

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVIT—20/5076
Lund 2020

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Klimatförbättringsalternativ vid byggproduktion
av ett äldreboende

Christian Mattsson
Elias Odell



LUNDS
UNIVERSITET

Material- och utformningsval för minskad
klimatpåverkan
Klimatförbättringsalternativ vid byggproduktion av ett
äldreboende

Christian Mattsson
Elias Odell

Examensarbete

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

© Christian Mattsson och Elias Odell

ISRN LUTVDG/TVIT—20/5076-129
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Material and design solutions for a reduced climate impact

Författare/Author:

Christian Mattsson, Civilingenjörsutbildning i Väg- och Vattenbyggnad, LTH, Lunds Universitet.

Elias Odell, Civilingenjörsutbildning i Väg- och Vattenbyggnad, LTH, Lunds Universitet

Handledare/Supervisor:

Birgitta Nordquist. Institutionen för Bygg- och miljöteknologi. Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära.

Externa handledare/External supervisors:

Anders Ejlertsson, IVL Svenska Miljöinstitutet
Rasmus Andersson, IVL Svenska Miljöinstitutet
Ulla Janson, Skanska Sverige AB

Examinator/Examiner:

Petter Wallentén. Institutionen för Bygg- och miljöteknik. Avdelningen för byggnadsfysik.

Nyckelord:

Global uppvärmningspotential, Koldioxidekvivalent, Livscykelanalys, EPD, Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, Klimatpåverkan, Äldreboende.

Keywords:

Global Warming Potential, Carbon dioxide equivalent (CDE), Life Cycle Assessment, EPD, Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM), Climate Impact, Retirement home.

Abstract

The emissions of greenhouse gases caused by the construction sector represented 2015 18 % of Sweden's total greenhouse emissions and the sector had by 2018 published a plan on how to reach a climate neutral value chain by 2045. Studies have shown that the construction phase has become a larger part of the climate impact from new-built multi-family residential buildings than before, in, in relation to the maintenance phase of buildings' lifespan.

The Swedish Government has proposed a new law to make the constructor carry out climate calculus for construction of all new buildings. In this study the climate impact from the construction phase of a retirement home is calculated and suggestions of alternative materials and technical solutions are made to show the potential reduction of CO₂e. By using Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, BM, the study showed a potential for climate impact reduction using solutions and material changes. By planning for the use of low-impact-materials the climate impact in the construction phase, A1-A5, can be decreased for the studied parts by 21-42 % compared to the building without alterations. The suggested alternative solutions have been focused on the building materials, the building services system are not included. The study's results also showed concrete and construction steel as the materials contributing to most of the building materials total climate impact. As most of the building's foundation consists of these materials, the foundation has the largest climate impact and therefore the highest reduction potential. The study suggested that the biggest part of materials' climate impact originate from the production of the materials and through recycling and reusing construction materials the impact can be severely reduced. Different combinations have been examined and one alternative with solutions that are judged to be easy to apply, existing technical solutions of today had potential of reducing the impact with 21 %. With construction projects starting to conduct climate impact calculations, the results support that Sweden is on its way to fulfill several of the sub goals set by and for the construction sector.

Sammanfattning

Att människan påverkar klimatet och att utsläpp av växthusgaser värmer planeten är ingen nyhet. Byggsektorn stod 2015 för 18 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser och 2018 lanserade Bygg- och anläggningssektorn en färdplan för att nå en klimatneutral värdekedja tills år 2045. Tidigare studier har pekat på att majoriteten av klimatpåverkan ifrån flerbostadshus kommer från driftskedet, men senare studier visar att påverkan från byggskedet utgör en allt större andel av de totala utsläppen. Intresset för att undersöka byggskedets (A1-A5) klimatpåverkan har växt och Sveriges Riksdag har i syfte att synliggöra och minska byggproduktionens klimatpåverkan föreslagit en ny lag om att byggherren måste utföra en klimatdeklaration på alla nybyggnationer.

I studien beräknades ett äldreboendes klimatpåverkan och i byggskedet har alternativa, mer klimatvänliga, lösningar presenterades för att studera reduceringspotentialen som är möjlig med syftet att undersöka hur utsläppen kan minskas med alternativa materialval. Med användning av Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, BM, visar studien att det finns stor möjlighet till klimatförbättring med relativt enkla lösningar och materialbyten. Metoder som använts för studien är insamling av information från EPD-databaser, mailkonversationer och intervjuer med ämnesexperter och representanter för företag. Information har även samlats genom fysiska möten och diskussion tillsammans med handledare på Lunds universitet, Skanska Sverige AB och IVL Svenska Miljöinstitutet. Beräkning av klimatpåverkan har utförts med generiska resurser i Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg samt med indata från EPDer. Den bakomliggande metoden för indata till materialen är livscykelanalyser vilka materialtillverkare utfört men som även beskrivs i studien. Klimatbelastningen har fokuserat byggmaterial, bland annat har tillverkningsprocessen för installationerna avgränsats bort.

Genom att projektera för en lägre klimatbelastning kan utsläppen reduceras med mellan 21-42 % för de studerade byggdelarna i arbetsmodulerna A1-A5 vilka representerar en byggnads byggskede. Resultatet visar även att byggnadens mest klimatpåverkande material är betong och konstruktionsstål vilket som följd innebär att byggnadens stomme har den största klimatpåverkan och även störst potential till reduktion av sin belastning. Olika kombinationer har studerats och ett alternativ som bedöms förhållandevis enkelt att tillämpa, byte till beprövade lösningar som finns idag, har en potential att minska påverkan med 21 %. Resultaten visar att det går att reducera klimatbelastningen vid produktionen av materialen och genom att återvinna och framförallt återbruka byggmaterial kan väldigt mycket klimatbelastning undvikas. Med byggprojekt som utför klimatkalkyler och ur ett klimatperspektiv undersöker alternativa material är Sverige på god väg att uppfylla flera delmål som Bygg- och Anläggningsbranschens färdplan satt upp.

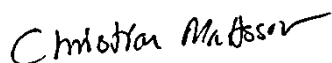
Förord

Detta examensarbete har gjorts möjligt genom stöttning ifrån Lunds Tekniska Högskola, Skanska Sverige AB och IVL Svenska Miljöinstitutet. LTH har givit oss studenter en god kunskapsbas och väckt intresset för frågor kring miljö och klimat. Skanska har bidragit med arbetsplats, mängder av idéer och ovärderliga kontakter för arbetet. IVL har tillhandahållit oss med en arbetsplats även guidat oss med kunskap om deras beräkningsverktyg och om var branschens intresse och utmaningar ligger idag.

Vi vill tacka Birgitta Nordquist, vår handledare från LTH, för all vägledning och alla givande samtal under arbetets gång. Tack till Skanska och vår handledare Ulla Janson som med sin energi, idéproduktion och sitt kontaktnät gjort examensarbetet möjligt. Vi vill även tacka IVL för tydlig guidning ifrån Anders Ejlertsson och Rasmus Andersson som med sin kompetens inom området fört arbetet framåt även i tider av motgångar. Slutligen vill vi tacka alla leverantörer och kontaktpersoner på företag som visat intresse och bidragit med vital information för framskridandet av examensarbetet.

Våren 2020 har varit en rolig och otroligt utvecklande period för oss som studenter och men även som personer. Utöver all den kunskap som examensarbetet givit oss har vi även lärt oss allt man behöver veta om social distansering och smittspridning. Efter våra fem fantastiska år i Lund kan vi nu äntligen kalla oss Civilingenjörer inom Väg- och Vattenbyggnad!

Lund Juni 2020



Christian Mattsson



Elias Odell

Begrepp

Nedan i Tabell 1.1 följer flera begrepp som används i studien.

Tabell 1.1 - Förklaring till viktiga begrepp som används i examensarbetet och kan variera från definitioner inom andra områden.

