning och göra materialen vattenavvisande (Burström & Nilvér, 2018). Den tredje typen av mineraliska isoleringsmaterial är foamglas (se även 2.3.3 Grundmaterial, Foamglas) som har egenskaper som kan stå emot rök och brand, klarar av tryck och belastningar, är obrännbar, vatten- och diffusionstät och kan motstå rostangrepp (Foamglas, u.å.b).

Stenullen är tillverkad av råvaran diabas som smälts ned tillsammans med koks vid cirka 1 600 °C. Sammansmältningen rinner sedan ut över roterande spinnhjul och slungas ut till fiber. Stenullen resulterar i gråbrun färg eftersom den innehåller järnoxid.

Glasullen framställdes förr tiden av sand (SiO_2) men numera använder man återvunnet glas. År 2017 tillverkades ca 70 % av glasullproduktionen i Sverige av återvunnet glas. Tillverkningen liknar stenullens där glaset smälts ned vid cirka 1 400°C och sedan rinner ner i en roterande spinnare. Till skillnad från stenullen har glasullen mycket klarare färg som är nästan vit (Burström & Nilvér, 2018).

2.3.5 Fasadmateriäl

En fasad är till för att vara ett skydd mot yttre påfrestningar i utomhusklimat så som regn och vind. Fasaden är det yttersta skiktet på ytterväggen och behöver inte bara skydda mot klimaten men också vara tilltalande estetiskt (Sandin, 2019). Exempel på vanliga material som används för fasader är: trä, betong, tegel och kalksandsten, plåt, natursten och puts. Hus som är murade eller av betong kan till exempel använda sitt eget konstruktionsmaterial som fasadmateriäl (Bokalders & Block, 2014). Fasadmateriälerna har olika konstruktioner och kan behandlas på olika sätt för att uppnå syftet med fasaden. Ett exempel på hur en fasad kan behandlas är att träpanel kan impregneras för att minska träs uppsugningsförmåga av vatten (Sandin, 2019).

2.3.6 Taktäckningsmaterial

Taket har stor arkitektonisk betydelse och har som uppgift att skydda byggnaden från utomhusklimatet: nederbörd, kyla och solsken. Takens utseende ser olika ut beroende på form, täckningsmaterial och lutning (Sandin, 2019). Taklutningen bör väljas med hänsyn till klimatet. I det svenska klimatet fungerar ett horisontellt tak sämre på grund av nederbörd i form av regn och snö som behöver ett sätt att rinna av från taken (Selander, u.å.).

De vanligaste taktäckningsmaterialen är takpannor i till exempel tegel och betong, plåttak som antingen är profilerade eller falsad, papp- eller gummitak samt takvegetation. Takpannor måste kunna leda vatten nedåt då de inte är vattentäta för att göra detta krävs det att de finns ett skikt under pannorna som är vattentätt och kan leda ut vattnet som tränger in. Papp- och gummitak används ofta då lutningen på taket är liten och kan läggas antingen i enskiktsbeläggningar eller i ett fåtal lager för att uppnå sin funktion. Profilerad plåt används för det mesta till lokaler såsom lagerlokaler och lantbruksbyggnader. Falsad takplåt finns i olika material och med olika falsar (Sandin, 2019). Takvegetation som även kallas gröna tak har flera positiva faktorer såsom bullerskydd, minskar slitaget på taken och tar hand om cirka 50–80 % av regnet genom att växtligheten binder upp vattnet och hjälper därmed till att minska belastningen för dagvattensystemet (Bokalders & Block, 2014). Det finns olika typer av gröna tak som använder sig av olika vegetation och taklutning. Taklutningen för gröna tak ska vara mellan 0–27 grader, större variation av vegetation leder till ett krav på lägre takvinkel (Nordlöf, 2014).

2.4 Utformning

En mindre känd förutsättning för att få ett godkänt bygglov av kommunen är att uppfylla Boverkets krav på byggnadens utformning. Boverkets byggregler ställer krav på att en byggnad skall ha god form-, färg- och materialverkan (Boverket, 2021a). Materialinverkan beskrivs redan i de tidigare avsnitten. Kvarstående utformning som är aktuellt i denna rapport är fönster och tak då dessa inte redan är förbestämda.

2.4.1 Fönster

Ett fönster kan innehålla flera olika material då uppbyggnaden av de kan göras på många olika sätt. Exempelvis kan bågar och karmar väljas mellan trä, plats eller aluminium. Fönsterna är indelade på antal glas, till exempel 1-glas fönster med endast ett glas, 2-glasfönster med två glas och en luftspalt i mitten och så vidare. Ur energisynpunkten är det viktigt att värdera fönsternas värmegenomgångskoefficient [$W/(m^2 \cdot k)$] (U-värde) då det påverkar byggnadens värmeförlust. Det definieras som den värmemängd som per tidsenhet passerar genom en ytenhet av konstruktionen då skillnaden i lufttemperatur på ömse sidor av konstruktionen är en grad. Värmegenomgångskoefficient anger hur väl isolerat och hur energieffektivt ett fönster är, ju lägre U-värde ett fönster har desto bättre är det. Detta eftersom lägre U-värde tyder på större isolerande effekt.

Val av antal fönster eller fönsterstorlek måste uppfylla BBR-krav vad gäller tillgång till dagsljus. Enligt Sandin (2010) släpper vanliga glasrutor normalt in 80–90 % av solstrålningen. Beräkningen av fönsterarea kan göras med hjälp av den förenklade

metoden enligt SS 91 42 01. För att klara av BBR-kravet bör rummets fönsterglasarea vara minst 10 % av golvarean, om förutsättningen är uppfylld motsvarar detta en dagsljusfaktor på cirka 1 % (Boverket, 2020b).

2.4.2 Förutsättning för solet

Förutsättning för solet handlar om byggnaden har rätt förutsättningar för att installera solceller och främja elproduktionen. Solcellerna måste vara fria från skuggning och om de är monterade på taket måste det ha, rätt väderstreck och rätt lutning. Den högsta elproduktionen för takmonterade solceller ges vid tak riktad mot syd, sydost eller sydväst. Det är mer effektivt att låta solcellerna följa taklutningen, det vill säga ha samma lutning som taket. Detta eftersom installationen blir enklare och mer kostnadseffektivt. Dock skall platta solcellsanläggningar undvikas, om huset har platt tak är det bättre att låta solcellerna luta upp lite, till exempel med hjälp av en ställning så att smuts och snö inte kan samlas på panelerna.

Den bästa taklutningen för att främja solet är branta tak med lutning mellan 40 och 50 grader. Den optimala lutningen utifrån att maximera elproduktionen är 30–50 grader. De lättaste taktyperna vad gäller installation av solceller är falsad plåttak, trapetsoidformad plåt och tegeltak. Vid andra taktyper än dessa krävs det specialmonteringar som kan medföra extra kostnader (Energimyndigheten, 2019a).

2.5 Ventilationssystem

Ventilationssystemets uppgift är att föra in tillräckligt mängd uteluft, föra bort och minska spridning av föroreningar och hälsofarliga ämnen och eventuellt kyla huset. Eftersom ventilationssystemet har en påverkan på husets energianvändning och inomhusklimat är det viktigt att välja ett lämpligt system, men valet av ventilationssystem måste uppfylla BBR-krav på luftkvalitet, luftflöde och fuktsäkerhet. För att uppnå kraven krävs det genomtänkt val av byggmaterial samt anpassat byggteknik med fokus på fuktsäkerhet. Det lägsta tillåtna kravet på uteluftsflödet är 0,35 l/s,m², men för energisparandet kan det minskas till 0,10 l/s,m² när ingen är hemma (Boverket, 2019c). Dock är närvarostyrd ventilation inte självklara, enligt Ekelund och Nyberg och (2020) är det inte lönsamt med närvarostyrd ventilation i dagens energipriser. För att ventilationen skall vara energimässigt lönsamt krävs det samarbete med andra närvarostyrda system såsom belysning och värme.

Det finns tre typer av ventilationssystem: självdragsventilation, frånluftsventilation och från- och tillluftsventilation. Ventilationssystem i bostäder är utformade så att friskluft kan komma in där människor normalt vistas, och frånluften leds oftast ut ur frånluftsventiler som finns främst i badrum, WC eller kök.

I självdragsystemet ventileras byggnader med hjälp av termiska krafter och vindtryck. Systemet fungerar utan fläkt då luften kommer in genom olika öppningar, läckage och springor. Det skapas ett ventilationsflöde av värmskillanden mellan inne- och uteluften då varm luft utvidgas och stiger (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Självdragsystem är vanligt i byggnader byggda före 1970 och är inte rekommenderat i dagens energisnåla byggnader då självdrag utan värmeåtervinning uppfyller oftast inte BBR-krav. För att

göra självdragssystemet mer effektivt installeras en elektrisk eller vinddriven fläkt i köket eller badrummet, systemet kallas då för förstärkt självdragsventilation (Boverket, 2021b).

Den andra typen är mekaniskt frånluftssystem där tilluften kommer in genom uteluftventiler som oftast sitter i vardagsrum och sovrum. Den fungerar med en frånluftsfälkt som skapar undertryck och leder ut frånluften via ett frånluftdon. Fördelen med systemet är bland annat att ventilationsflödet kan kontrolleras och att fläkten skapar ett stabiliserande undertryck. Nackdelen är att fläkten drar el och kräver en viss tillsyn (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Frånluftssystemet kan dessutom kombineras med en frånluftsvärmepump för att återvinna en del av värmen i frånluften, systemet kallas då för FVP system (Boverket, 2021b).

Den tredje ventilationstypen är mekanisk till- och frånluftventilation med en värmeväxlare också kallat för ett FTX-system. FTX-systemen kom som ett sätt att minska energiförbrukningen i byggnader på 70–80-talet. Under 70- och 80-talet fanns det en del problem med systemet då det var framför allt högljutt, komplicerat och dyrt, detta tillsammans med att de inte nådde upp till standarden som leverantörerna uppgav. Detta gjorde att Boverket rapporterade i slutet av 80-talet att FTX-systemet oftast inte lönade sig i småhus (Bokalders & Block, 2014). FTX-systemet är det ventilationssystem som är vanligast i kontor, sjukhus och andra lokaler på grund av deras större ventilationsbehov. Ett Till- och frånluftssystem med återvinning fungerar på så sätt att uteluften plockas in i byggnaden till aggregatet. I aggregatet kan luften värmas, filtreras och även kylas. FTX-systemet gör det möjligt att återvinna värmen som finns i luften. Detta gör att värmebehovet som behövs för att värma tilluften minskar med ungefär 80 % (Warfvinge & Dahlblom, 2012). Återvinningen av värmen leder till att en normalstor villa kan spara cirka 5000–7000 kWh per år (Svensk Ventilation, u.å.). Miljöpåverkan av ett FTX-system är som störst under användningsfasen med driften av fläktar och uppvärmning av luften, men påverkas av varifrån driftelen kommer ifrån. Metalnehållet i tillverkningsfasen har dock även en betydande roll i miljöpåverkan (Jerléus, 2020).

Bengtssdottir och Hagerup Norrman (2018) menar att det mest dominerande ventilationssystemet som förekommer mest i nybyggda bostäder är FVP system. Näst dominerande är F-system och den tredje dominerade systemet är FTX-system. Anledningen till att dessa tre ventilationssystem har blivit så vanliga för nybyggnation är för att de klarar av energikraven utan några problem. I samma undersökning visas det sig att bostäder med F-system har en lägre el- och värmeeffektbehov jämfört med FVP och FTX-system, men FVP systemet är mer lönsamt med hänsyn till värme-återvinningen. Det mest lönsamma systemet miljömässigt över ett år enligt samma undersökning är FTX system (Bengtssdottir & Hagerup Norrman, 2018).

2.6 Energi och värme

2.6.1 Värmeeffekt- och energibehov

Byggnader har två olika värmebehov, värmeeffektbehov respektive värmeenergiebehov. Effektbehovet är direkt kopplade till investeringskostnaden och har enheten Watt. Energiebehovet är kopplade till driftkostnader och anges i kilowattimmar, det vill säga effekten multipliceras med tiden i timmar. Värmeeffektbehovet för en byggnad dimensioneras efter byggnadens behov och bestämmer storleken på värmesystemet, enheten anges i W/m^2 , A_{temp} där behovet för småhus är cirka $40\text{--}60 \text{ W/m}^2$, A_{temp} . Den dimensionerade värmeeffekten beror på storleken på byggnadsskalets omslutande area, isoleringsstandard, värmetröghet, lufttäthet, ventilationssätt och ventilationsflöde. Vidare spelar innetemperaturen och dimensionerade uteklimatet också en viktig roll.

Byggnadens värmebalans förklarar viktiga delar vad gäller tillföring och bortföring av värmen, där värmen bortförs genom transmission, ventilation och luftläckage. Tillförningen sker genom solinstrålning, inter genererad värme och värmesystem. Den stationära värmeeffektbalansen presenteras i ekvation 1 nedan (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_i \quad (1)$$

2.6.2 Byggnadens energiprestanda och regelverk

Människans energiutnyttjande och energianvändning är en viktig aspekt inom hållbart byggandet. Energianvändning, enligt Boverkets definition (2020c) hos en byggnad är den mängd energi som levereras till byggnaden vid normalt brukande under ett normalår. Där ingår uppvärmningsenergi, tappvarmvatten, komfortkyla och fastighetsel. I byggnadens energianvändning ingår inte hushållsenergi och verksamhetsenergi. Med hjälp av energibärare såsom el, fjärrvärme och biobränsle kan energi levereras till byggnaden.

I Boverkets byggregler, BBR finns det föreskrifter och allmänna råd till några krav i plan- och bygglagen, PBL, och plan- och byggförordningen, PBF. BBR kraven gäller vid uppförande och ändring av en byggnad. Innehållet i BBR består av regler om de flesta tekniska egenskapen i PBL (Boverket, 2020d). Enligt Boverket (2020e) ställer BBR bland annat krav på utformningen, att det skall vara lämpligt för sitt ändamål och tillgänglig för personer med nedsatt rörelseförmåga. Utöver det innehåller BBR tekniska egenskapskrav som redogör regler till handfull tekniska egenskaper såsom säkerhet i händelse av brand, energihushållning och värmeisolering med mera.

Energieffektiva byggnader är byggnader som har en bra energiprestanda. Energieprestanda är ett mått på hur bra byggnadens energirelaterade egenskaper är, där ingår de byggtkniska och installationstekniska egenskaper. För att göra en mätning av byggnadens energiprestanda används primärenergital, EP_{pet} som visas i ekvation 2 (Boverket, 2020c). Kraven för primärenergital enligt BBR29 är baserade på byggnadens storlek, om det är ett småhus, en lokal eller ett flerbostadshus, se Tabell 6.

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

Primärenergitalet beror inte enbart av hur stor den levererade energin är till byggnaden utan beror även på vad uppvärmningen har för ursprung, vilket betecknas i ekvationen ovan som VF_i , viktningsfaktor som redovisas i Tabell 5. Varje energibärare har en specifik viktningsfaktor som vid beräkning av primärenergitalet, EP_{pet} multipliceras med den energi som levereras till byggnaden (Boverket 2020e). Boverket (2020f) menar på att anledningen att viktningsfaktorerna ser ut som de gör är för att det ska vara en mindre skillnad mellan de hållbara alternativen vid beräkning av energiprestanda, medan de fossila bränslena ska ge en sämre energiprestanda.

Tabell 5: Viktningsfaktorer för olika energibärare (Boverket, 2020e).

Energibärare	Viktningsfaktor (VF)
El	1,8
Fossil olja	1,8
Fossil gas	1,8
Fjärrvärme	0,7
Fjärrkyla	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränslen	0,6

I primärenergitalet finns det en faktor F_{geo} som är beroende på var i Sverige som det byggs. Denna faktor är en geografisk justeringsfaktor som jämnar ut kraven för byggnader som är i kallare respektive varmare klimat. I norra Sverige kan faktorn gå upp emot 1,9 på grund av större uppvärmningsbehov, medan som lägst kan den ligga på 0,8 i den sydligaste delen av Sverige. I Röstånga som byggnaden befinner sig är den geografiska justeringsfaktorn 0,9 (Boverket, 2020e).

Tabell 6: Högsta tillåtna primärenergital enligt BRF 2020:4.

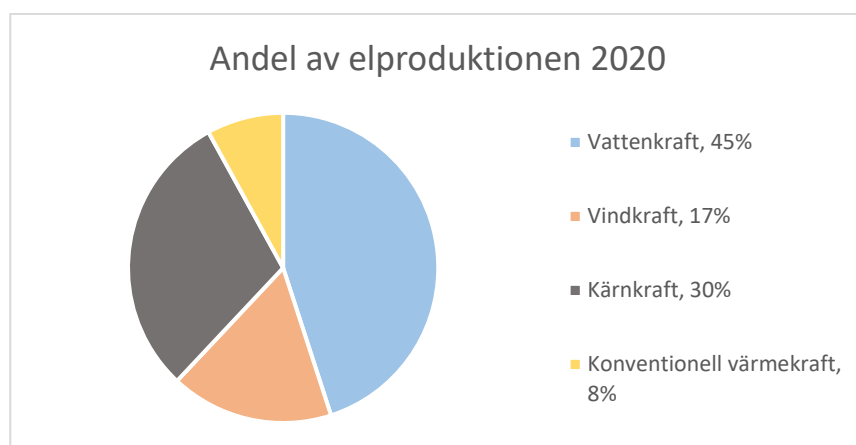
Bostäder	Primärenergital, EP_{pet} [kWh/m ² A _{temp} och år]
Småhus > 130 m ² A _{temp}	90
Småhus > 90 - 130 m ² A _{temp}	95
Småhus > 50 - 90 m ² A _{temp}	100
Småhus < 50 m ² A _{temp}	Inget krav
Flerbostadshus	75

2.6.3 Energikällor och energianvändning

Energikällor kan delas in som förnybar- och icke förnybar energi. Förnybar energi är energin vars källor inte kan ta slut, exempelvis från de naturliga källorna som sol, vind och vatten. En icke förnybar energikälla är energin vars källor är begränsad, där energikällorna återbildas mycket långsamt eller inte alls. Här tillhör bland annat kol och fossila bränslen. (Gustafsson & Hantman Kollén, 2017). Vid förbränning av fossila bränslen bildas koldioxid som förstärker växthuseffekten och bidra till att jordens

temperatur stiger. Förutom koldioxidutsläpp ger även förbränningen upphov till utsläpp av miljö- och hälsoskadliga ämnen exempelvis svaveldioxid, kvävedioxid och metan. Enligt Naturvårdsverket (2021) stod produktionen av el- och fjärrvärme för nio procent av Sveriges totala växthusutsläpp under år 2015.

Miljöpåverkan från elproduktionen kan minskas med hjälp att välja ”grön el” eller ursprungsmärkt el som garanterar att elen kommer från en säker energikälla utan någon miljöbelastning (Naturskyddsföreningen, 2016). Elproduktionen och elanvändningen går inte alltid ihop, år 2020 minskade både elproduktionen och elanvändningen i Sverige, och resulterade i ett elöverskott för året. I samma år ökade även vindkraft från 11 till 17 % av den totala elproduktionen, vilket är en ökning av den förnybara elproduktionen. Enligt Energimyndighetens (2021) elstatistik för 2020 bestod förnybar energi för mer än 62 % av den totala elproduktionen. Andelen var ett minimum då den konventionella värmekraften också kan klassas som en förnybar energikälla. Elproduktionen för år 2020 presenteras i Figur 1.



Figur 1: Den svenska elproduktionen år 2020, tagen ur Energimyndigheten (2021)

Den vanligaste uppvärmningssystemet i flerbostadshus och lokaler är genom fjärrvärme, 90 % av all energi som användes i flerbostadshus kom från fjärrvärme under året 2016. För småhus sker uppvärmningen vanligtvis genom elvärme där den uppmätte statistiken visade att 48 % av den använda energin för värme och varmvatten hade elvärme som en källa. Näst dominerande uppvärmningssystem för småhus var biobränsle som stod för 33 % av den totala energianvändningen för småhus. Mindre använt system för småhus är fjärrvärme som stod för 17 % (Energimyndigheten, 2017).

En villas energianvändning påverkas bland annat av hur många personer som bor i bostaden, hur gammalt huset är, vilket uppvärmningssystem huset använder sig av samt hur välisolerat huset är och vart den är belägen i. En normal elförbrukning för en villa är i genomsnitt 25 000 kWh/år, där inkluderar användning för värme, varmvatten och hushållsel (Vattenfall, 2020).

2.7 Energisystem

För att tillgodose människans behov av tjänster behövs det energi. I ett samhälle kan energianvändningen i stort sett delas upp i tre kategorier:

- Bostäder och service
- Industri
- Inrikes transporter

Inom ”bostäder och service” ingår energitjänster för uppvärmning, el- och varmvattenanvändning i en bostad, och för att tillgodose dessa behov behöver ett eller flera energisystem installeras (Areskoug & Eliasson, 2017).

2.7.1 Värmepump

Värmepumpar har som uppgift att förse byggnaden med värme, kyla och varmvatten. De kan hämta värmen från berggrunden, marken, sjön eller luften (Gustafsson & Hantman Kollén, 2017). De komponenter som behövs för att en värmepump ska fungera är en förångare, en kondensator, en kompressor och en expansionsanordning (Nordman, 2007). Fördelen med värmepump jämförts med bränsle baserade värmeproduktioner är att den kan ge stor mängd värme utav en mindre mängd tillförd elenergi. Värmepumpens energibehov beräknas med viktad värde på byggnadens energibehov och värmefaktor (Gustafsson & Hantman Kollén, 2017).

Energiflöden i en värmepump består av tillförd energi i form av elenergi till kompressorn samt energi från omgivningen. Den nyttiga energin avges som värme på den varma sidan då värmepumpen används för uppvärmning. Värmepumpens värmefaktor, COP (coefficient of performance) definieras som kvoten av nyttig energi och tillförd energi.

$$\text{Värmefaktor} = \frac{\text{nyttig energi}}{\text{tillförd energi}} \quad (3)$$

Värmefaktorn (ekvation 3) anger hur mycket nyttig energi som fås ut i förhållande till den energimängd som tillfördes som el. Det vill säga hur mycket värme man får ut jämfört med hur mycket elenergi som gick åt. Värmefaktorn hos en värmepump för normal bostadsuppvärmning ligger mellan 2,5 och 4 beroende på driftsförhållandena. Värdet är oftast lägre på vintern eftersom det sjunker när temperaturskillnaden mellan kalla och varma sidan ökar (Areskoug & Eliasson, 2017).

2.7.2 Frånluftsvärmepump

En frånluftsvärmepump är en värmepump som använder sig av frånluften i byggnaden för att värma upp antingen varmvatten, ge värme eller både och till byggnaden. Ett krav för att använda sig av en frånluftsvärmepump i en byggnad är att det måste finnas ett mekaniskt ventilationssystem som använder sig av både fläktar och ventilationskanaler. En frånluftsvärmepump tar vara på inomhusvärmen som ska ventileras ut för att värma upp byggnaden (Nordman, 2007).

När frånluftsvärmepumpen ska dimensioneras till värmebehovet ska man räkna på att den ska täcka mellan 50–70 % av det maximala effektbehovet vilket leder till att 70–90 % av årets energibehov kommer att täckas. Om dimensioneringen av frånluftsvärme-

pumpen skulle täcka 100 % av det maximala effektbehovet skulle värmepumpen vara överdimensionerad för största delen av året, vilket gör att värmepumpens effekt är större än husets behov förutom på ett fåtal dagar om året. Värmepumpar dimensioneras därför endast för att klara av mellan 50–70 %, men för att då klara av toppeffektbehovet används en annan värmekälla. Detta görs vanligen genom elpatroner i värmepumpen eller en värmepanna (Nordman, 2007).

Fördelar med frånluftsvärmepumpar är att de tar vara på den värme som finns i frånluften som ska ventileras ut. Nackdelarna med värmepumpen är att den är beroende av ventilationsflödet. När ventilationsflödet är lågt kommer frånluftsvärmepumpen inte klara av att täcka hela husets värmebehov under året vilket gör att komplettering av en annan värmekälla är ett måste (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.7.3 Bergvärmepump

Det finns flera typer av externa energikällor för värmepumpar, exempelvis bergvärme som tar vara på den naturliga värmen som finns i berggrunden. Värmeenergin som finns i berggrunden kommer ursprungligen från solen och temperaturen där nere varierar mellan 2 och 8°C året runt i Sverige. För att utnyttja berg som värmekälla borrar ett eller flera hål, så kallad energibrunn, 50 till 200 meter ner i marken beroende på husets energibehov. Värme i berget överförs via en dubbelvikt kollektorslang fylld med vatten och köldbärarvätska. Vätskan transporterar sedan upp värmen till bergvärmepumpen. I värmepumpens förångare omvandlas värmen till ångan som sedan leds in i en kompressor. I kompressorn höjs trycket på det gasformiga köldmediet och temperaturen stiger hastigt. Värmen överförs från det heta köldmediet till husets värmesystem via en kondensor (värmeväxlare) när temperaturen nått cirka 50 °C (energifakta, u.å.).

Fördelar med bergvärme är att det är ett driftsäkert system med låg driftkostnad. Bergvärmesystem är ett stabilt system då temperaturen i berggrunden håller sig jämnt under hela året, samt att det är underhållsfritt när det väl är installerat (Freij & Östangård, 2013). Bergvärmearläggningar är dessutom miljövänliga då det inte krävs några stora ingrepp på tomten tillskillnad från exempelvis markvärme och sjövärme. Vätskan som kretsar runt slangen har en gång i tiden varit miljöfarlig, men idag används etanol som framställs av grödor. En annan fördel är att det kan kompletteras med solceller för att driva värmepumpen (Aly & Singh, 2015). Nackdelen är att värmepumpar kräver el, vilket exempelvis kan påverkas av längre elavbrott. Enligt Freij och Östangård (2013) har systemet en hög investeringskostnad då borrhningen är relativt dyr jämför med andra uppvärmningssystem som inte kräver denna process.

Berg som kan användas till detta ändamål är bergarter med hög kvartshalt såsom granit och gnejs, vilket gör att den svenska berggrunden är ett utmärkt värmelager. De praktiska kraven är att det ska gå att borra hål och att det inte är för djup ner till grundvattnet. Viktiga egenskaper är bergets värmeledningsförmåga och dess specifika värmekapacitet, där värmeledningsförmågan är beroende av bergets kvartshalt och granit. Bergets värmeledningsförmåga skall ligga på ungefär 3,5 W/(mK). Bergets specifika värmekapacitet varierar ganska lite mellan olika bergarter och ligger normalt inom 1,9–2,2 MJ/(m³K).

Dimensioneringen av borrhålsdjupet är som tidigare nämnts beroende på bergets egenskap samt värmepumpens kapacitet och uppvärmningsbehovet. Vidare beror värmepumpens uteffekt och COP-värde på köldbärarens temperatur. En grad sänkning av köldbärartemperatur kan minska uteffekten med 3 % och minska COP värdet med 2–3 %, vilket innebär en ökad elförbrukning (Björk et al., 2013).

Miljövärdering av värmepumpar

Miljöpåverkan från värmepumpar delas in i tre olika områden, tillverkning och installation, drift och sedan skrotning. Roger Nordman (2007) menar att tillverkning, installation och skrotning endast står för en liten del av värmepumpens totala miljöpåverkan som undersökts med komponenterna för en bergvärmepump. Stora delar av komponenterna i värmepumpen består av metaller och vid skrotningen kan i stort sett 100 % av metallerna återvinnas, dessutom kan även en del av plasten som används vid tillverkningen återvinnas medan resten förbränns. Köldmedie som används i värmepumpar kan ha ett läckage som sker under användningsfasen och under skrotningen. Läckaget leder till att ökade halter av växthusgaser släpps ut i luften. På grund av att det finns risk till läckage även vid skrotningen av köldmediet är det viktigt att det hanteras på rätt sätt (Nordman, 2007). Värmepumpen drivs av el, vilket gör att miljöpåverkan under drifttiden beror på var elen kommer ifrån. Elen i Sverige kommer ifrån flera olika källor, bland annat kärnkraft, vattenkraft och vindkraft. Elen kan dessutom importeras från andra närliggande länder där den producerats bland annat av kolkraftverk. Elproduktionens utsläpp påverkar därför vilken miljöpåverkan som värmepumparna får (Acuna & Rooth, 2012).

2.7.4 Fjärrvärmesystem

Ett fjärrvärmesystem består av tre olika delar. Den första är ett centralt värmeverk där värmen produceras och distribueras till fjärrvärmenätet som är nästa del. Fjärrvärmenätet binder samman delar av eller en hel tätort för att försörja bostäderna med värme och tappvarmvatten. Fjärrvärmenätet som ligger i marken med isolerande rör, gör det möjligt att transportera värmen via varmt vatten som ligger på en temperatur mellan 70-120°C. För att inte vattnet i rören ska börja koka behöver det vara ett högt tryck i nätet. Fjärrvärmecentralen är den tredje delen av fjärrvärmesystemet och är kopplingen mellan fjärrvärmenätet och byggnadens uppvärmning. Fjärrvärmecentralen och dess rör är separerade från fjärrvärmenätets rör för att undvika att värmen spiller ut i en byggnad vid läckage. Användningen av fjärrvärmecentralen i byggnaden går först till tappvarmvatten och sedan till uppvärmning av ventilation och vattenburna radiatorer. I fjärrvärmecentralen mäts hur mycket värme som har använts och därmed hur mycket uppvärmningen av huset kostar (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det som kan vara negativt med fjärrvärmesystem är att vid störningar i systemet påverkas alla som använder nätet, vilket betyder att både lokaler och bostäder drabbas. Detta kan bli ett stort problem om störningarna blir långvariga (Energimyndigheten, 2020a).

Miljövärdering av fjärrvärmesystem

Miljöpåverkan av ett fjärrvärmesystem är svårt att generalisera till en siffra som inkluderar alla fjärrvärmenät, detta på grund av att miljöpåverkan beror på vilken bränslemix som nätet använder. För att få ett så korrekt tal på miljöpåverkan som möjligt

behövs information om fjärrvärmenätet som finns där byggnaden ska byggas (Gode et al, 2011).

2.7.5 Biobränslepanna med pyrolys

Pyrolys är en process där biomassa kan omvandlas till andra intermediära ämnen som kan nyttjas i olika användningsområden för att producera till exempel drivmedel och andra biobaserade material (RISE, u.å.). Innan pyrolysprocessen påbörjas görs ofta förbehandlings, exempelvis avvattning och torkning av materialet. Ett annat sätt att förbehandla materialen är rensning och sållning som görs för att plocka bort grus och sten som kan förstöra delar av pyrolyspannan. Pyrolysen görs under hög temperatur som ligger mellan 500-1000°C och sker i miljöer utan syre, eller där bara ytterst lite syre finns kvar. Genom att föra bort syret påverkar det processen på så sätt att materialet sönderfaller men förbränningen kan inte inträffa. En del ämnen så som vattenånga, kolmonoxid, metan och andra kolväten går över till gasform under de höga temperaturerna. Andra ämnen under processen bildar ett restmaterial som är pyrolysolja eller tjära. Den sista restprodukten som bildas är en kolrikt så kallat biokol som innehåller fosfor. Restprodukterna i form av gas, pyrolysoljan och tjäran kan gå tillbaka till processen för att ge energi, men kan också användas i andra ändamål. Biokolet har olika användningsområden exempelvis kan den nyttjas inom jordbruket för att föra tillbaka fosfor i marken men kan även nyttjas på annat sätt. Efter att pyrolysprocessen är klar efterbehandlas nästan alltid biokolet genom kylning, detta gör att en kylkrets behövs i pannan för att pyrolysen ska ske under hela året (Rest till bäst, u.å.).