Global Warming Potential	GWP är ett mått på en växthusgas bidrag till den globala uppvärmningen, anges i antal koldioxidekvivalenter.
Koldioxidekvivalent	Enhet för växthusgasers påverkan av den globala uppvärmningen i relation till koldioxid och anges i antal kgCO ₂ e.
Livscykelanalys (LCA)	Analys av en varus/produkts/materials livscykel från vaggan till graven.
Miljöpåverkansbedömning (LCIA)	Bedömning av en produkts miljöpåverkan under dess livscykel. (Lifecycle impact assessment)
Generiska materialdata	Materialdata som är typiska för ett visst material eller specifik komponent. Grundas genom medelvärden för olika byggvaror av ett och samma material.
Arbetsmodul	En del av en byggnads livscykel enligt standarden EN 15978.
A _{temp}	A _{temp} utgör den invändiga arean för våningsplan, vindsplan och källarplan som värms till mer än 10 °C i byggnaden.
Mappning	Koppling av inlästa resurser från mängdkalkyl till resurser med generisk klimatpåverkan
Byggprojekt del	Byggprojekt del i studien avser byggnadens uppdelning i övergripande byggedelar med samma syfte, exempelvis stomme.
Konstruktionsdel	Konstruktionsdel i studien avser byggnadselement, ofta bestående av flera material, exempelvis bjälklag.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Metodik.....	2
1.4	Avgränsningar	3
2	Teori	5
2.1	Livscykelanalys	5
2.2	Tidigare studier.....	11
2.3	Global Warming Potential och koldioxidekvivalenter	16
2.4	Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg.....	18
2.5	Pågående arbete för minskad klimatpåverkan	20
3	Metod.....	25
3.1	Del I: Klimatkalkyl för referensbyggnaden	25
3.2	Del II: Utvärdering av klimatposter A1-A3.....	28
3.3	Del III: Utvärdering av alternativa lösningar.....	42
4	Resultat.....	49
4.1	Del I: Klimatkalkyl för referensbyggnaden	49
4.2	Del II: Utvärdering av klimatposter i A1-A3	56
4.3	Del III: Utvärdering av alternativa lösningar.....	62
5	Analys och diskussion	77
5.1	Del I: Klimatkalkyl för referensbyggnaden.....	77
5.2	Del II: Utvärdering av klimatposter i A1-A3	81
5.3	Del III: Klimatpåverkan för referensbyggnad med kombinationer av alternativa lösningar.	88
5.4	Mål och samhällsförankring	90
5.5	Fortsatta studier	91
6	Slutsatser.....	93
7	Referenser.....	95

1 Inledning

I det här kapitlet presenteras bakgrunden och frågeställningar till studien, vilket syfte som ämnas uppfyllas, arbetsprocessen och vilka avgränsningar som gjorts för att göra arbetet genomförbart.

1.1 Bakgrund

Sveriges Regering (Boverket 2018) utvecklar riktlinjer för ett byggande med mindre miljöpåverkan och för att skapa ett mer hållbart byggande. Byggsektorns utsläpp av växthusgaser i Sverige var 2015 ungefär 11 miljoner ton koldioxidekvivalenter vilket motsvarar 18 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser (ibid). I riksdagen har det föreslagits en ny lag om krav på klimatdeklaration vid uppförande av nya byggnader (Regeringskansliet 2020). Syftet är att minska klimatpåverkan vid uppförande av byggnader genom att synliggöra denna påverkan. Sveriges Regering avser därför att införa krav på klimatdeklarationer från och med 2022 och har givit Boverket uppdraget att inleda ett förberedande arbete för att underlätta införandet av kraven (Finansdepartementet 2019). Boverket (2018) föreslog att man enligt den europeiska standarden EN 15978 ska använda sig av en komplett livscykelanalys när klimatdeklarationerna utförs. Detta innebär att byggherren har ansvar för att upprätta klimatdeklarationen och behöver besitta kunskaper om utförandet av livscykelanalys och om materialen som används i byggnationerna (Regeringskansliet 2020). För att underlätta övergången utvecklade IVL Svenska Miljöinstitutet Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, BM. Beräkningsverktyget med användning av LCA-metodik hjälper aktörer i branschen att på ett effektivt och precist sätt ta fram klimatdeklarationer för byggnader. Intresset för att undersöka byggskedets (A1-A5) klimatpåverkan i livscykelanalysen har växt.

Vid tidpunkten för studien planerades det byggas fler vård- och äldreboenden i Helsingborg och Skanska projekterade ett äldreboende med fokus på att ha en låg klimatpåverkan under både produktionen och driften av byggnaden. Skanskas intresse för en mer miljövänlig framtid ledde till att under projekteringsskedet av äldreboendet diskuterades det mycket om tillvägagångssättet för att minska byggnadens klimatpåverkan och vikten av att välja material med låg miljöpåverkan och vad det innebär för ett byggprojekt i sin helhet

Studien fokuserade därför på, med hjälp från initiativtagarna IVL och Skanska, att med användning av BM göra teoretiska klimatberäkningar på det planerade äldreboendet för att hitta tekniska lösningar som hade potential att minska klimatpåverkan från byggskedet av byggnaden.

1.2 Syfte

Syftet med studien var att undersöka hur utsläppen kan minskas genom alternativa materialval genom beräkningar av klimatpåverkan i byggskedet A1-A5 av ett äldreboende och undersöka klimatbesparande alternativa lösningar. Målet var att föreslå alternativa lösningar och åtgärder som kunde utnyttjas vid byggnation av ett äldreboende men även andra typer av byggnader med liknade utformning. Genom att analysera den klimatreduceringspotential som föreslagna lösningar har i denna fallstudie, kan det ge underlag för beslutstagare att implementera lösningarna i framtidens byggnader för att vara ett steg närmre det övergripande målet att reducera byggsektorns klimatpåverkan

Studien syftade till att besvara följande frågor:

- Vad har referensbyggnaden för klimatpåverkan och vilka åtgärder har störst potential att reducera klimatpåverkan?
- Vad finns det för alternativa materialval för de mest klimatbelastande konstruktionsdelarna i referensbyggnaden?
- Vad är skillnaden i klimatbesparing i byggskedet mellan klimatförbättrande lösningar med korta transportsträckor och lösningar med lägst global uppvärmningspotential?
- Vilken kombination av alternativa lösningsförslag har störst potential att reducera klimatpåverkan utifrån studiens valda perspektiv?
- Hur stor klimatbesparing kan uppnås med lättillgängliga materialförändringar?
- Hur förhåller sig det studerade byggprojektet mot de uppsatta direktiv och mål som finns i Sverige vid tidpunkten för studien?

1.3 Metodik

Problemställningen i studien bearbetas i en process med i tre delar efter en inledande litteraturstudie. Initialt beräknas och utvärderas klimatpåverkan för den ursprungliga utformningen för att undersöka var förbättringspotential finns och i vilka byggprojektdelar som utsläpp uppstår. Den första delen, del I, i studien behandlar detta problem och beräknar klimatpåverkan från referensbyggnaden i sin helhet för byggnaden samt uppdelat i byggprojektdelar. Vidare undersökning genomförs sedan i del II med en utvärdering av klimatposter i referensbyggnaden och framtagning av alternativa lösningsförslag med förbättringspotential jämfört med referensbyggnadens konstruktionsdetaljer. Undersökning av materialdata genomförs och underlag för alternativa lösningsförslag presenteras för att sedan utvärderas vidare i del III. Del III behandlar de framtagna alternativa lösningsförslagen och beräknar klimatpåverkan för respektive lösning för att slutligen beräkna och jämföra den sammanlagda klimatpåverkan som referensbyggnaden kan ha med tillämpade kombinationer.