Andra fördelar med pyrolysprocessen är att den höga temperaturer oskadliggör olika smittämnen så som bakterier och virus. Temperaturen i pannan gör också att andra oönskade restprodukter som avloppsslam får hjälp att bryta ner ämnen som exempelvis läkemedelsrester och hormoner (Rest till bäst, u.å.).

Miljövärdering av pyrolys

Pettersson¹ menar att klimatpåverkan för pyrolys kan delas upp i fyra olika delar. Den första delen handlar om produktion och transporten av bränslet som används i pyrolyspeaktorn, men också el- och värmekällan som behövs för att köra pyrolysprocessen. Klimatpåverkan beror på var elen och värmen kommer ifrån, det vill säga att om elen kommer från elnätet räknar man med emissionsfaktorn för mixen, medan om bränslen kommer från skog och åkrar som är lokala räknar man på deras emissionsfaktorer som är nära noll. Den andra delen av klimatpåverkan handlar om anläggningen och processen. I denna del räknas tekniken som används in, men även storleken på anläggningen och dess livslängd. Den tredje delen har att göra med eventuell uppgradering och behandling av produkterna som kommer från pyrolysprocessen. Här ingår om ämnen ska separeras bort för att få en annan funktion, ett exempel på detta är att separera ut vatten och syre ur pyrolysoljan för att uppgradera den till bränsle för fordon. Om produkterna ska användas som de är behöver man inte räkna med denna del. Den fjärde och sista delen i klimatpåverkan för pyrolysen är slutanvändningen av

¹ Malin Pettersson, doktorand vid Miljö- och energisystem på Lunds tekniska Högskola, email den 15 april 2021

produkten, om produkterna används till förbränning av förnybara biobränslen antas emissionsfaktorn till noll.

2.7.6 Solceller

Solenergi finns tillgänglig överallt på jorden. För att kunna utnyttja solenergin behövs omvandling som omvandlar solens strålar till el och värme. Denna omvandling sker genom solceller. Energiomvandlingstekniken har visat på positiv energibalans samt låga utsläpp, därför har solceller blivit en populär metod för att producera förnybar energi (Wolf, 2011).

Efterfrågan av förnybar energi har ökat sedan ramöverenskommelsen år 2016 om den svenska energipolitiken. Målet är att Sverige ska ha 100 % förnybar elproduktion år 2040. Solceller har snabbt utvecklats sen 70-talet och idag har tillgängligheten ökat till följd av att priset har sjunkit samt att statligt stöd till solcellsanläggningar tillförts. Ökningen av de svenska solcellsanläggningar gått snabbt då år 2018 fanns det 25 486 nätanslutna anläggningar, vilket var 10 200 anläggningar fler än 2017. Dessutom har den installerade effekten ökat med 78 %, från 231 MW under 2017 till 411 MW år 2018. Trots ökningen utgör dagens solenergi fortfarande mindre än 1 % av den totala elproduktionen (Energimyndigheten, 2020b).

I dagsläge finns det tre dominerade solcellstyper på marknaden; monokristallina solceller, polykristallina solceller och tunnfilmssolceller. Verkningsgraden för dessa varierar från 10 till 22 %, se Tabell 7. Det som oftast är avgörande för vilken typ av solcell som väljs är pris och verkningsgrad. De billigare solcellerna har för det mesta lägre verkningsgrad men om byggnadens förutsättning och behovet går ihop kan det ändå vara ett bra alternativ. Exempelvis kan solceller med lägre verkningsgrad väljas när det finns en stor tillgänglig area som matchar behovet (Energimyndigheten, 2018). Den låga verkningsgraden hos solceller är dock acceptabel även i jämförelsen med annan produktion då solljuset är gratis till skillnad från exempelvis biomassa och kolkraft. Solceller leder även till mindre behov av material och yta då solpanelen kan ta plats på outnyttjade ytor som tak (Wolf, 2011).

Det finns även solceller som alstrar både el och värme, dessa kallas för PVT (Photovoltaic thermal hybrid solar collector). Solceller med PVT-system innehåller två olika material, ett som producerar el och ett som leder värme. Det är ett energieffektivt system då kombinationen maximerar energiutnyttjande per kvadratmeter, vilket är en fördel då takarean är begränsad. Nackdelen med PVT-systemet är att verkningsgraden hos dessa är lägre än exempelvis renodlade el- eller värmesystem (Energimyndigheten, 2018).

Tabell 7: De olika solcellstyperna och dess verkningsgrad tagen ur Energimyndigheten (2019b).

Solcellstyp	Verkningsgrad [%]
Monokristallina solceller	15–22
Polykristallina solceller	15–17
Tunnfilmssolceller	10–16

Solceller har som uppgift att omvandla solenergi till el. De fungerar som strömkälla för att leverera ström till elnätet. En solcell består av en tunn platta eller film av halvledarmaterial, oftast av kisel som preparerats och dopats för att introducera spänningskillnad. Solcellsplattan absorberar fotoner och dessa ger upphov till elektrisk ström. För att kunna utvinna ström från kiselcellen läggs ett ledande metallskikt på undersidan. På ovansidan läggs det på ett gallerformat metallskikt som är något tunnare än den nedre metallskiktet eftersom solljuset måste kunna nå till kiselcellen. När solcellen inte är aktiv är det elektriska energitillståndet lägesenergi hos elektronerna. När solcellen träffas av solljuset ändras dessa till rörelseenergi och friktionsvärme, energin drivs runt som elektrisk ström i en ansluten strömkrets. Så länge det tillförs energi till elektronerna kommer det att fortsätta drivas runt i kretsloppet och producera el som sedan utnyttjas för att driva elektriska apparater och liknande.

Formen på de tillverkade solcellerna är oftast kvadratiska med 12,5 eller 15 centimeters sida. Solcellerna monteras och sammankopplas till så kallad solpanel eller solmodul. Storleken på den totala solpanelen varierar efter behovet, men däremot är solcellen beroende av att fånga in så mycket solljus som möjligt och därför behöver solcellsarean maximeras (Areskoung & Eliasson, 2017). Wolf (2011) hävdar att solceller kan generera elektricitet från 50 till 150 kWh/m² och år, samt att ett normalt villatak kan ta emot cirka fem gånger mer energi än familjens totala energianvändning under ett år. Det blir dock svårare för flervåningshus då behovet är större och tillgång på takarea är desamma.

Potentialen för användning av solenergi i Sverige är relativt hög. I Sverige varierar inte solinstrålningen så mycket mellan norr och söder där medelvärdet för den årliga solinstrålningen är mellan 800 och 1000 kWh/m². Solcellernas effekt påverkas av solinstrålningens intensitet då effektiviteten minskar vid molniga dagar och ger ingen effekt alls på natten. Dessutom fungerar solcellerna bättre vid låga temperaturer men under den svenska vintertiden står solen för lågt för att ge maximal effekt. Eftersom solen är en intermittent energikälla behöver variationerna utjämnas med energilagring för att tillgodose behovet även när solceller inte är aktiva (Wolf, 2011).

Enligt en studie via Luleå tekniska universitet av Altun (2017) kan solelproduktionen täcka elbehovet för en villa så länge de är uppkopplade till elnätet. Dock krävs det stora solcellsanläggningar för att täcka det behovet. Vidare kommer anläggningen att vara beroende av elnätet. Studien visar alltså att det inte är möjligt för hushållet att gå i ö-drift, det vill säga att vara bortkopplade från elnätet då elproduktionen sällan matchar behovet och varierar mycket under åren.

Miljövärdering av solceller

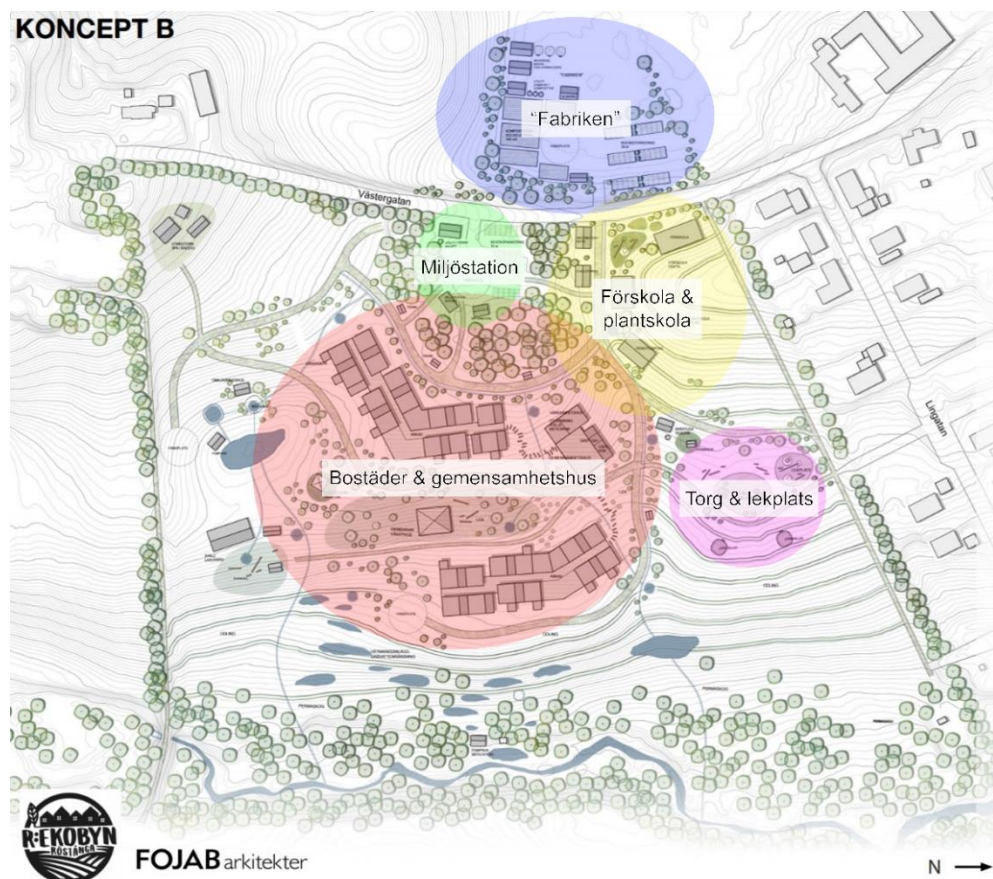
Enligt Areskoung och Eliasson (2017) har solceller en låg miljöpåverkan då den inte ger några avfallsprodukter eller utsläpp av växthusgaser vid användning. De arbetar dessutom ljudlös och kräver knappt något underhåll. Problemet med solceller börjar vid utvinningsfasen då kristallint kisel har en komplicerad utvinningsprocess, samtidigt är produktionsfasen av solceller energikrävande. Fördelen är att energiåterbetalningstiden för solceller är relativt kort jämfört med andra kraftslag. Det tar mellan ett och två år för en solcell i normal solbelysning att tjäna ihop sin egen produktionsenergi.

Produktionen av solceller bidrar till förhållandevis stora utsläpp av växthusgaser då produktionen framför allt sker i länder med stor andel kolkraftverk i sitt elsystem. Detta påverkar då resultatet på livscykelanalys hos solceller eftersom utsläppet ingår i tillverkningsprocessen. Det är svårt att uppskatta exakt hur mycket klimatavtryck solceller i Sverige har eftersom det beror på i vilket land solcellsmodulerna har tillverkats i och hur stor solcellsanläggning tillverkande fabriker har på taket. Genom att ta hänsyn till dessa två aspekter uppskattas solceller att ha en klimatpåverkan på cirka 20g CO₂/kWh (Lindahl et al., 2018). Jämför man utsläppen per kilowattimme för hela solcellens livstid med kolkraftens så bidrar solcellerna upp till 20 gånger lägre utsläpp än för kolkraft (Areskoung & Eliasson, 2017). Livstiden för en stabil solcell är på cirka 30 år och därefter bör materialet återvinnas, men detta är inte alltid möjligt då tunnfilmceller i vissa fall kan innehålla miljöfarliga ämnen skriver Areskoung och Eliasson (2017).

3 Metod

3.1 Koncept B

Systemgränsen som undersöktes var ett radhus från koncept B, ett av tre konceptförslag framtagna av FOJAB Arkitekter och Röstånga R:ekoby. Konceptet bestod av 16–22 radhus vilket motsvarade 32 till 44 bostäder. Bostäderna var tänkta att vara från ett till två våningar med två gästlägenheter för kortare vistelse, samt ett stort gemensamhetshus med vardagsrum, kök och ateljéer. Visionen för detta koncept var att bostäderna skulle vara länkade med varandra och med ett inglasat gemensamt utrymme. Det skulle finnas plats för gemensamma grönytor, odling, miljöstation och umgänge vid kopplingen mellan den nya ekoby och närliggande villaområde. I planen inkluderade även en samlad plats för biogödsel, el-central, kompostering, solcellspark och liknande som skulle utgöra ”Fabriken” för hela ekobyens el- och värmeförsörjning. Dessutom skulle det finnas en förskola och plantskola som var till för hela Röstånga i områdets nordöstra del. Ungefärlig uppläggning för hela R:ekoby område visas i Figur 2 nedan.



Figur 2: Koncept B:s vision, framtagen av FOJAB Arkitekter i samband med tidig projektering av R:ekoby (FOJAB arkitekter, 2018, Röstånga R:ekoby s.11). Figuren är publicerad med tillstånd av FOJAB arkitekter och markeringarna är tillagda i efterhand för att visa var olika delarna av ekoby är.

3.2 Parameterstudier

Radhuset undersöktes vidare vad gällde materialval, utformning och VVS-system. Undersökningen gjordes i ordning där olika system och undersökningsobjekt lades på i efterhand. Första steget var att utforma ett så kallad basfall för att underlätta jämförelsen mellan materialens miljöpåverkan. I nästa steg lades olika ventilations- och uppvärmningssystem till på ett av de bättre fallen. Sedan jämfördes några kombinationer för att i slutändan komma fram till en komplett byggnad med den bästa energiprestanda och lägst miljöpåverkan.

Byggnadens material valdes genom att göra litteraturstudier, samt via en enkät (Bilaga C) som skickades ut till föreningsmedlemmarna för att få deras synpunkter om vilka material de kunde tänka sig använda i byggnaderna. Utifrån deras svar och litteraturstudier gjordes förslag på byggnadens byggnadsskal. Fasadmateriale och taktäckning var två parametrar som inte ingick i enkäten eftersom de inte hade stor inverkan på byggnadens värmemotstånd. Taktäcknings- och fasadmaterialet bestämdes genom att undersöka vad som fanns tillgängligt i de olika programmen som användes i studien.

Ventilationssystemen till radhuset valdes utifrån energieffektivitet och inneklimatkomfort samtidigt som de skulle uppfylla BBR-krav. De valda ventilationssystemen som jämfördes var F-system och FTX-system. Då det inte fanns fjärrvärmenät anslutet till Röstånga måste lokal energiförsörjning antas. Då föreningen visade intresse för lokalproducerade el och värme antogs det att de skulle bygga en förbränningsanläggning som skulle vara anslutna till bostäderna. Anläggningen var till för att göra det möjligt att elda träflis för att introducera ett eget producerat fjärrvärmenät med pyrolysisprocess. På så sätt kunde ekoby bli självförsörjande och även transportemissionsfaktorerna kunde försummas. Andra energisystem som undersöktes var frånluftsvärmepump och bergvärmepump som var vanliga i dagens byggteknik, och för att främja den hållbara utvecklingen med förnybar energikälla undersöktes även solceller.

3.3 Energiförbrukning & byggnadssimulering

Byggnadens energianvändning och köpt energi var framtagna med hjälp av energisimuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy, IDA ICE. Det var ett simuleringsverktyg där byggnadens VVS-system, byggnadsskal, material och mycket mer kan modelleras med hög noggrannhet.

Den köpta energin motsvarade inte uppvärmningsbehovet av huset då uppvärmningsbehovet inte tog hänsyn till hur energin producerades eller hur den utnyttjas. Den köpta energin från IDA gav då en förståelse om vart energin kom från och vart den tog vägen. I programmet presenterades den köpta energin som levererad energi, där ingick värme och el till uppvärmning, hushållsel, fastighetsel, varmvatten och avdrag från solelexport. Det vill säga att den köpta energin inkluderade även el för värmepumpar och fläktar. Värdena på den köpta energin användes även vid beräkningen av byggnadens och uppvärmningssystemens miljöpåverkan.

Vid uppbyggandet av IDA ICE modellen användes de tekniska egenskaperna såsom densitet, specifik värmekapacitet och värmekonduktiviteten för att bygga upp materialen i programmet. Exempel på tekniska egenskaper hos olika material finns i Tabell 3 och Tabell 4.

Värdena till byggnadens indata i IDA ICE var schablonvärde tagna från Boverkets föreskrifter och allmänna råd, BFS 2016:12 – BEN 1. Boverkets beräkning av byggnadens energiprestanda, BEN var fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår (Boverket, 2016). Värdena som var tagna från BEN var bland annat personvärme, tappvarmvatten, hushållsenergi, luftflöden och lägsta inomhustemperatur. Den tekniska egenskapen för energisystemen begränsades till IDA ICE data och det som fanns tillgänglig i programmet, det vill säga inga hänvisningar till specifika produkter som fanns ute i marknaden.

Solcellsanläggningen antogs täcka det årliga hushållsenergibehovet. Enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd uppskattades behovet till 30 kWh/m². Vid undersökning av en byggnad multiplicerades värdet med byggnadens golvarea som uppskattades till 242 kvadratmeter. Den totala solpanelens storlek beräknades till 50 kvadratmeter per radhus då en kvadratmeter förväntades generera cirka 150 kWh elenergi enligt tidigare litteraturstudier.

3.4 Livscykelanalys metodik

Med hållbarhet i denna studie menas med en byggnad som har en låg miljöpåverkan och låg energianvändning. Hållbarhetsanalys inom dessa två områdena genomfördes med hjälp av livscykelanalys. Livscykelanalysen gjordes med hjälp av verktyget Renobuild, ett verktyg implementerat i MS Excel där indata för byggnadens energibehov och utformning resulterade i en hållbarhetsanalys. Verktyget gav en möjlighet att jämföra olika alternativ utifrån tre perspektiv: socialt, ekonomiskt och miljömässigt (Renobuild, u.å.). Eftersom examensarbetet bestod av jämförelser för olika val kunde verktyget även tillämpas för denna undersökning. I detta fall tillämpades verktyget för att beräkna och bedöma byggnadens miljöpåverkan ur ett miljöperspektiv under byggnadens livstid som uppskattades till 30 år.

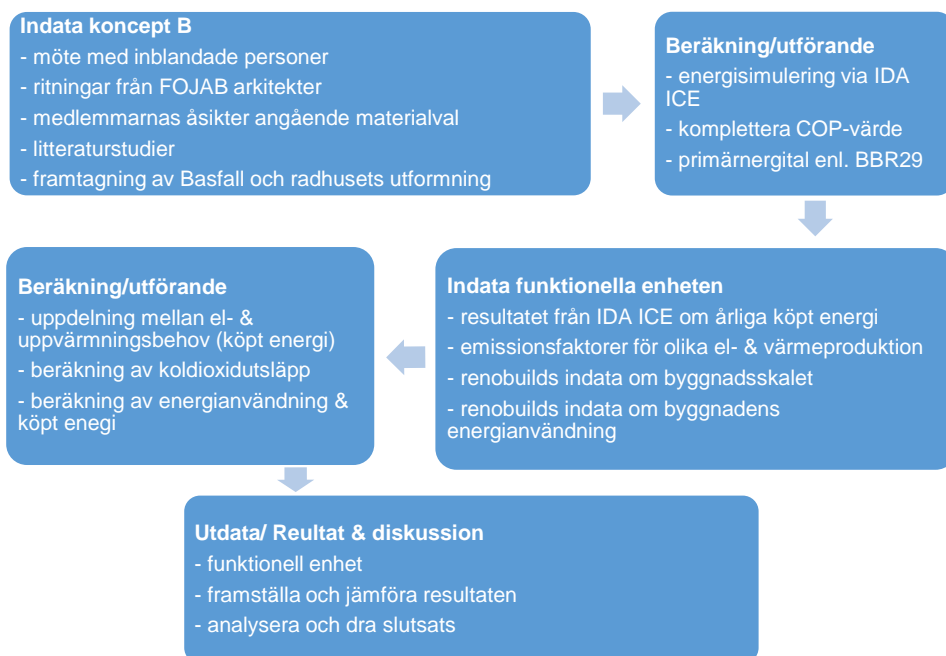
Renobuild använde sig av schabloner vid beräkning av skillnaden i miljöpåverkan mellan olika alternativ inom områdena energisystem, energianvändning, isolering, fönster och dörrar, byggnadsmaterial, distributionssystem av VVS samt övriga tillägg som inte finns med i programmet. Verktyget adderade sedan ihop värdena ifrån produktion, användning, transport och avfallshantering för att få ett slutligt resultat i klimatpåverkan.

Indata till Renobuild vad gällde transport antogs leverantörer från Malmö med transportsträckan på 60 km. Vid beräkning av miljöpåverkan via Renobuild behövdes data tas fram för att få fram vikt och dimensionerande värmeeffekt för energisystem och dess komponenter. I Bilaga D visas vilka produkter och värden som användes vid framtagning av resultat, men har annars ingen inverkan på examensarbetet.

Jämförelsen av byggnadens miljöprestanda var baserad på samma grundläggande funktion, den funktionella enheten. I detta fall var den indelad i två miljöpåverkans-kategorier, en som presenterades byggnadens energianvändning med enheten $\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år och en för byggnadens miljöpåverkan med enheten $\text{g CO}_2\text{-ekv /m}^2 A_{\text{temp}}$, år. Miljöpåverkan från uppvärmningssystemen beräknades med hjälp av emissionsfaktorer. Emissionsvärde presenterades som utsläpp av koldioxid per enhet resursanvändning. Fokuset låg på bränslets ursprung och för el till värmepumpar begränsas valet mellan Svensk elmix och Nordisk elmix. Värde på relevanta emissionsfaktorer hänvisas till Tabell 2. Beräkningarna gjordes genom att multiplicera emissionsfaktorerna med byggnadens köpta energi.

3.5 Examensarbetets upplägg

Examensarbete bestod av flera moment och metoder som följde varandra i ordning. De resultaten som erhöles från olika metoderna var beroenden av varandra. För att underlätta arbetsgången delades arbetet upp i fem steg. Sammanställning av examensarbetets uppläggning illustreras i Figur 3.



Figur 3: Sammanfattning på tillvägagångsen på detta examensarbete.

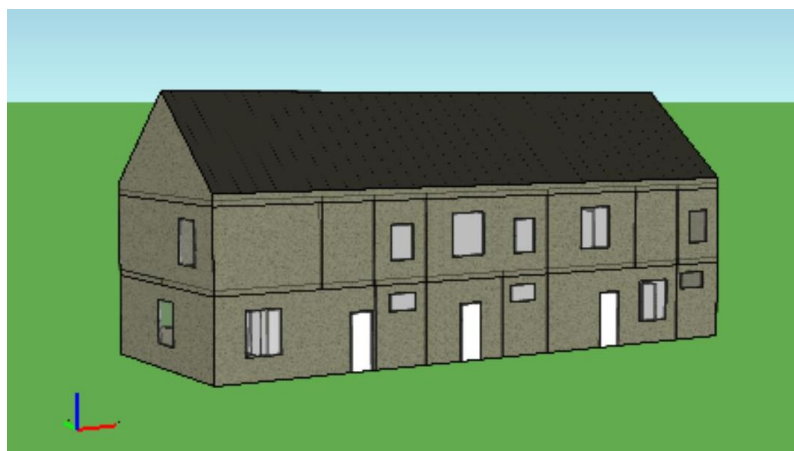
4 Utformning av radhuset

För att utforma byggnaden var det flera parametrar som behövdes bestämmas. Genom att utgå från ritningar, framtagna av FOJAB Arkitekter (Se Figur 2 & Figur 4) erhöles måtten, planlösningen och grunderna till radhusets utformning. Utformning av huset material var inte bestämt vilket gjorde att undersökningar gjordes för att få fram vilka material som skulle undersökas (Se avsnitt 3.2 Parameterstudier och Bilaga C).



Figur 4: Ett av Koncept B:s radhus, av FOJABS Arkitekter (2018, s. 11).

Grundkonstruktionen på radhuset valdes till platta på mark för att till fullo kunna utnyttja markens värmemotstånd. Bottenarean på golvet var 150,7 m² och den uppvärmda golvarean var 242 m². Antal rum i de olika lägenheterna var tagna utifrån planlösningen (Figur 4) med undantag för extra rummet som inte var inkluderat i studien. Något som inte var inlagt i FOJAB Arkitekter ritningar var fönster och dess placering. Fönstren placerades ut för att följa Boverkets krav på tillgång till dagsljuset. I byggnaden placerades det totalt ut 20 fönster med en gemensam area på 29,88 m², vilket motsvarar mer än 10 % av golvarean och kommer därtill att klara av BBR-kravet (Boverket, 2020b). Radhusets slutgiltiga modell i IDA ICE visas i Figur 5.



Figur 5: Radhusets modell i IDA ICE.

Taklutningen på byggnaden har betydelse för takets förmåga att leda undan nederbörd, främja förutsättningen för installering av solceller samt eventuell byggnation av gröna tak. För att tillgodose så många av dessa kriterier som möjligt sattes taklutningen till 40° som ligger inom ramen för att maximera elproduktionen av solceller enligt Energimyndigheten (2019a). Bilaga E visar mer ingående information om vilken indata som användes i IDA ICE angående solcellerna. Taklutningen på 40° kommer inte att främja beläggningen av gröna tak, men då taket inte kommer att ha något större inverkan på energianvändningen kommer inga specifika tak att undersökas.

I Koncept B, under avsnitt 3.1 beskrevs det att mellan bostäderna skulle finnas ett atrium, det vill säga ett inglasad utrymme. I denna studie för utformningen av radhuset valdes det att inte inkludera atrium. Detta för att FOJAB Arkitekter tidigare har gjort en enkel undersökning angående atriums förutsättningar och energipåverkan. Atrium är dessutom ett stort ämne som berör många byggtekniska och byggfysiska områden, och för att inte komplicera studien valdes det bort.

5 Resultat och analys

Resultaten av undersökningen presenteras i kronologisk ordning och följer uppläggningsen som presenterades i Figur 3. För att göra det enkelt att följa är kapitlet uppdelat i tre delar, där del ett presenterar resultaten på materialvalen och del två resultaten på byggnadens energiprestanda. Del tre presenterar de olika uppvärmningssystemens- och byggnadens miljöpåverkan.

5.1 Materialkombinationer

Till IDA ICE modellerna valdes materialen utifrån enkäten R:ekoby byggnadsmaterial (Bilaga C) samt med hjälp av litteraturstudierna i kapitel 2. Tabell 8 visar vilka material som valdes och Bilaga F visar vilka kombinationer som användes vid parameterstudien. IDA ICE hade inte möjligheten att bygga upp sammansatta material, för att skriva in nya material i programmet behövdes de tekniska egenskaperna. De sammansatta materialen räknades ihop för hand med hjälp av värdena i Tabell 3 och Tabell 4. Beräkningen finns i Bilaga G. Alla materialkombinationer använde sig av trästomme, träpanel och takpapp.

Tabell 8: Materialen som undersökts i IDA ICE och Renobuild.

Material som undersökts i IDA ICE modeller samt i Renobuild				
Grundmaterial	Stommaterial	Värmeisoleringsmaterial	Fasadmaterial	Takmaterial
Betong	Trä	Glasull	Träpanel	Takpapp (Renobuild)
Koljern (foamglas)		Träfiber		
		Hampafiber		
		Cellulosafiber		

5.2 Byggnadens energiprestanda

De valda byggnadsmaterialen från föregående delkapitlet simulerades med hjälp av IDA ICE. För att enbart kunna fokusera på materialens påverkan har ventilations- och energisystemet varit desamma, vilket var frånluftssystem och uppvärmning genom fjärrvärmenätet. I Tabell 9 redovisas byggnadens köpta energi för de olika fallen där grunden och isoleringsmaterialet bytes ut.

Resultaten presenteras i köpt energi. Köpt energi är i detta fall den energin som köps in för att tillgodose byggnadens totala energibehov, där ingår hushållsenergi, fastighetsenergi, tappvarmvatten och energi till uppvärmningen samt avdrag från solelexport. Tillskillnad från energianvändningen måste den köpta energin även täcka energin som behövs för att driva pumpar, fläktar och andra hushållsapparater. För en mer genomgående förklaring se avsnitt 3.3 Energiberäkning & byggnadssimulering.

Tabell 9: Byggnadens köpta energi för materialkombinationerna som undersöktes med hjälp av IDA ICE.

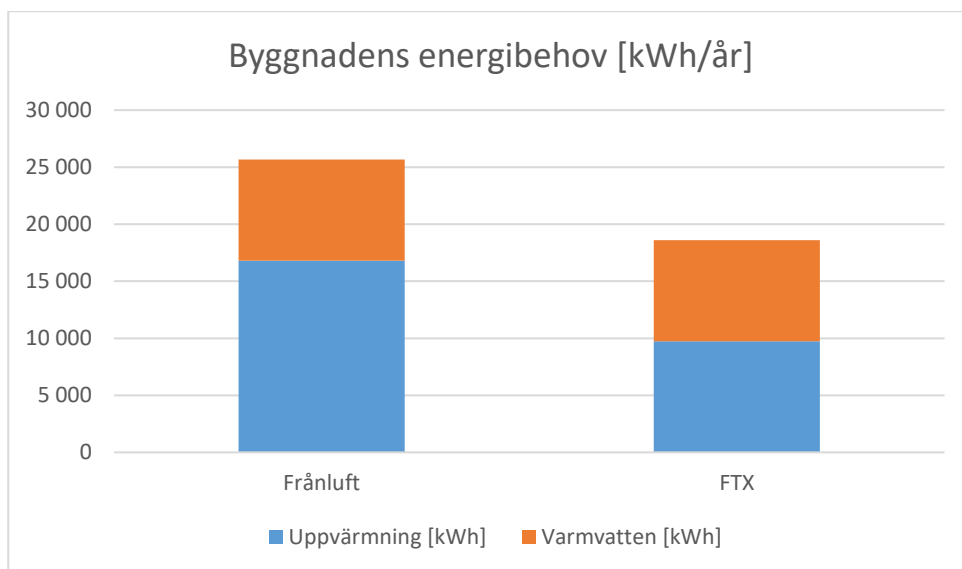
Koncept B	Beskrivning	Köpt energi [kWh/år]
Basfall	Mineralull som isoleringsmaterial, platta på mark (betong)	32 265
Koljern-teknik	Basfall med Koljern-teknik i grunden.	32 395
Träfiber	Koljern-teknik med träfiber som isoleringsmaterial	32 023
Hampafiber	Koljern-teknik med hampafiber som isoleringsmaterial	31 911
Cellulosafiber	Koljern-teknik med cellulosafiber som isoleringsmaterial	31 854

Efter att ha studerat energiförbrukningen och den köpta energin för varje fall har ett av de fem fallen valts ut för att undersökas vidare vad gällde ventilation- och uppvärmningssystem. Eftersom det inte var större skillnader ur energisynpunkten från föregående resultaten kom valet att baseras på klimatpåverkan som presenteras i Tabell 10.

Tabell 10: Materialens klimatpåverkan enligt Renobuild, uträknat på 30 år.

Koncept B	Beskrivning	Klimatpåverkan [ton CO ₂ -ekv]	Klimatpåverkan [g CO ₂ -ekv/A _{temp} , år]
Basfall	Mineralull som isoleringsmaterial, platta på mark (betong)	63	8 678
Koljern-teknik	Basfall med Koljern-teknik i grunden.	60	8 264
Träfiber	Koljern-teknik med träfiber som isoleringsmaterial	60	8 264
Hampafiber	Koljern-teknik med hampafiber som isoleringsmaterial	52	7 163
Cellulosafiber	Koljern-teknik med cellulosafiber som isoleringsmaterial	57	7 851

Det valda fallet, ”Hampafiber” baserades på livscykelanalysens resultat tagen från Renobuildberäkningen som visade på att hampafiberisolering med Koljern-teknik var det mest miljövänliga alternativet. Byggnadens årliga energianvändning för uppvärmning och varmvatten togs fram i samband med undersökningen om byggnadens ventilationssystem. Resultaten presenteras i Figur 6.