Studien följer tre-steps-strukturen för kapitlen, metod och resultat, där varje del är uppdelad för att i följande steg använda och utveckla framtaget resultat i föregående steg. Slutligen genomförs en diskussion och slutsatser om det framtagna resultatet samt vad framtida studier behöver undersöka.

1.4 Avgränsningar

Referensprojektet är ett äldreboende i Helsingborg och studiens resultat är baserat på materialmängder framtagna för projektet. Värdena i resultatet är där med också projektspecifika medan den övergripande fördelningen av byggskedets klimatpåverkan mellan byggprojektdelar kan ge relevant förståelse inte bara för andra äldreboenden utan även för flerbostadshus med liknande utformning. För beräkning av klimatpåverkan används beräkningsverktyget BM. Materialdata och -egenskaper erhålls från leverantörer och tillverkare och anpassas för att användas i BM.

Studien avgränsas till att främst studera förändringar av klimatpåverkan med enheten $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ för byggnadens byggskede A1-A5 och diskuterar endast begränsat hur energianvändningen under användningsskedet, B, eller slutskedet, C, påverkar klimatet. Avgränsningen görs eftersom byggnaden inte är uppförd vid tiden som studien genomförs och då studiens frågeställningar behandlar klimatreducerande åtgärder endast vid produktion. Viktigt vid undersökningen är dock att material och konstruktionslösningar uppfyller samma funktionella- och tekniska krav som referensbyggnaden har. Detta eftersom klimatpåverkan från avgränsade arbetsmoduler kan förändras och därigenom kan även klimatpåverkan sett ur ett fullständigt livscykelperspektiv förändras.

För jämförbarhet med tidigare gjorda studier avgränsas i analysen inkluderade byggdelar med hjälp av materialstrukturen beskriven i BSAB. Systemet, framtaget av svensk byggtjänst, är en gemensam struktur för att klassificera olika byggnadsposter på ett likartat sätt i branschen (Svensk Byggtjänst 2020). Avgränsningen som används i studien beskrivs schematiskt i bilaga 1, där rödmarkerade kategorier exkluderas från beräkningen och grönmarkerade kategorier inkluderas. Systemet delar in byggdelar i 10 kategorier med underliggande kategorisering av ingående byggdelar i ytterligare 10 underkategorier. Exempelvis är kategori 4 samtliga ingående material för yttertaket och underkategori 41, takstomme som beskriver ingående material för endast takstommen. Avgränsningen i byggdelar medför att installationer i byggnaden avgränsas bort eftersom det vid tillfället för studien saknas klimatdeklarationer och tillverkningsinformation för dessa poster.

Genom undersökning av EPD-databaser tas alternativa lösningar, tillgängliga på dagens marknad, fram. Studien undersöker material och dess förbättringspotential utan hänsyn till kostnad av materialet. Materialkostnaden har därför valts att avgränsas bort i studien för att med ett objektivt synsätt endast undersöka reduceringspotential av klimatpåverkan med användning av alternativa konstruktions- och utformningslösningar. Tas kostnaden hänsyn till kan detta vara en faktor som missgynnar obeprövade lösningar. Kostnader är även en faktor som beaktas av branschen och företag som en konkurrensfaktor och som sällan ges ut publikt. Kostnader för klimatkompensation och åtgärder som behövs för att uppnå en netto-noll klimatbelastande byggnad undersöks i viss utsträckning i studien.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

2 Teori

Detta kapitel beskriver teorin använd för förståelse av materials klimatpåverkan, tidigare utförda relevanta studier, viktiga begrepp, verktyget som använts för beräkning av klimatpåverkan samt några sätt minskning av klimatpåverkan arbetas med.

2.1 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) innebär en analys av en produkt, en sammansatt produkt eller en tjänst över hela dess livscykel. Uttrycket ”från vaggan till graven” som ofta används i litteratur om LCA syftar till att tydligare förklara att miljöpåverkan från en produkt räknas från råvarubrytningen tills dess att produkten inte längre går att använda, och måste återvinnas eller deponeras. LCA metoden används för att kartlägga produktens miljöpåverkan genom dess livscykel och toppar i miljöpåverkan kan lokaliseras för att dessa ska kunna åtgärdas och minimeras. Metoden utförs enligt den internationella standarden ISO 14044 (SIS 2006) som beskriver hur LCA tas fram och kan appliceras på både produkter och tjänster.

Beroende på vilka metodval som görs i LCA kan undersökningen delas in i två typer, bokförings- och konsekvensorienterad LCA. För en bokföringsorienterad LCA behandlas endast direkta effekter inom den analyserade produktens livscykel, dvs. endast den specifika produktens eller tjänstens klimatpåverkan. För en konsekvensorienterad LCA analyseras klimatpåverkan i en bredare omfattning och inkluderar även produktens eller tjänstens indirekta miljöbelastning (Erlandsson, Ekvall, Lindfors & Jelse 2014; Baumann & Tillman 2004).

2.1.1 Bokföringsorienterad livscykelanalys

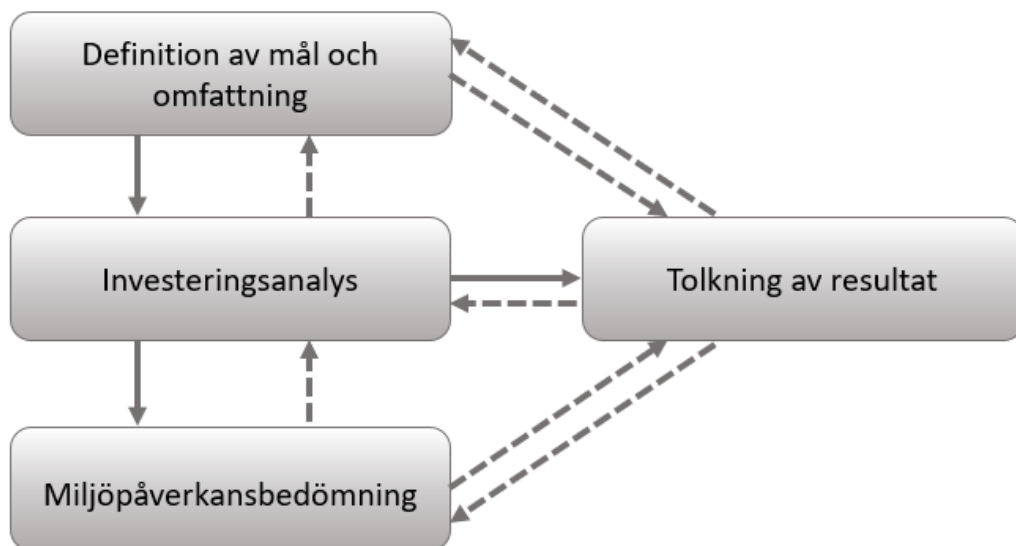
En bokföringsorienterad LCA beskriver på ett tydligt sätt en produkts direkta miljöbelastning (Baumann & Tillman 2004). Det kan uppfattas som ett strikt miljöansvar som beskriver en modell av verkligheten där miljöbelastningen från alla produkter överensstämmer med det totala utsläpp som sker i verkligheten. Oavsett vilken produkt eller tjänst som analyseras allokeras miljöpåverkan med samma metod och den enskilda produkten eller tjänsten blir tilldelad sin andel av miljöpåverkan från processer som även andra produkter är inblandade i. Adderas alla produkters miljöpåverkan enligt metoden motsvarar det med den verkliga totala påverkan. En produkts miljöbelastning begränsas dock till det studerade systemets delprocesser och på så sätt beskrivs produktens direkta effekter. Användning av bokföringsorienterad LCA kan innebära risk för att mindre dubbelbokföring sker. Exempelvis när mindre mängder bioprodukter som en process levererar bortses ifrån och all miljöpåverkan allokeras på den studerade produkten. Detta är dock ett konservativt antagande som innebär att påverkan egentligen är mindre än vad som antas (ibid).