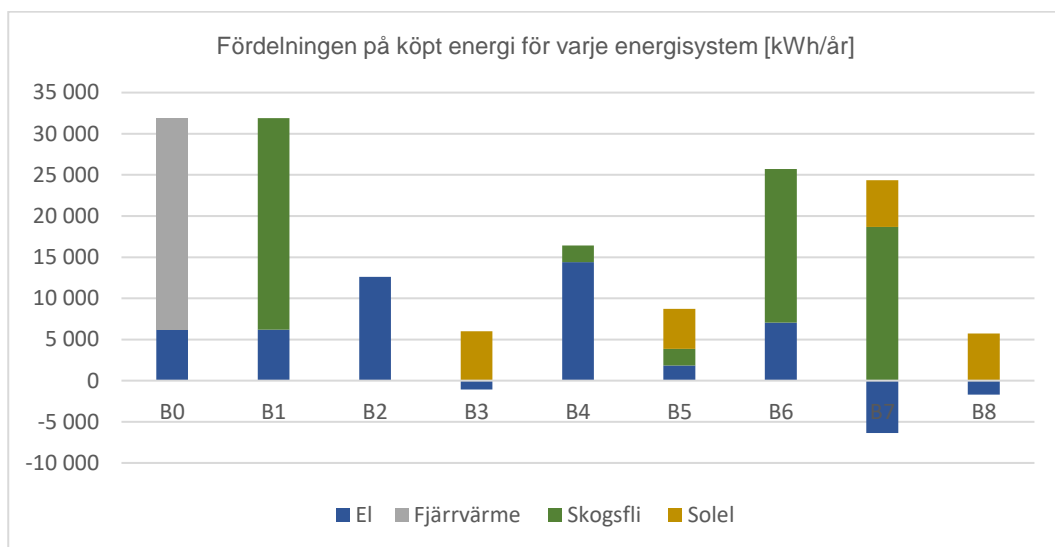


Figur 6: Byggnadens energianvändning räknat med uppvärmnings- och varmvattenbehov för de olika ventilationssystem.

De valda uppvärmningssystemen som simulerades beskrivs tidigare i metodkapitlet. Eftersom några av systemen inte var menade att användas ensamma har olika kombinationer gjorts, dels för att få en verklighetsbild av fördelningen, dels för att undersöka olika möjligheter för eventuella vidare forskning om exempelvis ekonomi. I detta steg jämfördes totalt nio fall som döptes till B0-B8. Den levererade energin för de nio fallen redovisas i Tabell 11 nedan. Energifördelningen för varje ingående uppvärmningssystem presenteras i Figur 7. Energifördelningen presenteras i fyra olika källor där el menas med den levererade elen till värmepumpar. Värmen från pyrolysen presenteras som skogsflis då skogsflisen förbränns vid introduktion till pyrolysen. Med solex i samma figur menas med elproduktionen från 50 kvadratmeters installerade solceller. Resultaten som presenteras i Figur 7 är baserade på beräkningen från Bilaga H.

Tabell 11: Jämförelsefallens köpt energibehov för olika uppvärmningssystem och kombination.

Beteckning	Beskrivning	Köpt energi [kWh/år]
B0	Frånluft & Fjärrvärme	31 911
B1	Frånluft & Pyrolys	31 911
B2	Frånluft & Bergvärmepump	12 621
B3	Frånluft & Bergvärmepump + 50m ² solceller	4 907
B4	FVP & Pyrolys	16 438
B5	FVP & Pyrolys + 50m ² solceller	8 723
B6	FTX & Pyrolys	25 721
B7	FTX & Pyrolys + 50m ² solceller	18 000
B8	FTX & Bergvärmepump + 50m ² solceller	4 006



Figur 7: Fördelningen av köpt energi för ingående uppvärmningssystem och fall.

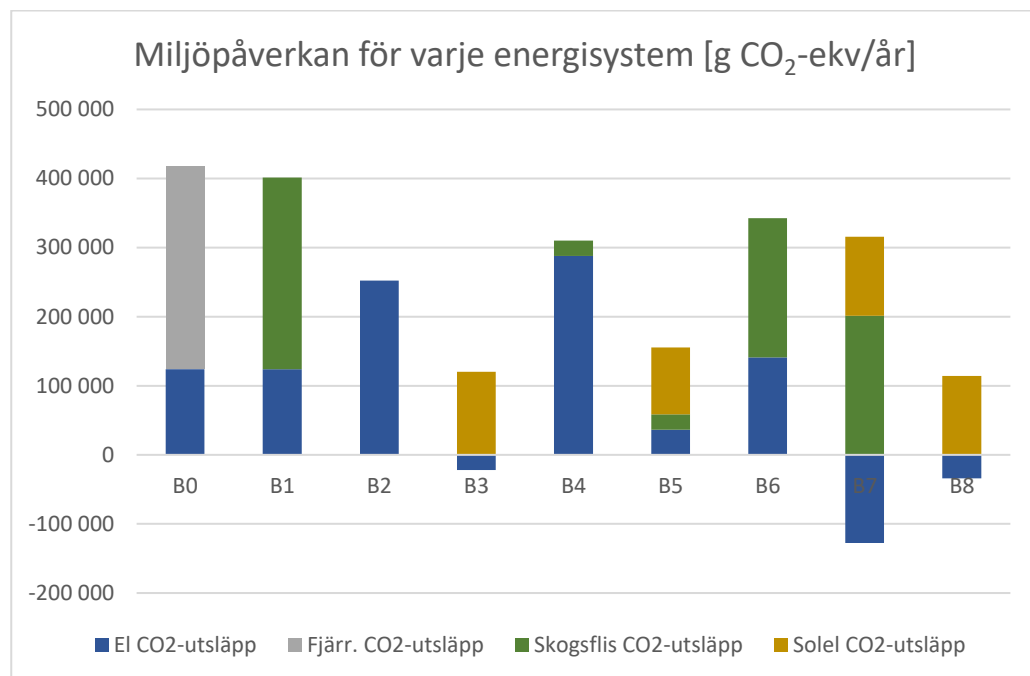
Den köpta energin för varje fall varierade beroende på vad de hade för ventilation- och energisystemkombination. Fallen undersöktes vidare i syftet att kontrollera om byggnaden uppfyllde BBR:s krav för småhus större än 130m². Det högsta tillåtna primärenergitalet för byggnaden var 90 kWh/m², A_{temp}, år enligt BBR29. Resultatet erhålls i Tabell 12 nedan. Primärenergitalets beräkningar hänvisas till ekvation (2) och Bilaga I.

Tabell 12: De beräknade primärenergitalet, EP_{pet} för varje fall.

Fall	Beskrivning	Primärenergital, EP _{pet} [kWh/m ² , A _{temp} ,år]
B0	Frånluft & Fjärrvärme	87
B1	Frånluft & Pyrolys	75
B2	Frånluft & Bergvärmepump	57
B3	Frånluft & Bergvärmepump + 50m ² solceller	55
B4	FVP & Pyrolys	77
B5	FVP & Pyrolys + 50m ² solceller	64
B6	FTX & Pyrolys	62
B7	FTX & Pyrolys + 50m ² solceller	58
B8	FTX & Bergvärmepump + 50m ² solceller	45

5.3 Byggnadens miljöpåverkan

Byggnadens miljöpåverkan presenteras på två olika sätt, där det första presenterar byggnadens miljöpåverkan ur energihushållningsperspektivet där fokuset låg på elens och värmens ursprung. Uppvärmningssystemens miljöpåverkan beräknades med hjälp av trovärdiga emissionsfaktorer enligt Tabell 2 och resultaten erhålls i Figur 8. Det andra resultatet presenteras senare i delkapitlet.



Figur 8: Det totala koldioxidutsläppet för varje uppvärmningssystem och fall.

Värdena som presenteras i Figur 8 var baserade på siffrorna av den köpta energin från föregående resultaten samt emissionsfaktorer för varje ursprung. På några av fallen hade elens koldioxidutsläpp varit negativa. Detta kan ha berott på att elproduktionen från solcellerna har varit större än elbehovet i några av fallen. Vid beräkningen prioriterades solelproduktionen, som i vissa fall även täcktes över elbehovet. Därför har elens utsläpp varit negativa i den detaljerade fördelningen. Vid sammanställningen av det hela resultatet summerades de olika fördelningarna ihop och presenteras sedan i den funktionella enheten. För att få korrekt enhet dividerades det totala koldioxidutsläppet och den köpta energin per år med byggnadens golvarea. Tabell 13 visar byggnadens miljöpåverkan i de två bestämda miljöpåverkanskategorierna, energianvändning respektive koldioxidutsläpp per kvadratmeter och år. Mer ingående om beräkningen och fördelningen se Bilaga H.

Tabell 13: Byggnadens miljöpåverkan presenteras i den funktionella enheten.

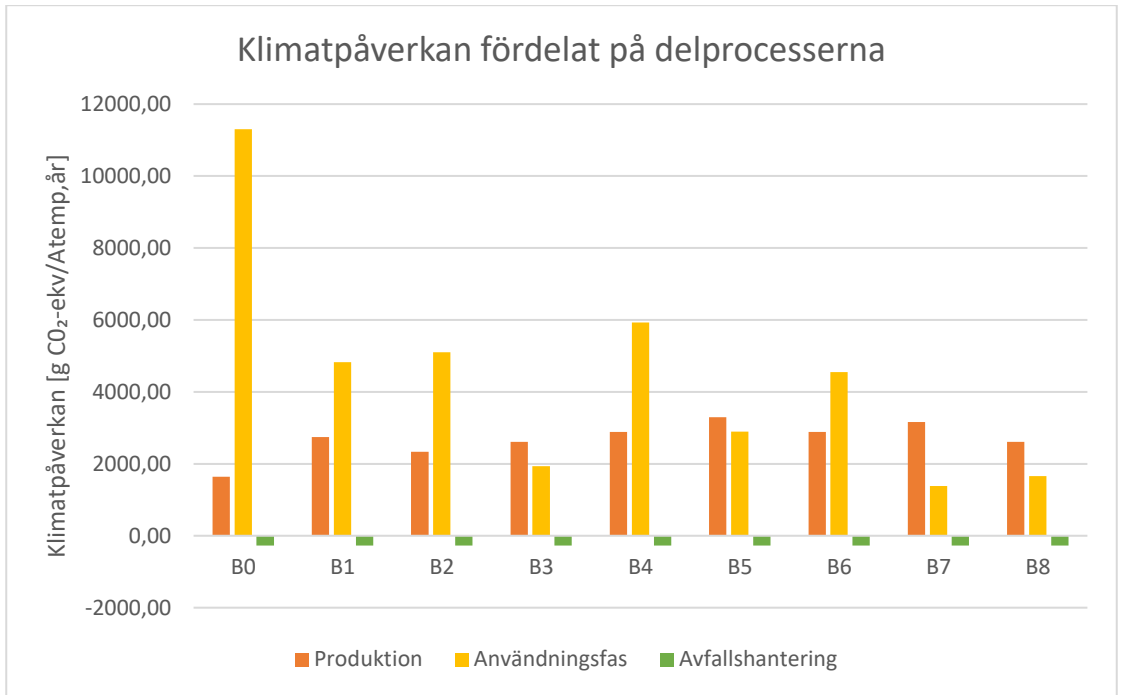
Fall	Köpt energi [kWh/m ² A _{temp} , år]	Klimatpåverkan [g CO ₂ -ekv/ m ² A _{temp} , år]
B0	132	1 725
B1	132	1 661
B2	52	1 044
B3	20	406
B4	68	1 282
B5	36	644
B6	106	1 417
B7	74	779
B8	17	331

Det andra resultatet erhöles genom renoveringsprogrammet Renobuild. Till skillnad från resultatet som presenterades i Figur 8 som använde sig av elens- och värmens ursprung, räknas klimatpåverkan av material och ventilations- och energisystem ihop i Renobuild. Klimatpåverkan för de olika ventilations- och energisystemkombinationerna presenterades i Renobuild som ton CO₂-ekvivalent. Resultaten omvandlades sedan till g CO₂-ekv/m²A_{temp}, år för att kunna presentera i den bestämda funktionell enhet. Resultatet från Renobuild presenteras i Tabell 14.

Tabell 14: Miljöpåverkan av olika alternativ av energisystem och VVS-system tagna från Renobuild. Beräkningsperiod 30 år.

Koncept B	Beskrivning	Klimatpåverkan [ton CO ₂ -ekv, 30 år]	Klimatpåverkan [g CO ₂ -ekv/A _{temp} , år]
B0	Frånluft + fjärrvärme	93	12 821
B1	Frånluft + pelletspanna	53	7 306
B2	Frånluft + bergvärme	52	7 168
B3	Frånluft + bergvärme + solcell	32	4 411
B4	FVP + pelletspanna	62	8 547
B5	FVP + pelletspanna + solcell	42	5 790
B6	FTX + pelletspanna	51	7 031
B7	FTX + pelletspanna + solcell	31	4 274
B8	FTX + bergvärme + solcell	29	3 998

Klimatpåverkan för byggnaden kunde sedan delas in i olika delprocesser: produktion, användning och avfallshantering. Resultatet är baserat på utdata från Renobuild och redovisas i Figur 9 nedan. Utifrån resultatet i samma figur kan man se vilken delprocess som var dominerande i de olika kombinationerna B0-B8.



Figur 9: Klimatpåverkan fördelat på delprocesserna produktion, användningsfas och avfallshantering baserat på resultat från Renobuild.

6 Diskussion och slutsatser

Detta examensarbets omfattning var relativt stor då det var många parametrar som var inblandade. Avgränsningar har gjorts för att underlätta beräkningen och tidsåtgången. Det är viktigt att poängtera att siffrorna för varje fall kan avvika mot verkligheten då många faktorer och värden var antagna utifrån dåvarande föreskrifter, litteraturstudien och programmets tillgängliga data. Då materialvalen inte redan var fastställt togs utformningen fram baserat på föreningens dåvarande åsikter och ekobyns värderingar för hållbarhet. Rapporten kommer alltså inte att kunna tillämpas i ett annat ekobyprojekt med annorlunda förutsättningar.

Det var inte heller möjligt att undersöka alla material enligt föreningens önskan då många av de mer exotiska materialen saknade trovärdiga underlag. Valmöjligheten för materialen har därför varit förhållandevis begränsade. Slutligen valdes träregelvägg ut för vidare studier då trä visade sig vara det mest miljövänliga alternativet som stommaterial, och andra väggtyper uteslöts redan där.

Ur livscykelperspektivet var det svårt att konstatera vilken materialkombination som var den bästa då det var många faktorer som spelade in. Vid jämförelsen av byggnadsmaterialens miljöpåverkan som visas i Tabell 10 hade en byggnad med träfiberisolerings samma miljöpåverkan som samma byggnad med mineralull, vilket var oväntat. Det fanns dock osäkerhet i detta resultat då träfiberisolerings inte fanns med i Renobuilds databas. Databasen innehöll endast värmeisoleringsmaterialen glasull, stenull, cellplast och cellulosafiber. Detta ledde till att värdet på träfibers emissionsvärde behövdes för att gå vidare med studien. Eftersom Renobuild är ett slutet program där man inte kan se uträkningarna på hur de olika parametrarna väger in i det slutgiltiga resultatet är det stor sannolikhet att värdet på träfiber inte räknades på samma sätt som mineralullen. På grund av detta kan resultatet av träfibern i förhållande till de andra värmeisoleringsmaterialen påverkats. Även om resultaten från Tabell 10 pekade på att träregelvägg med hampafiberisolerings och Koljern-teknik var det bästa alternativet kunde detta även vara missvisande. Detta eftersom byggnadsmaterialdelen av hållbart byggandet var mycket större än vad detta examensarbete kunde utsträcka sig till. Undersökningen behandlade enbart koldioxidutsläppet av byggnadsmaterialen och det fanns många andra miljöpåverkanskategorier som inte undersöktes.