2.1.2 Konsekvensorienterad livscykelanalys

Konsekvensorienterad LCA inkluderar till skillnad från bokföringsorienterad LCA även effekter på angränsande produkter och omfattar på så sätt mer än ett produktsystem. Konsekvensorienterad LCA analyserar ett produktsystem som ofta beskriver mer än en funktion och miljöbelastningen bestäms inte endast från den valda allokeringprincipen utan även av belastningen från de indirekta systemen (Erlandsson et al. 2014). Inte sällan inkluderas ett marginalperspektiv vilket innebär att påverkan från de olika systemen inte kan adderas med samma metod som för bokföringsorienterad LCA. En sådan LCA-metodik beskriver miljöbelastningen orsakad av en förändring hos ett sammansatt produktsystem och med de förutsättningar som ställs upp.

2.1.3 Metodik för LCA

LCA har ett stort appliceringsområde där var och ett innebär framtagning av en specifik metod. LCA-processen består oftast av de fyra stegen; *Definition av mål och omfattning*, *Investeringsanalys*, *Tolkning av resultat* och *Miljöpåverkansbedömning* (Baumann & Tillman 2004). Processen är ofta iterativ och vid utförandet kan det krävas mycket upprepning och anpassning. I Figur 2.1 nedan illustreras i vilken ordning dessa steg kan utföras enligt (ibid).



Figur 2.1 - Översikt av LCA-proceduren. De ifyllda pilarna indikerar vilken ordning de olika stegen utförs och de streckade möjliga iterationerna.

2.1.3.1 Definition av mål och omfattning

Målet med livscykelanalysen definieras utifrån varför analysen utförs och vad resultatet ska användas till. Baumann och Tillman (2004) ger exempel på frågor som kan ställas; Vilken fråga ska studien svara på? Vem är den avsedda målgruppen för arbetet? Alla efterföljande delar av analysen påverkas av hur målet definieras och det bör därför vara så specifikt och tydligt som möjligt.

För att bestämma omfattningen av en LCA måste många metodval göras som påverkar resultatet i olika utsträckning. Hur mycket analysen ska omfatta är dels beroende på hur målet har definierats dels beroende av modelleringsval. Modelleringsvalen i en LCA inkluderar enligt Baumann och Tillman (2004) *val av metodalternativ, systemgränser, funktionell enhet, påverkanskategorier, metod för påverkansbedömning, allokeringsprinciper* och *krav på datakvalitet*.

När en LCA ska utföras är det viktigt att rätt modell för ändamålet väljs utifrån vilken frågeställning som ställs samt vilket resultat som ska uppnås. I tidigt skede bör därför ett *val av metodalternativen* göras, bokföringsorienterad eller konsekvensorienterad LCA.

En viktig del av en LCA är att avgränsa analysen och välja så kallade *systemgränser*. Detta är bra om det utförs redan från start men kunskapen att välja finns inte alltid från början och gränserna kan dras senare (Baumann & Tillman 2004). Systemgränserna kan anges i flera dimensioner, exempelvis:

- Gränser i relation till naturliga system – Har produkten en naturlig start och slutpunkt?
- Geografiska gränser – Var geografiskt sker olika processer och aktiviteter i livscykeln?
- Tidsbestämde gränser – inom vilket intervall i tiden analyseras en produkt?
- Gränser inom det tekniska systemet

Genom hela utförandet av LCA måste olika delars miljöpåverkan kunna jämföras och adderas med varandra, varav en *funktionell enhet* väljs. Den funktionella enheten blir ett kvantitativt uttryck för olika funktioner under en produkts livscykel (Baumann & Tillman, 2004).

Val av påverkanskategorier och metod för påverkansbedömning innefattar valet av vilka påverkanskategorier som ska inkluderas i studien och hur dessa ska bedömas. Beroende på val av påverkanskategorier måste olika sorters data samlas in under inventeringsanalysen. Metoden för påverkansbedömning innebär översättning från olika miljöbelastningar till exempelvis klimatpåverkan.

Hur klimatpåverkan ska allokeras till olika produkter är nästa steg, dvs. att välja *allokeringsprinciper*. Det innebär att besvara frågor som; Hur fördelas klimatpåverkan om flera produkter härstammar från samma råvaruutvinning? Hur mycket av en deponis klimatpåverkan fördelas på en specifik produkt då den innehåller många olika produkter? Hur hanteras klimatpåverkan när delar av produkten återanvänds eller återvinns?

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Valda data kommer oavsett hur en LCA väljs att utföras, påverka resultatet av analysen. Därför är det också rimligt att det ställs *krav på datakvaliteten* som används. Det kan vara komplicerat och tidskrävande att samla in nödvändiga data och därför innehåller idag många databaser inventeringsdata om produkter och grundläggande tjänster som behövs i varje LCA (Erlandsson et al. 2014). Det är viktigt att veta vad för sorts data som används i LCA, nedan listas olika typer av data som olika databaser använder:

- Generiska data – Traditionella eller typiska data för material av intresse, oftast baserat på medelvärden av många material eller produkter.
- Medeldata – olika tillverkares sammanvägda data för samma produkt.
- Produktkollektiva data – data för en kategori av liknande produkter, exempelvis miljövarudeklarationer.
- Produktspecifika data – data direkt från tillverkaren.
- Specifik detaljerad information – data som är specifik för fallet, som mängd, längdmått eller energianvändning.

Inventeringsanalys LCI

En inventeringsanalys innebär att skapa en flödesmodell över systemen som studeras. (Baumann & Tillman 2014). Detta görs inom de tidigare valda systemgränserna och inkluderar alla till och frånflöden. När erforderlig detaljnivå nåtts i flödesmodellen, samlas data bara in för miljömässigt relevanta flöden. Livscykelinventeringsanalysen, LCI, inkluderar att samla in data och tillhörande dokument samt att beräkna och kvantifiera både ingående och utgående miljöbelastningar i systemet i förhållande till den valda funktionsenheten (SIS 2006). Den kvantifierade miljöbelastningen summeras sedan för det hela systemet. Inventeringsanalysen är ofta en iterativ process vilket kan innebära att efterhand som mer data samlas in och förståelsen för systemen växer kan nya krav och begränsningar uppstå. Detta kan i vissa fall innebära att metoden för insamling av data måste ändras för att omfattningen och målen för LCA fortfarande ska uppnås (SIS 2006).

2.1.3.2 Miljöpåverkansbedömning LCIA

Under miljöpåverkansbedömning (Life cycle impact assessment, LCIA) värderas vikten av olika typer av miljöpåverkningar utifrån de kvantifierade belastningarna från inventeringsanalysen. Processen inkluderar att omvandla miljöbelastningar till olika miljöpåverkningskategorier och kategoriindikatorer vilket gör påverkan lättare att förstå och jämförbar med andra studier (SIS 2006, Baumann & Tillman 2004). Ett annat syfte med LCIA är att förbättra förståelsen av resultaten. Antalet inventeringskategoriparameterar kan variera från ett tiotal till hundratals men genom LCIA kan denna siffra minskas till mellan 10 och 20 (Baumann & Tillman 2004). Miljöpåverkansbedömningen kan innebära en iterativ granskning av analysens omfattning och mål för att klargöra att de uppnåtts eller för att anpassa omfattning och mål om studien inte verkar upp nå dem. Under miljöpåverkansbedömningen relateras resursanvändningen och dess utsläpp till miljöpåverkan.

Slutligen tolkas och utvärderas resultatet i relation till mål, omfattning och avgränsningar (Erlandsson et al. 2014). Resultaten är ofta omfattande och svårtolkade vilket innebär att det är viktigt att presentationen av resultaten är tydligt gjorda. Att sälla bort icke väsentliga resultat är kritiskt för att ge en tydlig bild av vad analysen kommit fram till (Baumann & Tillman 2014).

2.1.4 LCA vid byggproduktion

Inom byggsektorn kan LCA bland annat hjälpa byggentreprenörer att ta reda på vilka delar av byggnaden som kommer ha stor klimatpåverkan vilket gör det möjligt att utföra ändringar i utformningen redan innan byggproduktionen börjat och på så sätt minska det klimatavtryck upprättandet av en byggnad har. Då krävs kunskaper om både olika beräkningsmetoder och miljövarudeklarationer, vilka förklaras i de europeiska standarderna EN 15978 (SIS 2011) respektive EN 15804 (SIS 2013). Miljövarudeklarationer, även kallat Environmental Product Declarations (EPDer) tas fram av materialleverantörer och redovisar miljöpåverkan från en vara eller tjänst över hela dess livscykel. EPDer redovisar flera olika sorters miljöpåverkan med olika enheter, klimatpåverkan som benämns Global Warming Potential (GWP) anges i antal $\text{kgCO}_2\text{e/kg material}$. Samtliga EPDer granskas av en oberoende tredje part och utförs enligt standard ISO 14025 (SIS 2010)

Ytterligare en enhet som används för bedömning av energigång i livscykeln är $\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$. Enheten används ofta vid beräkning av driftenergi och köpt energi på byggarbetsplatsen. Omräkning till $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$ genomförs med nyckeltal för klimatpåverkan av valt energislag. Omräkningen sker enligt ekvation 1:

$$\text{Energianvändning i kgCO}_2\text{e} = \text{Energianvändning i kWh} \cdot \text{Nyckeltal} \quad (1)$$

Energimixer kan variera beroende på energislag, företag samt vilken tillverkningskälla som elenergin har. För fjärrvärme i Helsingborg beskriver Öresundskraft (2020) att klimatpåverkan 2018 är $48 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$ och för 2019 $50 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$. Nyckeltalet kan variera mellan en Nordiskmix som har samma värde som Helsingborg men enligt Energi- och klimatrådgivningen i Stockholmsregionen (2020) är nyckeltalet för svenskproducerad el i en Sverigemix på $13 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$.

För byggnader som är en sammansatt produkt blir LCA-metoden väldigt omfattande och komplex och därför har verktyg som Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, BM utvecklats. BM beskrivs tydligare i kapitel 2.4. Standarden för EN 15978 om hållbarhet hos byggnadsverk beskriver hur klimatbelastningarna ska delas upp i arbetsmoduler för analysen ska bli hanterbar och för att tydligare allokera klimatbelastningar. Uppdelningen presenteras i Figur 2.2 i form av olika byggsleden och underliggande arbetsmoduler fördelade över en byggnads livscykel.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

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

Figur 2.2 - Visualisering av en byggnads livscykel uppdelat i moduler enligt EN 15978 (SIS 2011).

2.1.4.1 A1-3 Produktskedet

Enligt EN 15978 innefattar produktskedet utvinning och bearbetning av råmaterial, bearbetning av återvunnet material från tidigare produktsystem, transporten av råmaterial till en byggprodukttillverkare och själva tillverkningen av produkter.

2.1.4.2 A4 Transport till byggplatsen

Detta skede inkluderar klimatpåverkan från all transport av material och produkter från fabrik till byggarbetsplatsen och även transporter av arbetsmaskiner, kranar och dylikt. All klimatpåverkan på grund av materialförluster under transporter inkluderas också här, vilket inkluderar produktens tillverkning och hantering som avfall.

2.1.4.3 A5 Byggproduktion

Byggproduktionsskedet omfattar många olika poster som bidrar till klimatpåverkan. Enligt BM delas arbetsmodulen upp i fem undergrupper.

- A5.1 Spill, Emballage och avfallshantering
- A5.2 Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater
- A5.3 Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader
- A5.4 Byggprocessens övriga energivaror, ex. Gasol/diesel för värme, köpt el eller fjärrvärme.
- A5.5 Övrigt miljöpåverkan från byggprocessen, inkluderar övergödning vid sprängning, markexploatering, kemikalieanvändning.

2.1.4.4 B1-B7 Användningsskedet

Användningsskedet innefattar miljöpåverkan orsakad av användning, underhåll, reparationer, utbyten, ombyggnationer, energianvändning och vattenanvändning under byggnadens dimensionerade livstid.

2.1.4.5 C1-C4 Slutskedet

Slutskedet omfattar klimatbelastande processer som krävs för att riva och frakta bort byggnadsdelar till återanvändning, återvinning eller deponering, när byggnaden inte längre är användbar.

2.2 Tidigare studier

På uppdrag från regeringen lämnade Boverket (2018) förslag på metoder och regler för hur byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelperspektiv kan redovisas. Förslaget sammanställdes i *Klimatdeklaration av byggnader – förslag på metod och regler* (2018) i vilken Boverket föreslår regler med krav på klimatdeklaration införs för samtliga byggnader. Ett etappvis införande föreslås med inledningsvis krav på uppförande av flerbostadshus och lokaler och senare även småhus. Syftet med införandet av kravet är att öka medvetenheten kring klimatpåverkan från byggbranschen hos byggherrar samt att minska klimatpåverkan från branschen. Klimatdeklarationerna ska enligt förslaget innefatta klimatpåverkan i byggskedet enligt ett livscykelperspektiv initialt inom modulerna A1-A5. Förslaget har inte funnits tidigare då metoden inte bedömts vara tillräckligt färdigutvecklade för att tillämpas med hjälp av bland annat beräkningsprogram och val av material för att reducera klimatpåverkan. Boverket uppskattar att tidigast januari 2021 kan ett reglemente för klimatdeklarationer vara på plats.

Bygg- och anläggningssektorn i Sverige har gemensamt utformat en färdplan, *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft, Bygg- och anläggningssektorn* (2018), för hur arbetet för en klimatneutral och konkurrenskraftig sektor ska kunna utformas till 2045. Planen utformas i enighet med Sveriges mål utefter klimatmötet i Paris 2015, vilket ledde till att Regeringen startade initiativet Fossilfritt Sverige, en plattform för samarbete och kommunikation mellan aktörer. Plattformen är en plats där aktörer och personer som är verksamma i flera samhällssektorer kan samarbeta genom att samla sin kunskap och inspireras av klimatarbetet som sker i Sverige. Initiativet arbetar för att påskynda omställningen till att få Sverige att bli ett av världens första fossilfria välfärdsländer och vill visa att det är inte bara möjligt men även ekonomiskt lönsamt (ibid). Definierade mål för att arbeta mot en klimatneutral värdekedja i bygg- och anläggningssektorn beskrivs utifrån en plan till 2045 med delmål inkluderat. Huvudmålet till 2045 är att utsläppen av växthusgaser skall vara netto noll genom hela värdekedjan från byggskede, driftskede till återvinningsskede. För att uppnå huvudmålet skall utsläppen minskas med 50 % till 2030 och med 75 % till 2040 jämfört med nivåerna 2015. Ytterligare delmål är att aktörerna ska till 2020-2022 kartlägga sina utsläpp och sätta klimatmål och 2025 skall en minskande trend av utsläppen uppvisas. Målen är definierade utifrån 2015 års utsläppsnivåer och kvantifieras i enheten absoluta ton koldioxidequivaler. Då det huvudsakliga målet är att bli klimatneutral till 2045 fokuserar främst arbetet på att reducera utsläppen och klimatpåverkan, men det kan även bli nödvändigt att vidta kompensationsåtgärder för att nå målet. Kompensationsåtgärder innefattar en minskning av klimatpåverkan för att stärka ekosystem och ny teknik inom området.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Viktigt i arbetet med färdplanen är att genomföra arbetet mot att uppfylla målen men samtidigt även ta hänsyn till de hinder som står i vägen för att lyckas. En stor post i planen behandlar därför hur företag kan bibehålla sin konkurrenskraft samtidigt som de reducerar sin klimatpåverkan. Färdplanen resulterar i en ansats för att konkretisera planen för klimatneutralitet 2045. Dock påpekar den att varje aktör som antagit färdplanen själva behöver utarbeta handlingsplan för målet. Ansatsen är uppdelad i tre delar, marknad och affär, byggskede och användningsskede med milstolpar på åren 2018, 2030 och 2045. I varje delmängd konkretiseras åtgärder som ska genomföras i respektive sektor.