Som Tabell 12 visar klarade alla nio fallen av BBR29 kravet då allas primärenergital låg under 90 kWh/m^2 , A_{temp} , år. I samma tabell visas det att fall B8 hade den bästa energiprestanda med så lågt primärenergital som 45 kWh/m^2 A_{temp} , år vilket motsvarade hälften av kravnivån. Det fallet som hade det högsta primärenergitalet var fall B0 som var nära på att inte klara av kravet. Anledningen till detta kan vara att all energi som användes i byggnaden kom från fjärrvärme, och eftersom byggnaden hade F-systemen som inte kunde återvinna värmen blev denna siffra relativt hög jämfört med andra kombinationer.

Vid beräkningen på de olika fallens energiprestanda användes EP_{pet} ekvationen som redan beskrivit i teorin (se 2.6.2 Byggnadens energiprestanda och regelverk). Resultaten för varje fall erhöles bland annat genom att multiplicera med viktningfaktor för

respektive energibärare. Energimyndigheten (2015) menade att viktningsfaktorer för energibärare inte borde användas i styrmedel då det kunde leda till en försämring i energimarknadens funktion. Detta styrmedel var tydligt då skillnaden mellan viktningsfaktorn för el och fjärrvärme skiljde sig enormt, vilket också påverkade byggnadens energiresultat.

Resultaten av jämförelsen mellan ventilationssystemen visas tydligt i Figur 6. FTX-systemet med 85 % återvinningseffektivitet bidrog med stor energibesparing då byggnadens energibehov minskade från cirka 25 000 kWh/år i F-system fallet till cirka 18 600 kWh/år efter bytet till FTX-system. I Bilaga J visas de olika systemens värmeåtervinning. Systemet med högst värmeåtervinning var FVP som kunde återvinna värmen upp till 16 000 kWh/år, vilket var högre än FTX-system som hade värmeåtervinning på cirka 8 800 kWh/år. Resultatet var dock inget nytt då både FVP och FTX-system redan var kända för sin energibesparing från tidigare litteraturstudier. Nackdelen med systemen var att de drog ungefär dubbelt så mycket fläktel jämförts med F-system.

Bergvärmepumpens miljöpåverkan visade på ett positivt resultat då värmepumpen gick på svensk elmix som hade en relativ låg emissionsfaktor. Som visas i Tabell 2 har Svensk elmix en mycket lägre emissionsfaktor än Nordisk elmix, vilket var en anledning till att den valdes. Fördelen med bergvärmepumpar jämfört med fjärrvärme var att de gick på el, och var mer effektiva då det krävdes mindre elenergi för att driva systemet i förhållandet till hur mycket värme som fås ut. Enligt tidigare studier sägs COP-värde för bergvärmepumpar vara från cirka 2,5 till 4 beroende på driftförhållandet. I denna studie valdes COP-värde till 4 eftersom siffran anses vara trolig för dagens teknik. En bergvärmepump kommer inte att ytterligare bidra till mer koldioxidutsläpp under sin användningsfas, och inte heller mycket mer vid skrotningen då allt, enligt teorin är återvinningsbart. Som tidigare nämnt under teorin delen 2.7.3 om bergvärmepumpen har den svenska bergart rätt förhållande för installation av bergvärmepumpar, vilket gjorde att alternativet både var miljövänligt och lämpligt för projektet.

Det fanns osäkerheter i uppvärmningssystemens miljöpåverkan då dessa var baserade på emissionsfaktorer vars siffror inte var uppdaterade. I Röstånga där undersökningen gjordes fanns det för närvarande inte något fjärrvärmenät, men eftersom detta kan ändras med tiden kunde detta vara ett relevant antagande för studien. Osäkerheten uppstod redan då fjärrvärmens emissionsfaktor var hämtade från Kraftringen av Lunds produktion. Dessutom fanns det osäkerheter vid beräkning av pyrolysens miljöpåverkan. På grund av att pyrolys-processen inte var lika etablerad som de andra uppvärmningssystemen påverkade det även resultatet. I undersökningen räknades pyrolysens primärenergital med viktningsfaktorn för biobränsle. Biobränslets viktningsfaktor tog inte hänsyn till att restprodukten biokol kunde binda upp kolet och därmed inte släppte ut lika mycket koldioxid i luften, utan biokolet kunde ge näring till jorden i form av fosfor. I handberäkningen med emissionsfaktorer beräknades pyrolysens miljöpåverkan med skogsflisens värde från 2011. Då tekniken har utvecklats mycket sedan dess kunde inte siffran vara helt förlitlig. I programmet Renobuild fanns inte uppvärmningssystemet för pyrolys eller en flispanna med vilken annars var det närmsta alternativet. Då inte alternativen som behövdes fanns med i programmet, valdes en pelletspanna ut för att

ersätta pyrolysen. Alla dessa osäkerheter ledde till att alternativen med pyrolysis behöver undersökas ytterligare för att få ett mer rättvist resultat.

Solelens miljöpåverkan var som tidigare beskrivits beroende på vart solcellen var producerad och vilken energikälla som fabriken använde sig av vid produktionen. Enligt Lindahl, Dalenbäck och Löwenhielm (2018) kunde siffran uppskattas till 20 g CO₂-ekv/kWh, vilket var den siffran som valdes vid beräkning av elproduktionens miljöpåverkan. Siffran antas vara relativt hög, men fördelen med solceller var att de inte kommer att ha en ytterligare negativ miljöpåverkan under användningsfasen. Vid beräkning av solelproduktionen i Renobuild var den exporterade solelen inräknat, vilket kunde ha påverkat resultaten. Den exporterade solelen hade bidragit till lägre miljöpåverkan på grund av att Renobuild hanterade dessa som ett negativt CO₂-utsläpp. Enligt resultaten som erhöles, både från Renobuild och handberäkning var solceller ett bra alternativ i hållbarhetssammanhang då alla fallen som hade solceller visat på en mindre miljöpåverkan.

Grunden till valet av solpanelens storlek var att produktionen skulle täcka hushållsenergin som med schablonvärde beräknades till 7 260 kWh/år. Solelen som producerades täckte alltså det behovet utan något problem. Den totala solelen som producerades på 50 kvadratmeters solceller redovisas i Bilaga . Som visas i Bilaga H har byggnaden använt sig av mer än 50 % av de energin som producerades.

Resultaten som erhöles av denna studie visade att dagens välutvecklade solceller kan ha en så hög effektivitet att de kan producera minst 150 kWh/m² till skillnad från en äldre litteraturstudie från Wolf (2011) som hade sitt underlag mellan 50–150 kWh/m². Effektiviteten på denna studies installerade solceller i IDA var på 16 %. Eftersom verkningsgraden hos solcellerna kunde vara så hög som 22 % enligt Tabell 7 var resultatsiffrorna en minimum av vad andra solcellstyper kan producera.

Resultaten som visades i Figur 7 om fördelningen av den köpta energin för varje fall erhöles från IDA ICE simulering som simulerades under en årsperiod. I figuren har elanvändningen varit negativa på de fallen som innehöll solceller, förklaringen till detta kan vara att solelen som producerades kunde i vissa tider användas direkt till hushållsenergi och även för att driva värmepumpar. På så sätt kunde elproduktionen och elanvändningen ta ut varandra och minska behovet av den totala elenergin. Eftersom Figur 8 var baserade på resultaten av den köpta energin har koldioxidutsläpp för elen varit negativa i de fallen med solceller. Resultaten kan då misstolkas eftersom det såg ut som att energisystemet fungerat som en kolsänka. Den summerade resultaten som presenteras i den funktionella enheten i Tabell 13 kan då överstrykas om att värdena som erhöles inte var negativa.

Vid undersökning av klimatpåverkan på de tre olika delprocesserna var det tydligt att avfallshanteringsfasen var minst och lika på alla fallen, se Figur 9. Anledningen till detta kan vara att Renobuild antagit samma återvinningsprocess för alla fallen. Om byggnaden antogs behandlas på samma sätt efter rivningen kommer det inte att finnas någon jämförelse och då är avfallshanteringsfasen desamma på alla, vilket kan tyckas vara något missvisande då olika fallen bestod av olika system som hade olika behandlings-

processer. I samma figur visas det också att alla fallen med solceller, det vill säga fall B3, B5, B7 och B8 hade högst miljöpåverkan under produktionsfasen jämfört med andra fallen utan solceller. Detta stämde överens med teorin då solcellers största miljöpåverkan förväntades vara under produktionsfasen.

För att kontrollera om beräkningen var rimlig kunde resultaten av klimatpåverkan från Renobuild jämföras med handberäkningen med emissionsfaktorer. Både resultaten från Tabell 13 och Tabell 14 var överens om att B8 var det bästa lösningsalternativet även om siffrorna skiljde sig från varandra. Det var inte förvånande att siffrorna från Renobuild var högre än handberäkningen då Renobuild räknade med andra komponenter som handberäkningen inte gjorde. Det betyder dock inte nödvändigtvis att Renobuild är mer tillförlitlig än handberäkningen då både beräkningssätten har sina osäkerheter.

6.1 Slutsats

Det visade sig att utformningskombinationerna hade en stor påverkan på byggnadens slutgiltiga energiprestanda och koldioxidavtryck. Slutsatsen som kan göras gällande materialvalen var att det ekologiska fotavtrycket blev mindre när biobaserade material användes i byggnaden. Det var mer miljömässigt lönsamt att göra materialvalen redan i tidigt skede då valen kommer till att påverka slutresultaten, både i form av energianvändning och miljöpåverkan. Ur både energihushållnings-, och miljöperspektivet var B8, det vill säga en byggnad som försörjs med bergvärmepump i kombination med solceller och ventileras med FTX-system det bästa alternativet. Detta eftersom alla resultat från de tre beräkningsområdena visade att B8 hade lägst koldioxidutsläpp, minst resursanvändning och lägst primärenergital jämfört med de andra fallen. Något som de bättre fallen hade gemensamt var att de hade solceller som hjälpte till mer än vad som förväntades. Bergvärmepumpar var dessutom ett effektivt energisystem, där systemet i kombination med andra effektiva system kan öka byggnadens möjlighet att bli väldigt energieffektiv.

Denna studie anses vara tillförlitlig eftersom resultaten stämde bra överens med teorin och litteraturstudien. Avslutningsvis var arbetet enbart ett förenklat sätt att studera byggnadens miljöpåverkan och energiprestanda. Då VVS-installationer och byggnadsmaterial var mer komplexa än vad som studerades var det svårt att till hundra procent utse ett fall till en vinnare. Då enbart ett av tre hållbarhetsperspektiv studerades kommer inte studien att kunna tillämpas i den verkliga ekoby helt och hållet utan vidare studie.

Referenser

- Acuna, G. & Rooth, P. (2012). *Val av uppvärmningssystem utifrån ett kostnads- och miljöperspektiv*. Kandidatuppsats, Fakulteten för teknik och samhälle. Malmö: Malmö högskola. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mau:diva-21585>
- Altun, D. (2017). *Framtidens elförsörjning med solceller*. Kandidatuppsats, Institutionen för teknikvetenskap och matematik. Luleå: Luleås tekniska universitet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-65340>
- Aly, H. & Singh, G. (2015). *Värmesystem*. Kandidatuppsats, Samhällsbyggnadsteknik. Stockholm: KTH. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-173954>
- Andersson, J. & Gard, L. (2019). *En analys av CO₂e-utsläpp vid tillverkning och transport av prefabricerade betongelement*. Kandidatuppsats; JHT, Byggnadsteknik och belysningsvetenskap. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hj:diva-45649>
- Areskoung, M. & Eliasson, P. (2017). *Energi för hållbar utveckling*. 3:1. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.
- Bengtssdottir, F. & Hagerup Norrman, C. (2018). *Att bygga energisnålt med olika ventilationssystem*. Kandidatexamen, Institutionen för byggt teknik. Kalmar, Växjö: Linnéuniversitetet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-76634>
- Björk, E., Acuña, J., Granryd, E., Mogensen, P., Nowacki, J.-E., Palm, B., & Weber, K. (2013). *Bergvärme på djupet: Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar*. Stockholm. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-121582>
- Bokalders, V. & Block, M. (2014). *Byggekologi: Kunskaper för ett hållbart byggande*. 3:e uppl., Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Boverket (2016). *Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. [https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/ben---bfs-201612/\[2021-05-20\]](https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/ben---bfs-201612/[2021-05-20]).
- Boverket (2019a). *Metodval för LCA*. [https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/metodval-for-lca/\[2021-04-19\]](https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/metodval-for-lca/[2021-04-19]).
- Boverket (2019b). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. [https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca-\[2021-03-22\]](https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca-[2021-03-22]).
- Boverket (2019c). *Luft och ventilation i bostäder*. [https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/\[2021-04-04\]](https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/[2021-04-04]).

Boverket (2020a). *Hållbart byggande och förvaltning*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/> [2021-04-04].

Boverket (2020b). *Dagsljus*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ljus-i-byggnader/dagsljus/> [2021-04-20].

Boverket (2020c). *Primärenergital och byggnadens energiprestanda*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energi-hushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/> [2021-05-04].

Boverket (2020d). *Om Boverkets byggregler, BBR*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/om-bbr/> [2021-04-05].

Boverket (2020e). *Konsoliderad version av Boverkets byggregler* (Rapport BFS 2011:6 med ändringar till och med 2020:4). Boverket. https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf

Boverket (2020f). *Energi-hushållningsreglerna i BBR ändras den 1 september 2020*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/nyheter-inom-energiomradet/energi-hushallningsreglerna-i-bbr-andras-den-1-september-2020/> [2021-05-23].

Boverket (2021a). *Utformningskravet god form-, färg- och materialverkan*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/krav-pa-byggnadsverk-tomter-mm/byggnadsverk/form/> [2021-05-05].

Boverket (2021b) *Välj ventilationssystem när du bygger eller renoverar*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/valj-ventilationssystem/> [2021-04-04].

Burström, P.G. & Nilvér, K., (2018). *Byggnadsmaterial: Tillverkning, egenskaper och användning*. 3. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Ekelund, C.-P., & Nyberg, D. (2020). *Energi- och livscykelanalys av närvarostyrt ventilationssystem hos Region Kalmar Län: En jämförelse mellan närvarostyrd ventilation och konstantflödessystem*. Kandidatuppsats, teknik och teknologier. Kalmar: Linnéuniversitet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-95403>

Ekolution (u.å). *EPD-Ekolution Hemp fiber insulation*. <https://www.ekolution.se/epd> [2021-02-19].

Energifakta (u.å). *INFÖR 2021: Bergvärme | Vad kostar det? | Hur fungerar det? |*. <https://energifakta.nu/bergvarme/> [2021-04-03].

Energimyndigheten (2015). *Energimyndighetens syn på vikttnings- och primärenergifaktorer*. Eskilstuna. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/om-oss/stallningstaganden/energimyndighetens-syn-pa-vikttningsfaktorer.pdf> [2021-05-06].

Energimyndigheten (2017). *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2016* (Rapport 2017:6). Eskilstuna: Energimyndigheten. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/bostader/energistatistik-for-smahus-flerbostadshus-och-lokaler-2016.pdf>

Energimyndigheten (2019a). *Så undersöker du förutsättningarna för solet*. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/> [2021-04-20].

Energimyndigheten (2019b). *Olika typer av solceller*. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/olika-typer-av-solceller/> [2021-04-17].

Energimyndigheten (2020a). *Fjärrvärme*. <https://www.energimyndigheten.se/trygg-energiforsorjning/el/trygg-fjarrvarme/> [2021-05-07].

Energimyndigheten (2020b). *Solceller*. <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/> [2021-04-01].

Energimyndigheten (2021). *Ökning av förnybar elproduktion under 2020*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/okning-av-fornybar-elproduktion-under-2020/> [2021-05-01].

Eriksson, J (2019). *Lokala energisystem med förnybar och återvunnen energi*. Masteruppsats, Institutionen för Teknik och samhälle. Lund: Lunds Tekniska Högskola. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8972074>

FN:s utvecklingsprogram (u.å.). *Globala målen*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [2021-01-15].