Helsingborgs stads arbete för minskad klimatpåverkan utgår från *Klimat- och energiplan för Helsingborg 2018-2024* (2018). I vilken de aktiviteter och åtgärder som staden skall använda för att uppnå ställda ambitioner i staden till 2035 är beskrivna. De delar av de övergripande målen till 2035 som syftar till klimatet är att Helsingborg ska vara en balanserad och hållbar stad. Gällande klimatutsläpp och resursanvändning i balans finns ambitioner uppställda som även har sin grund i den översiktliga färdplanen för Sverige till 2045. Ambitionerna är att nettoutsläppen, klimatkompenserande åtgärder får tillgodoräknas, av växthusgaser är noll till 2035 samt att de totala konsumtionsbaserade utsläppen av växthusgaser minskar till en hållbar nivå till 2045 och slutligen ska det ekologiska fotavtrycket minska till en hållbar nivå senast 2045. Åtgärder som staden planerat vidta under årsspannet 2018-2024 för att nå det övergripande målet är att uppmuntra, underlätta och informera om hur omställningar ska genomföras för att nå ambitionerna, dessutom ska staden bistå med hjälpmedel för klimatsmarta val. Staden ska bland annat även arbeta aktivt med att minska utsläpp och främja samverkan för ytterligare framsteg i minskande klimatpåverkan och främja verktyg och hjälpmedel för vidare användning av cirkulär ekonomi och livscykelanalys i processer där det kan tillämpas (Helsingborgs Stad 2018).

Att minska klimatpåverkan från byggsektorn har länge varit aktuellt och detta arbete är inte det första att behandla ämnet. Under år 2001 publicerades forskningsartikeln *Life-Cycle Assessment of four Multi-Family Buildings* av Adalberth, K., Almgren, A, Holleris Peterson, E. Avhandlingen analyserar med en LCA metod hur fyra flerbostadshus byggda i Sverige 1996 påverkar miljön. Byggnaderna skiljer sig från varandra, exempelvis genom att vara utformade på olika sätt, ha olika värmeegenskaper och olika ventilationssystem. Adalberth et al. (2001) kommer fram till att ungefär 70-90 % av byggnadernas påverkan på miljön kan allokeras till driftskedet, medan ungefär 10-20 % av den totala miljöpåverkan kommer från produktionen av byggnaderna.

Tidigare studier gjorda på fördelningen av klimatpåverkan vid upprättandet av en byggnad visar alltså att majoriteten av miljöpåverkan från en byggnad kommer från användningsskedet (Adalberth et al. 2001). På grund av energiförlusterna under byggnaders användningsskede växte intresset och byggkraven att bygga mer energisnåla byggnader. 2015 publicerades en studie utförd på ett flerbostadshus med betongstomme och med lågenergiprofil som visar på att beroende på valda energiscenarion och tidsperioder för analyser har byggnadens miljöpåverkan fördelat sig jämnare mellan byggskedet och användningsskedet (Liljenström C, 2015).

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

IVL Svenska miljöinstitutet utförde 2018 en utredning med hjälp av en LCA-metod hur klimatpåverkan från ett flerbostadshus med betongstomme och betongytterväggar är fördelat över dess livscykel (Erlandsson, Malmqvist, Francart & Kellner 2018). Byggnaden vid namn Blå Jungfrun är ett passivhus upprättat i Stockholm av Skanska och stod klart våren 2010. Projektet visade sig understiga det låga energianvändningsmålet på $55 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och total klimatpåverkan för byggproduktionsprocessen av byggnaden uppgick till $350 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$. Materialproduktionen utgör 84 % av klimatpåverkan och betongproduktionen står för ungefär hälften av denna klimatpåverkan. Studien beräknar att beroende på antagen livslängd på byggnaden, 50–100 år, och beroende på vilken el- och fjärrvärmemix som används i driftskedet varierar andelen klimatpåverkan från produktionsprocessen stort. Rapporten presenterar att mellan 20 – 85 % av flerbostadshusets totala klimatpåverkan allokeras till produktionsprocessen. Det konstateras även i studien att underhåll, utbyte och slutskede står för en lägre klimatpåverkan än byggprocessen, 12 % vid 50 års drift, alternativt 16 % vid 100 års drift. Byggnaden som analyserades hade inget underliggande garage men med en förenklad tilläggsberäkning beräknades ett källargarage stå för ungefär 17 % av byggprocessens totala klimatpåverkan. Rapport visar att oavsett antaganden om hur driftenergin har producerats och om hushållsel inkluderas eller inte, så har andelen av flerbostadshusets klimatpåverkan under byggproduktionen ökat på grund av de ökade krav som ställs på driftenergianvändningen.

Andersson och Barkander (2015) analyserar, i ett examensarbete, byggnaden Daggkåpan, ett flerbostadshus med betongstomme. En livscykelanalys har genomförts för att utvärdera vilka åtgärdsförslag under byggproduktionsprocessen som ger en reducerande effekt av klimatpåverkan jämfört med ursprungsbyggnaden. Analysen genomförs i huvudsak med klimatkalkylverktygen Eco2/Anavitor med materialdata från IVL:s miljödatabas. Den initiala beräkningen av klimatpåverkan i byggskedet från Daggkåpan utan alternativa konstruktionslösningar resulterar i en koldioxidekvivalent på $391 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$. För jämförelse med Blå Jungfruns klimatpåverkan beräknas Daggkåpans garage och källarvåning bort vilket resulterar i en klimatpåverkan i byggprocessen till $347 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$. Analysen visar på att 67 % av totala klimatpåverkan under byggproduktionsprocessen har sitt ursprung från de konstruktioner i betong som använts, vilka utgör stora delar av stomsystemet för byggnaden. En parameterstudie genomförs för att analysera olika byggnadsdelar i flerbostadshuset och deras effekt på klimatpåverkan. De olika byggnadsdelar som analyseras är golv, ytter- och innerväggar, tak och isolering. Vidare i analysen kombineras alternativa lösningsförslag för att analysera den gemensamma minskningen av koldioxidekvivalenten. De kombinationer som Andersson och Barkander (2015) analyserar beskrivs i Tabell 2.1.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 2.1 - Procentuell GWP-reduktion samt kostnadsförändring för kombinationer på Daggkåpan (Andersson & Barkander 2015).

	GWP reduction CO ₂ -eq per A _{temp} and percentage of total emissions	Alteration price SEK per A _{temp} and percentage of total production costs
Option 1 Low impact concrete in floor slabs and interior/exterior walls	23,6 (6,0 %)	24,5 (0,14 %)
Option 2 Reduction to Sound class C in floors and interior walls by reduction of material amounts	13,1 (3,4 %)	-404,7 (-2,3 %)
Option 3 Reduction of materials in exterior walls (120mm) combined with damping. Floor slab exchanged with HDF 190 and acoustic mat. Wooden roof trusses.	66,7 (17,1 %)	-244,1 (-1,3 %)
Option 4 Option 3 with low impact concrete.	79,0 (20,2 %)	-234,0 (-1,3 %)
Option 5 Reduction of material in exterior walls (120mm). Reduction of material in interior walls (120mm) combined with damping. Floor slab exchanged with HDF 190 and joisted distances. Wooden roof trusses.	65,6 (16,8 %)	-144,6 (-0,8 %)

Rapporten visar på att åtgärder för minskad klimatpåverkan kan genomföras på flera olika delar i ett flerbostadshus och gemensamt reducera den totala klimatpåverkan med 20,2 % på ett kostnadseffektivt sätt.