FN:s utvecklingsprogram (2021a). *Mål 7: Hållbar energi för alla*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-7-hallbar-energi-alla/> [2021-05-06].

FN:s utvecklingsprogram (2021b). *Mål 11: Hållbara städer och samhällen*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/> [2021-05-06].

FN:s utvecklingsprogram (2021c). *Mål 13: Bekämpa klimatförändringarna*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-13-bekampa-klimatforandringarna/> [2021-05-06].

FN:s utvecklingsprogram (2021d). *Mål 15: Ekosystem och biologisk mångfald*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-15-ekosystem-och-biologisk-mangfald/> [2021-05-06].

Foamglas (u.å.a). *Foamglas Cellglasisolering*. <https://www.foamglas.com/sv-se/produkter/> [2021-04-01].

Foamglas (u.å.b). *Owen Corning foamglas värmeisolering av cellglas*. <https://www.foamglas.com/sv-se> [2021-05-27].

FOJAB arkitekter (2018). *Röstånga R:ekoby*. (Foto erhållits med tillstånd)

Freij, E., & Östangård, S. (2013). *Valet mellan bergvärme och lufvärmepumpar i Sverige*. Kandidatuppsats: Teknik och teknologier. Kalmar/Växjö: Linnéuniversitet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-30614>

Gode, J.; Martinsson, F.; Hagberg, F.; Öman, A.; Höglund, J.; Palm, D. (2011). *Miljöfaktaboken 2011: Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Stockholm, VÄRMEFORSK Service AB. <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/17907/miljoefaktaboken-2011-vaermeforskrappport-1183.pdf> [2021-04-26].

Gustafsson, A., & Hantman Kollén, S. (2017). *Fjärrvärme eller värmepump i ett villahus: En teknisk, ekonomisk och miljömässig jämförelse*. Kandidatuppsats, energiteknik. Stockholm: KTH. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-226873>

Isover (u.å.). *Användarmanual för U-värdesberäknaren: Regelprocent*. <https://www.isover.se/anvandarmanual-u-vardesberaknaren> [2021-05-01].

Jerléus, K. (2020). *Ett ventilationssystem miljöpåverkan: En livscykelanalys av ett FTX-system i ett svenskt småhus*. Kandidatuppsats, Institutionen för biologi och miljö. Kalmar/Växjö: Linnéuniversitetet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-96485>

Koljern (u.å.a). *Om Koljern Nordic*. <https://www.koljernnordic.se/> [2021-05-15]

Koljern (u.å.b). *Trygga och klimatsmarta byggelement*. <https://drive.google.com/file/d/1pJer1gMs9C0K03CHDCZ-lleLPLS3vzgl/view?usp=sharing> [2021-02-24].

Kraftringen (u.å.). *Miljönyckeltal till din hållbarhetsredovisning*. https://www.kraftringen.se/om-kraftringen/hallbarhet/miljo/nyckeltal/?_t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCfg%3d%3d&_t_q=milj%C3%B6nyckeltal&_t_tags=language:sv&_t_ip=83.248.15.246&_t_hit.id=Web2018_Models_Pages_ArticlePage/_216e0800-7b8c-4089-8a95-20ad98980728_sv&_t_hit.pos=1&_t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCfg%3d%3d&_t_

q=milj%C3%B6nyckeltal&t_tags=language:sv%2csiteid:45b282a6-f992-4b2c-a162-f41facc7daf4&t_ip=83.248.15.246&t_hit.id=Web2018_Models_Pages_ArticlePage/_216e0800-7b8c-4089-8a95-20ad98980728_sv&t_hit.pos=1 [2021-06-09]

Lindahl, J., Dalenbäck, J.-O., & Löwenhielm, W. (2018). *Solel och klimatpåverkan*. <https://ichb.se/innehall/fordjupning/solel-och-klimatpaverkan/> [2021-04-29]

Naturskyddsföreningen (2016). *El märkt med Bra Miljöval*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/bra-miljoval/el> [2021-05-01].

Naturvårdsverket (2020). *Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan*. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Bygg--och-fastighetssektorns-klimatpaverkan/> [2021-04-17].

Naturvårdsverket (2021). *Fossila bränslen*. <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Fossila-branslen/> [2021-05-01].

Nordlöf, K. (2014). *Gröna tak i urbana områden*. B-uppsats: Akademin för teknik och miljö. Gävle: Högskolan i Gävle. <http://hig.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A773305&dswid=5412>

Nordman, R. (2007). *Undersökning av värmepumpars miljöpåverkan* (Rapport 2006:64). Göteborg: Naturskyddsföreningen. https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2007_energi_transport_varmepumpars_miljopaverkan.pdf

Oreholm, F., (2016). *Bromsa och lagra energi med träbaserad isolering - Tidningen Trä*. <https://www.svensktra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2016-2/bromsa-och-lagra-energi-med-trabaserad-isolering/> [2021-02-16].

Renobuild. (u.å.). *Ett verktyg som hjälper dig att fatta hållbara beslut*. <https://renobuild.se/om-verktyget/> [2021-04-16].

Rest till bäst. (u.å.). *Pyrolys*. <https://biokol.org/hur-fungerar-det/pyrolys/> [2021-04-26].

RISE (u.å.). *Pyrolys, biokol och bioolja*. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/pyrolys-biokol-och-bioolja> [2021-04-26].

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*, 1:7. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Sandin, K. (2019). *Praktisk husbyggnadsteknik*. 3:1. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Sandgren, A., & Nilsson, J. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export*. Svenska MiljöEmissionsData. <http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1540012&dswid=9158> [2021-04-19].

Selander, B., (u.å.). *Takets utformning och planlösning*. <http://www.teknikhandboken.se/handboken/takets-utformning-och-planlosning/lutning/lutning/> [2021-04-20].

Strandberg, P. & Balksten, K., (2019). *Hampakalk – Tilläggsisolering på reveterade trähus och saltskadat tegelmurverk*. ISBN 978-91-7895-035-5

Svensk betong (u.å.). *Koldioxidutsläpp*. <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp> [2021-05-04].

Svenskt trä (2020). Om trä. <https://www.traguiden.se/om-tra/> [2021-05-07].

Svensk ventilation. (u.å.). *FTX – Ventilation med värmeåtervinning*. https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/ftx-varmeatervinning/?fbclid=IwAR1cwm5TakaMuq5AJgWATvTgtoNu_DcwpDdC0Vwm2aDnk9IGTK9_hQvPQco [2021-05-03].

TräGuiden (2015). *LCA-metodik*. <https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/lca/lca/lca-metodik/> [2021-05-20].

TräGuiden (2017). *Trä och fukt*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/fuktegenskaper1/tra-och-fukt/?previousState=010000> [2021-05-21].

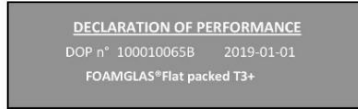
Vattenfall (2020). *Är min elförbrukning normal?* <https://www.vattenfall.se/fokus/hus-hem/vad-ar-normal-elforbrukning/> [2021-05-06].

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., (2010). *Projektering av VVS-installationer*, 1:10. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Wolf (2011). *El från solen – för en ljusare framtid* (Rapport 2011). Stockholm: Naturskyddsföreningen. https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011_energi_transport_solceller_for_en_ljusare_framtid.pdf

Bilagor

Bilaga A: Produktdeklaration foamglas T3+



1. Unique identification code of the product type	FOAMGLAS® Flat packed T3+ DOP n° 100010065B 2019/01/01-ThiB-CG-EN13167-PL(P)1,5-DS(70,90)-CS(Y)500-BS450-TR150-WS-WL(P)-Mu
2. Identification of the construction product as required under Art. 11(4)	Flat packed T3+ Cellular glass - slabs
3. Intended use or uses of the construction product	Thermal insulation for buildings
4. Name and contact address of the manufacturer as required pursuant Art. 11(5)	PCE-Pittsburgh Corning Europe NV/SA - Albertkade 1 - 83980 Tessenderlo (B) www.foamglas.com quality-compliance@foamglas.com
Name of the authorised representative whose mandate covers the tasks	none
5. Specified in Art. 12(2)	
6. System or systems AVCP as set out in Annex V	AVCP system 3
Harmonised standard	EN 13167
7. Notified body	Thermal conductivity - BBRI (No. 1136) & FIW (No. 751) / Fire reaction - WFGRT (No. 1173) / Compressive strength - BBRI (No. 1136)

8. Table 1

Essential characteristics	Performance	
	Thermal resistance (RD-value)	RD-value see table 2
Thermal resistance	Thermal conductivity (AD-value)	AD ≤ 0.036 W/(m•K)
	Thickness	from 50 to 200 mm
	Reaction to fire Euroclass characteristics	Euroclass A1
Durability of thermal resistance against heat, weathering, ageing/degradation	Thermal resistance (RD-value)	RD-value see table 2
	Thermal conductivity (AD-value)	AD ≤ 0.036 W/(m•K)
	Durability characteristics	Thermal conductivity of cellular glass products does not change with time, experience has shown the cell structure to be stable.
Durability of reaction to fire against heat, weathering, aging/degradation	Dimensional Stability	DS (70/90)
	Durability characteristics	The fire performance of cellular glass does not deteriorate with time.
	Dimensional Stability	DS (70/90)
Compressive strength	Compressive strength	CS ≥ 500 kPa
	Point load	PL ≤ 1,5 mm
	Bending Strength	BS ≥ 450 kPa
Tensile/flexural strength	Tensile strength parallel to faces	NPD
	Tensile strength perpendicular to faces	TR ≥ 150 kPa
	Durability of compressive strength against aging degradation	Compressive creep
Water permeability	Water absorption (short)	WS
	Water absorption (long)	WL(P)
Water vapour permeability	Water vapour resistance	=∞ infinite
Acoustic absorption index	Sound absorption	API → NPD
Release of dangerous substances to the indoor environment	Release of dangerous substances	NPD
Continuous glowing combustion	Continuous glowing combustion	no glowing combustion

EN 13167:2012 + A1:2015

Table 2

Thickness (mm)	Thermal resistance (m²K / W)	Thickness (mm)	Thermal resistance (m²K / W)
50	1,35	135	3,75
55	1,50	140	3,85
60	1,65	145	4,00
65	1,80	150	4,15
70	1,90	155	4,30
75	2,05	160	4,40
80	2,20	165	4,55
85	2,35	170	4,70
90	2,50	175	4,85
95	2,60	180	5,00
100	2,75	185	5,10
105	2,90	190	5,25
110	3,05	195	5,40
115	3,15	200	5,55
120	3,30		
125	3,45		
130	3,60		

9. The performance of the product is in conformity with the declared performance. This declaration of performance is issued, in accordance with Regulation (EU) No 305/2011, under the sole responsibility of the manufacturer identified above.

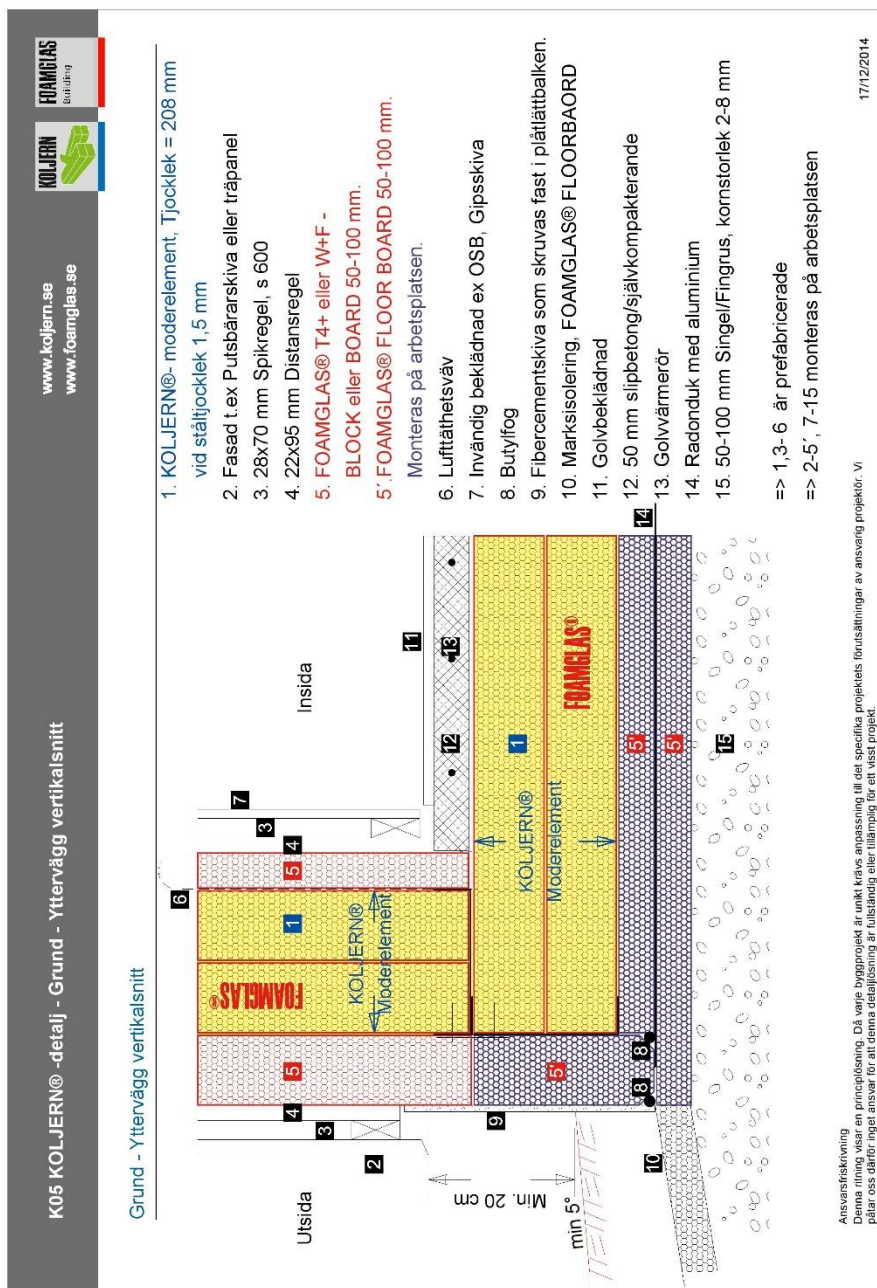
Signed for and on behalf of the manufacturer

Piet Vltse, European Director Norms & Standards, Product & Systems Certifications, Policy and Advocacy

Tessenderlo (B), 01.01.2019

Previous version: 01.01.2018

Bilaga B: Grundkonstruktion av Foamglas



Bilaga C: Sammanställning av svar från R:ekoby byggnadsmaterial enkät

Sammanställning av svar från R:ekoby byggnadsmaterial enkät					
Allmänna krav					
Hur viktigt är de olika kraven för dig? Skala mellan 1-5, där 1 är ingen betydelse och 5 är stor betydelse.					
Krav	Utseende	Hållbarhet	Användbarhet		
Genomsnittligt svar	3,8	4,4	4,7		
Antal röster	10	10	10		
Vilket krav är viktigast?					
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]			
Utseende	0	0,0%			
Hållbarhet	3	27,3%			
Användbarhet	8	72,7%			
Totalt	11	100,0%			
Stommateriäl					
Kan du tänka dig att ha trästomme i byggnaden?			Kan du tänka dig att ha stålstomme i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Ja	9	90,0%	Ja	4	40,0%
Nej	0	0,0%	Nej	2	20,0%
Ingen åsikt	1	10,0%	Ingen åsikt	4	40,0%
Totalt	10	100,0%	Totalt	10	100,0%
Kan du tänka dig att ha betongstomme i byggnaden?			Kan du tänka dig att ha en lättbetongstomme i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Ja	3	30,0%	Ja	3	30,0%
Nej	4	40,0%	Nej	4	40,0%
Ingen åsikt	3	30,0%	Ingen åsikt	3	30,0%
Totalt	10	100,0%	Totalt	10	100,0%
Vilket stommateriäl vill du helst ha i byggnaden?					
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]			
Trä	11	100,0%			
Stål	0	0,0%			
Betong	0	0,0%			
Lättbetong	0	0,0%			
Totalt	11	100,0%			