Larsson M, Erlandsson M, Malmqvist T och Kellner J (2016) har genomfört en livcykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä. Studiens klimatpåverkan utfördes med Skanskas beräkningsprogram ECO2/Anavitor. Syftet med studien var att bedöma projektet Strandparken beläget i Sundbyberg utifrån klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Utmärkande med studien var att Strandparken är ett flerbostadshus med stomme av korslimmat trä. Klimatpåverkan för Strandparken uppgår drygt till 700 kgCO₂e/m²A_{temp} för en analysperiod på 50år och medelsenariet för driftens energianvändning och utbyte. Av de 700 kgCO₂e/m²A_{temp} står byggproduktionsprocessen för 265 kgCO₂e/m²A_{temp}. Sedan beräknas ett resultat utan att inkludera klimatpåverkan för dess källargarage. Detta görs för att möjliggöra jämförelse med byggnaden Blå Jungfrun. Strandparkens klimatpåverkan från byggproduktionsprocessen vid exkludering av garage och källarvåning minskas då till 161 kgCO₂e/m²A_{temp}.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Dahlblom (Dahlblom, 1999, 2020) har studerat två flerbostadshus med syfte att undersöka installationsteknikens energiåtgång genom en livcykelinventering. Vilket är av intresse för studien att beakta då installationstekniken och dess klimatpåverkan för referenshuset har valts att avgränsas bort enligt kapitel 1. Dahlblom undersökte materialkvantitet, tillverknings- och transportenergi för installationsteknik, i form av material för tappvatten, sanitet, uppvärmning och ventilationssystem. De två studerade flerbostadshusen, A och B, hade en uppvärmd area på 3369 m² respektive 700 m² och var uppvärmda med fjärrvärme. Livcykelinventeringen av byggnadernas installationsteknik resulterade i den mängd energi som går åt över 50 år. I byggskedet uppgick denna till 57,4 kWh/m² A_{temp} för byggnad A och till 36,8 kWh/m² A_{temp} för byggnad B. I användningsskedet uppgick driftenergin till 7533 kWh/m² A_{temp} respektive 5028 kWh/m² A_{temp}. Resultatet kan beräknas om till kgCO₂e/m²A_{temp} med en energimix för fjärrvärme i Helsingborg som motsvarar 0,048 kgCO₂e/kWh. Installationstekniken i flerbostadshusen studerade av Dahlblom motsvarar då en klimatpåverkan enligt Tabell 2.2.

Tabell 2.2 - Klimatpåverkan för studerade byggnader (Dahlblom 1999, 2020)

	Energiåtgång byggnad A [kWh/m ² A _{temp}]	Klimatpåverkan byggnad A [kgCO ₂ /m ² A _{temp}]	Energiåtgång byggnad B [kWh/m ² A _{temp}]	Klimatpåverkan byggnad B [kgCO ₂ /m ² A _{temp}]
Tillverkning och transport	57,4	2,8	36,8	1,8
Drift	7533	361,6	5028	241,3
Summa:	7590,4	364,3	5064,8	243,1

Klimatpåverkan för installationsteknik i byggskedet för de flerbostadshus som Dahlblom studerat uppgår för byggnad A till 2,8 kgCO₂e/m²A_{temp} och för byggnad B till 1,8 kgCO₂e/m²A_{temp}. Referensbyggnaden har en liknande uppvärmdarea som byggnad A i Dahlbloms studie och kan därför antas ha en motsvarande klimatpåverkan på 2,8 kgCO₂e/m²A_{temp}.

2.3 Global Warming Potential och koldioxidekvivalenter

När en livscykelanalys utförs väljs en funktionell enhet för att det ska bli möjligt att jämföra resultatet med varandra. När byggnaders miljöpåverkan analyseras finns det flera olika perspektiv och infallsvinklar som exempelvis GWP, försurning, övergödning, marknära ozon och mänsklig hälsoskada. När klimatpåverkan ifrån byggnader kvantifieras används oftast GWP som ett mått på deras globala uppvärmningsförmåga. Enligt den internationella standarden EN 15978:2011 som handlar om hållbarhet hos byggnadsverk ska enheten kg CO₂e användas vid analys av GWP. GWP innefattar inte bara utsläpp av koldioxid, utan även andra gaser med egenskapen att absorbera infraröd strålning. Olika växthusgaser har olika GWP och definieras som relationen mellan den ökade infraröda absorptionen orsakade av 1 kg av en växthusgas och den ökade infraröda absorptionen från 1 kg koldioxid. Det innebär att för få alla växthusgaser jämförbara, multipliceras de antal kilogram utsläppta växthusgaserna med en faktor som omvandlar dem till den gemensamma enheten kg CO₂e. I Tabell 2.3 nedan presenteras några vanliga växthusgaser och deras GWP som tagits fram av IPCC, International Panel on Climate Change (2014).

Tabell 2.3 - GWP i relation till Koldioxid (IPCC AR5, 2014)

Industriell beteckning eller allmänt namn	GWP över en 100 årsperiod [kgCO ₂ e/kg]
Koldioxid (CO ₂)	1
Metan (CH ₄)	28
Fossilt producerad metan (CH ₄)	30
Dikväveoxid (N ₂ O)	265

Enligt initiativet Fossilfritt Sverige (2018) producerar den svenska bygg- och anläggningssektorn årligen runt 15 miljoner ton koldioxidekvivalenter, exklusive klimatpåverkan ifrån uppvärmning. Vilket kan jämföras med hela Sveriges totala utsläpp på grund av inrikes transporter som är kring samma storleksordning. Inkluderas uppvärmning är klimatpåverkan istället hela 22 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Beroende på materialval kan stora miljöbesparingar göras. Även genom innovation och utveckling av kända tungt miljöbelastande material kan klimatpåverkan minskas. I Tabell 2.4 och Tabell 2.5 presenteras exempelvis klimatpåverkan ifrån miljövarudeklarationer mellan olika betongsorter.

Tabell 2.4 - Global warming potential för modulerna A1-A3 för olika sorters betong (EPD-Norge 2020)

Betongsort	GWP [kgCO ₂ e/m ³]
Betong för yttervägg C28/30-C30/37	244
Betong för bjälklag inomhus, standard C30/37	251
Betong för bjälklag inomhus, klimatförbättrad C25/30	218
Betong för hålbjälklag (HD/F) C40/50-C50/60	258

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 2.5 - Global warming potential för modulerna A1-A3 för olika sorters Grön betong från Skanska Industrial Solutions AB (NEPD-1717-700)

Betongsort	GWP [kgCO ₂ e/ m ³]
Grön väggbetong C28/35	118
Grön bjälklagsbetong C32/40	175
Grön garagebetong C45/55	288

2.4 Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg

Programmet Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, BM, är ett offentligt och gratis verktyg som möjliggör beräkning av byggnaders klimatpåverkan utan annars krävd LCA-expertis. Utredningen Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM 1.0 (2018) beskriver de bakomliggande motiven för framtagandet av programmet. Motiven var bland annat att möjliggöra användningen av livscykelanalysberäkningar i samband med utformning, konstruktion och uppförande av byggnader. Syftet med programmet är att med ett gratis och förenklat klimatberäkningsverktyg bidra till ökad marknadsimplementering av LCA för att på ett kostnadseffektivt sätt producera resurseffektiva och klimatanpassade byggnader beskriver projektledare på IVL¹.

Byggsektorns miljöberäkningsverktyg behandlar indata till beräkningarna i arbetsmodulerna A1-A3 som baseras på generisk LCA-data som antingen är representativ för den svenska marknaden eller projektspecifika data. Data representativ för den svenska marknaden är härstammar i BM på den generiska LCA-databas som IVL utvecklat. Projektspecifika data ska hämtas från miljövarudeklarationer, EPDer, och ska vara certifierad enligt standard EN 15804 och ISO 14025 (Erlandsson 2020).