Hållbar och energieffektiv utformning av en ekoby

Värmeisoleringsmaterial:					
Kan du tänka dig att ha cellulosafiber i byggnaden?			Kan du tänka dig att ha hampafiber i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Ja	7	70,0%	Ja	9	90,0%
Nej	0	0,0%	Nej	0	0,0%
Ingen åsikt	3	30,0%	Ingen åsikt	1	10,0%
Totalt	10	100,0%	Totalt	10	100,0%
Kan du tänka dig att ha träfiber i byggnaden?			Kan du tänka dig att ha hampakalk i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Ja	9	90,0%	Ja	9	81,8%
Nej	0	0,0%	Nej	0	0,0%
Ingen åsikt	1	10,0%	Ingen åsikt	2	18,2%
Totalt	10	100,0%	Totalt	11	100,0%
Kan du tänka dig att ha träullsplattor i byggnaden?			Kan du tänka dig att ha stenull i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Ja	7	63,6%	Ja	0	0,0%
Nej	1	9,1%	Nej	6	66,7%
Ingen åsikt	3	27,3%	Ingen åsikt	3	33,3%
Totalt	11	100,0%	Totalt	9	100,0%
Kan du tänka dig att ha glasull i byggnaden?					
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]			
Ja	1	9,1%			
Nej	5	45,5%			
Ingen åsikt	5	45,5%			
Totalt	11	100,0%			
Biobaserade eller mineralull?					
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]			
Biobaserade	6	54,5%			
Mineralull	0	0,0%			
Jag kan tänka mig båda	5	45,5%			
Totalt	11	100,0%			
Vilket biobaseande material vill du ha i byggnaden?			Vilken mineralull vill du ha i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Cellulosafiber	1	11,1%	Stenull	0	0,0%
Hampafiber	6	66,7%	Glasull	3	100,0%
Träfiber	0	0,0%	Totalt	3	100,0%
Hampakalk	2	22,2%			
Träullsplattor	0	0,0%			
Totalt	9	100,0%			

Grundmaterial					
Kan du tänka dig att ha betonggrund i byggnaden?			Kan du tänka dig att ha skumglasgrund (foamglas) i byggnaden?		
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]	Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]
Ja	3	27,3%	Ja	8	72,7%
Nej	2	18,2%	Nej	0	0,0%
Ingen åsikt	6	54,5%	Ingen åsikt	3	27,3%
Totalt	11	100,0%	Totalt	11	100,0%
Vilket grundmaterial vill du helst ha i byggnaden?					
Svarsalternativ	Antal röster	Procentuellt [%]			
Betong	0	0,0%			
Skumglas (Foamglas)	6	54,5%			
Ingen åsikt	5	45,5%			
Totalt	11	100,0%			

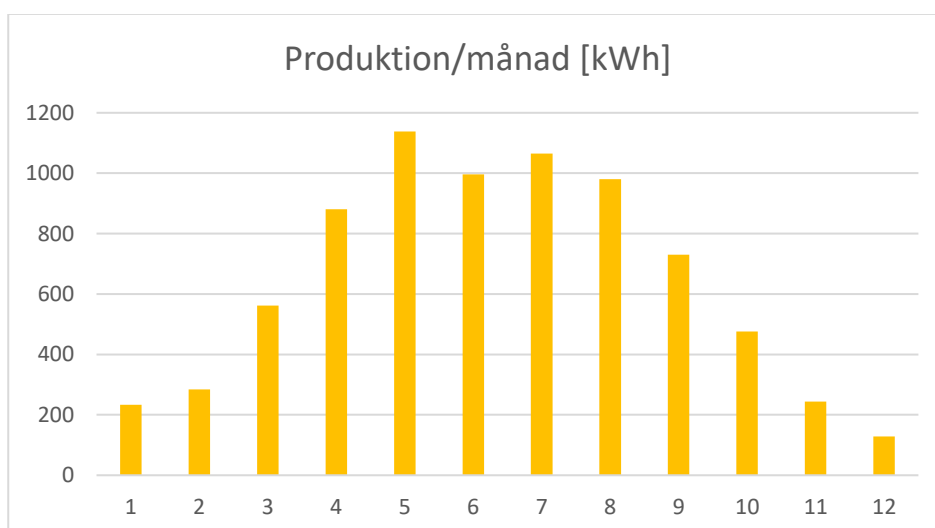
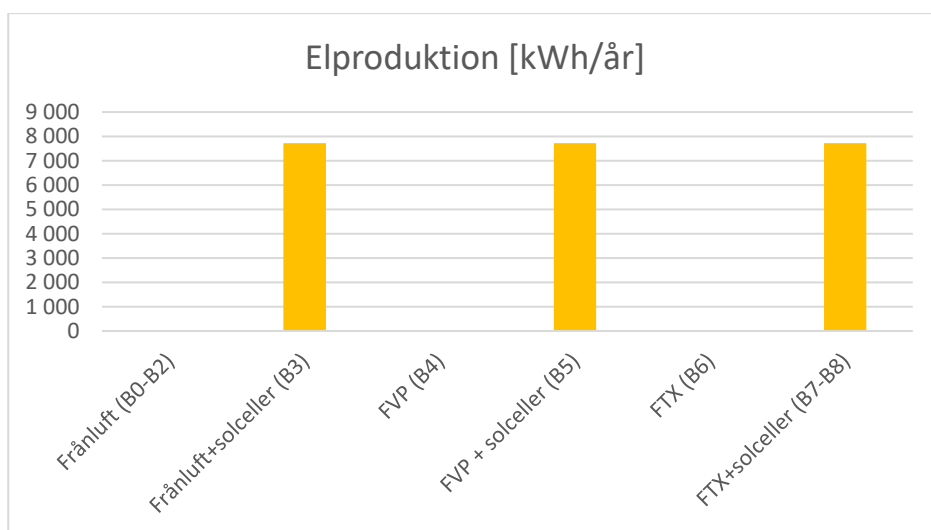
Bilaga D: Renobuild indata

Produktinformation för indata till Renobuild.

Produktnamn	Beskrivning	Källa
Cirkulationspump Perfecta Core 25U-6-180	Cirkulationspump (3 stycken): Vikt = 2,5 kg/st	Combiheat.se https://www.combiheat.se/cirkulationspumpar/cirkulationspump-perfecta-core-25u-6-180/
NIBE S1255	Bergvärmepump: Vikt = 220 kg	NIBE.eu https://www.nibe.eu/sv-se/produkter/varmepumpar/bergvarmepumpar/s1255
Paketpris - Ulma Ladd Midi ECO Pelletspanna	Pelletspanna: Vikt = 325 kg Dimensionerande värmeeffekt = 60 kW	Ulma.se https://ulma.se/sv/paketloesningar/72-paketpris-ulma-ladd-midi-eco-pelletspanna.html
METRO Superb Maxi	Fjärrvärmecentral: Vikt = 45 kg	VVSbutiken.nu https://www.vvsbutiken.nu/dokument/Produktblad_METRO_Superb_maxi_webb.pdf
Thermopanel V4: TP11 Typ 618 Höjd = 600mm	Radiatorer (21 stycken): Vikt = 33,7 kg/st	Purmo.com https://www.purmo.com/docs/TP_Teknisk_broschyr_SE_0116_web.pdf

Bilaga E: Solel produktion

Fakta om solcellsinställningen och solelens miljöpåverkan	
Verkningsgrad	16%
Lutning	40°
Orientering	Syd
Skuggning	ingen
Position i IDA [m]	x=8, y=3, z=7
Totala storlek	50kvm
Totala miljöpåverkan per år	154 254 g CO ₂ -ekv



Bilaga F: Materialkombinationer och dess uppbyggnad

Materialjämförelse										
Basfall: Betong + glasull					Förslag 1: Koljertechnik + glasull					
	Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]	Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Grund										
IN-UT										
Platta på mark - Betong/koljargrund										
Golv										
Betong		1,7	100	2600	880	Koljerm (Foamglas)	0,037	200	100	840
Värmeisolering		0,036	300	20	750	Foamglas	0,036	100	100	840
Kapillärbrytande och dränerande skikt			150			Makadam		150		
Grundbotten										
Vägg										
IN-UT										
Träregelevägg										
Invärdig beklädnad		0,220	13	900	800	Gips	0,220	13	900	800
Regel + isolering		0,051	95	87,2	855	Träregele + Glasull	0,051	95	87,2	855
Ångspärr			0,2			Plastfolie		0,2		
Ständerregel + isolering		0,048	195	77,6	840	Träregele + Glasull	0,048	195	77,6	840
Isolering										
Utegips										
Vindsydd/värmeisoleringsskiva		0,052	90	92	982	Glasull/fasadskiva	0,052	90	92	982
Luftspalt			50			Luftspalt		50		
Fasadbeklädnad		0,140	22	500	1500	Träpanel	0,140	22	500	1500
Tak										
IN-UT										
Vrandsbjälklag										
Gips		0,22	13	900	800	Gips	0,22	13	900	800
Glespanel		0,14	20	500	1500	Glespanel	0,14	20	500	1500
Bjälklag + isolering		0,041	220	44	787,5	Träbjälklag + Glasull	0,041	220	44	787,5
Värmeisolering		0,036	100	20	750	Glasull	0,036	100	20	750
Kallt tak										

Koncept B

Förslag 2: Koljemetnik + träfiber

Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Koljern (Foamglas)	0,037	200	100	840
Foamglas	0,036	100	100	840
Makadam		150		

Förslag 3: Koljemetnik + Hampafiber

Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Koljern (Foamglas)	0,037	200	100	840
Foamglas	0,036	100	100	840
Makadam		150		

Förslag 4: Koljemetnik + Cellulosafiber

Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Koljern (Foamglas)	0,037	200	100	840
Foamglas	0,036	100	100	840
Makadam		150		

Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Gips	0,22	13	900	800
Gipspanel	0,14	20	500	1500
Träbjälklag + träfiber	0,043	220	72,5	1500
Träfiber	0,038	100	50	1500

Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Gips	0,22	13	900	800
Gipspanel	0,14	20	500	1500
Träbjälklag + Hampafiber	0,045	220	53,5	1785
Hampafiber	0,04	100	30	1800

Materialskikt	λ-värde [W/(mxK)]	Tjocklek [mm]	Densitet [kg/m³]	Specifik värmekapacitet [J/(kgxK)]
Gips	0,22	13	900	800
Gipspanel	0,14	20	500	1500
Träbjälklag + Cellulosa	0,041	220	55,4	1995
Cellulosa	0,036	100	32	1600

Bilaga G: Beräkning av sammansatta material

Procentsatsen för regler är hämtade från Isover (u.å.).

Mineralull	Enskilt				Procentuellt		
	Procentsats [%]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]
Reglar cc 450							
Reglar	14	0,14	500	1500	0,020	70	210
Mineralull	86	0,036	20	750	0,031	17,2	645
SUM					0,051	87,2	855
Reglar cc 600							
Reglar	12	0,14	500	1500	0,017	60	180
Mineralull	88	0,036	20	750	0,032	17,6	660
SUM					0,048	77,6	840
Bjälklag cc 1200							
Bjälklag	5	0,14	500	1500	0,007	25	75
Mineralull	95	0,036	20	750	0,034	19	712,5
SUM					0,041	44	787,5
Träfiber							
	Procentsats [%]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]
Reglar cc 450							
Reglar	14	0,14	500	1500	0,020	70	210
Träfiber	86	0,038	50	1500	0,033	43	1290
SUM					0,052	113	1500
Reglar cc 600							
Reglar	12	0,14	500	1500	0,017	60	180
Träfiber	88	0,038	50	1500	0,033	44	1320
SUM					0,050	104	1500
Bjälklag cc 1200							
Bjälklag	5	0,14	500	1500	0,007	25	75
Träfiber	95	0,038	50	1500	0,036	47,5	1425
SUM					0,043	72,5	1500
Hampafiber							
	Procentsats [%]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]
Reglar cc 450							
Reglar	14	0,14	500	1500	0,020	70	210
Hampafiber	86	0,04	30	1800	0,034	25,8	1548
SUM					0,054	95,8	1758
Reglar cc 600							
Reglar	12	0,14	500	1500	0,017	60	180
Hampafiber	88	0,04	30	1800	0,035	26,4	1584
SUM					0,052	86,4	1764
Bjälklag cc 1200							
Bjälklag	5	0,14	500	1500	0,007	25	75
Hampafiber	95	0,04	30	1800	0,038	28,5	1710
SUM					0,045	53,5	1785
Cellulosa							
	Procentsats [%]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]	Värmeledningsförmåga [W/(mxK)]	Densitet, p [kg/m ³]	Specifik värmekapacitet, c [J/(kgxK)]
Reglar cc 450							
Reglar	14	0,14	500	1500	0,020	70	210
Cellulosa	86	0,036	32	1600	0,031	27,52	1376
SUM					0,051	97,52	1586
Reglar cc 600							
Reglar	12	0,14	500	1500	0,017	60	180
Cellulosa	88	0,036	32	1600	0,032	28,16	1408
SUM					0,048	88,16	1588
Bjälklag cc 1200							
Bjälklag	5	0,14	500	1500	0,007	25	75
Cellulosa	95	0,036	32	1600	0,034	30,4	1520
SUM					0,041	55,4	1595

Bilaga I: Beräkning av primärenergital

Comparative Report		B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8				
Koncept B		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh				
Beledning														
H ₂ friluft-fjärrvärme	B0	3221	3221	3221	2998	3222	2448	3221	2328	2328				
H ₂ friluft-pyrolis	B1	601	601	601	363	617	417	1469	895	895				
H ₂ friluft-bergvärme	B2					8184	6743							
H ₂ friluft-bergvärme-solcell	B3	3822	3822	3822	2661	12023	9608	4690	3223	3223				
H ₂ FVP-pyrolis	B4													
H ₂ FVP-pyrolis-solcell	B5	25719	25719	6429	6431	2045	2046	18653	18658	4664				
H ₂ FTX-pyrolis	B6	25719	25719			2045	2046	18653	18658					
H ₂ FTX-pyrolis-solcell	B7	29541	29541	10251	9092	14068	11654	23343	21881	7887				
H ₂ FTX-bergvärme-solcell	B8	2370	2370	2370	1817	2370	1918	2369	1834	1834				
		2370	2370	2370	1817	2370	1918	2369	1834	1834				
Viktigsfaktorer (VF)														
Energi	VF _i	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
El	1,8													
Fjärrvärme	0,7													
Biobränsle (fast, gas och flytande)	0,6													
		31911	31911	12621	4907	16688	8723	25712	18000	4006				
Geografiska justeringsfaktorer														
Skåne	0,9	E _(uppl) värme	VF _i y	E _(uppl) v x VF _i y	E _(uppl) e	VF _i el	E _(uppl) e x VF _i el	F _(geo)	E _(uppl) xVF _i F _(geo)	E _(uppl)	E _(tot)	EP _(net)		
		25719	0,7	18003,3	0	1,8	0	0,9	20003,66667	0	601	1081,8	21085,47	87
Atemp	241,8	25719	0,6	15431,4	0	1,8	0	0,9	17146	0	601	1081,8	18227,8	75
		0	0	0	6429	1,8	11572,2	0,9	12858	0	601	1081,8	13939,8	57
		0	0	0	6431	1,8	11575,8	0,9	12862	0	363	653,4	13515,4	55
		2045	0,6	1227	8184	1,8	14731,2	0,9	17731,33333	0	617	1110,6	18841,93	77
		2046	0,6	1227,6	6743	1,8	12137,4	0,9	14850	0	417	750,6	15800,6	64
		18653	0,6	11191,8		1,8	0	0,9	12435,33333	0	1469	2644,2	15079,53	62
		18658	0,6	11194,8		1,8	0	0,9	12438,66667	0	895	1611	14049,67	58
		0	0	0	4663	1,8	8393,4	0,9	9326	0	895	1611	10937	45

Bilaga J: Värmeåtervinning hos ventilationssystem