För att genomföra en snabb LCA-beräkning i BM behövs en resurssammanställning över alla ingående material och processer i livscykeln som inventeringen och analysen ska omfatta. Beräkningsverktyget möjliggör en digital inläsning av material och är kompatibelt med flera mängdberäkningsprogram för att underlätta inläsning av materialmängder. Kopplingen mellan materialposter ifrån mängdskalkyl och generiska byggmaterialresurser, kallat mappning, genomförs i stor utsträckning automatiskt, men går även att manuellt genomföra i de fall resurser inte tidigare mappats i BM:s resursdatabas. Funktionella enheter som används i resursregistret är kg för byggmaterial respektive kWh för energivaror. Omräkning mellan beräkningsprogrammets resursenheter och BM:s enhet kan behövas för att en korrekt klimatbelastning ska beräknas. Beräkningsverktyget delar upp analysen i skedena A1-A5, vilket tillåter en stegvis analys av klimatpåverkan från byggnaden. Klimatpåverkan från modulerna transport (A4) och spill (A5.1) genereras i programmet utifrån materialdata och generella transportsценарior. Dessa scenarior går även att specifikt platsanpassa vid behov och tillräcklig med materialdata finns och tillhandahålls av användaren. Ofta genomförs detta endast då dessa poster bidrar till klimatpåverkan på ett betydande sätt eller avviker särskilt ifrån det allmänna scenarior som används i programmet (Erlandsson 2018). Transport i BM delas in i olika transportsätt, lastbil, järnväg samt båt vilka har en klimatpåverkan enligt Tabell 2.6. I tabellen beskrivs klimatpåverkan i MJ/ton*km

¹ Möte med projektledare, hållbara byggmaterial IVL Svenska miljöinstitutet 2020-05-27

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 2.6 - Klimatpåverkan för olika transportsätt (Erlandsson 2018)

Transportsätt	Klimatpåverkan med fordonsdiesel (WTW) [MJ/ton*km]
Lastbil	
Närdistribution < 20km	2,5
Regiontransport < 100km	1,5
Landsvägstransport	1
Järnväg	
El	0,3
Båt	
Kustsjöfart	0,47
Högekustfart	0,18
Tank	0,11

Förnybart bränsle kan även väljas som transportmedel i BM. Olika möjligheter för förnybart bränsle finns, i form av olika sorter av biobränsle. BM behandlar biobränsle genom två olika produkter. Hydrerad vegetabilisk olja (HVO) och rapsmetylester (RME) är de produkter som kan användas för förnybart bränsle.

Indelning av byggdelar sker enligt BSAB systemet och användaren kan välja vilka byggdelar som ska inkluderas i utskrivning av rapport. Verktuget är utformat för att ge användaren en marknadsmässig fördel mot konkurrenter som inte använder ett program för bedömning av klimatpåverkan, genom att skapa mer precisa klimatkalkyler (Erlandsson 2018).

Lokal Färdplan Malmö 2030, LFM30, är en tydlig drivkraft inom branschen vid tillfället för studien och vid införandet av färdplanen kommer det ställas krav på att klimatkalkyler utförs för byggnader. I ett inledande skede kommer publika LCA-data för klimatpåverkan användas från BMs resursregister och på sikt kommer de att kunna ersättas med Boverkets generiska LCA-databas. LFM30 beskrivs i detalj i kapitel 2.5.1. I färdplanen beskrivs det även hur klimatkalkylers kvalitet ska tas i beaktning. IVL (2020) beskriver detta som en täckningsgrad för uppräknig av kalkyler med poster som inte mappats mot LCA-data. Gränsvärdet för klimatkalkylerna som ska användas i LFM30 ska minst uppfylla ett värde på 80 vikts-% eller kostnads-% av resurssammanställningen som mappats mot klimatdata för de resurser som ingår i byggskedet och kalkylen. Resterade omappade resurser ska räknas upp med den procentdel som inte är beräknad i kalkylen. Detta medför att resultatet från kalkyler med lägre täckningsgrad skalas upp för att det inte ska missgynna kalkyler med högre täckningsgrad (ibid).

2.5 Pågående arbete för minskad klimatpåverkan

I detta delkapitel behandlas miljöarbete som olika aktörer inom branschen arbetar med. Ett av branschens miljöinitiativ, lokal färdplan Malmö 2030, beskrivs samt några övriga aktörers miljöarbete. Skanskas miljöarbete beskrivs genom hur företaget arbetar med energiberäkningar. Klimatförbättrad betong och hur reduktion av ståls klimatpåverkan kan utföras beskrivs. Olika åtgärder för klimatkompensation presenteras även.

2.5.1 Lokal färdplan Malmö 2030

Malmö Stad har tillsammans med aktörer i byggbranschen tagit fram en strategi och en färdplan för att inom staden nå klimatneutralitet i bygg- och anläggningssektorn till 2030. Denna strategi är Lokal Färdplan För Malmö 2030, LFM30. Färdplanen har som mål att all nybyggnation, ombyggnad, underhåll samt infrastruktur ska vara klimatneutral till 2030. Färdplanen är bland flera aktörer med verksamhet i Malmö, antagen av IVL och Skanska (LFM30 2019).

Arbetet för klimatneutralitet delas in i delmål i steg om 5 år med start 2020 då det redan ska visas en tydlig nedåtgående trend av utsläppen. Till 2025 skall utsläppen ha minskat med 50 % och till 2030 ska Malmöstads bygg- och anläggningssektor ha nettonollutsläpp av växthusgaser. Färdplanen fortsätter sedan med att om ytterligare fem år (2035) skall alla nya projekt vara klimatpositiva (LFM30 2019). Inom byggskedet A1-A5 presenteras fokusområden som klimatneutrala byggmaterial och klimatneutrala byggarbetsplatser och transporter. Klimatneutrala byggmaterial syftar till att alltid prioritera förnybart byggmaterial och till en ökande användning av återanvända, återvunna och förnybara, resurseffektiva och klimatneutrala material med certifierade EPDer (ibid). Klimatneutrala byggarbetsplatser och transporter syftar till att göra byggproduktionen klimatneutral och till att optimera transporter till, från och inom byggarbetsplatsen. Färdplanen involverar även användningsskedet och slutskedet genom att byggherrar ställer krav på att nya och befintliga byggnader 2025 ska förbruka förnybar eller återvunnen energi (ibid). Initiativet inkluderar en analys av byggnaders alla livscykelkedan men har stort fokus på att minska klimatpåverkan i byggskedet A1-A5. Vid prestandakrav presenterar LFM30 gränsvärden för krav på klimatpåverkan vid uppförandet av olika byggnader och stomsystem (Thrysin, Andersson, Ejlertsson, Erlandsson, Sandgren, Green 2020).

Framtagna gränsvärden för klimatpåverkan för klimatpositiva hus enligt LFM30:

- Småhus, max 2 våningar, exklusive garage: $190 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Flerbostadshus, högre än 2 våningar, exklusive garage: $240 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Lokaler, exklusive garage: $300 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Framtagna gränsvärden för olika stomssystem:

- Platsgjuten betongstomme, yttervägg med kvarstannande form: $331 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Platsgjuten betongstomme, lätta utfackningsväggar i trä och stål: $290 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Prefabricerad betongstomme, bärande ytterväggar, HDF-bjälklag: $272 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$
- Volymelement i trä, respektive massiv stomme i KL-trä: $223 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$

Ovanstående klimatpåverkan för stomssystem innefattar schablonvärde för hiss och installationer på $15,6 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$ (ibid).

2.5.2 Skanskas miljöarbete

Skanska har länge arbetat med frågor om miljön och skrev sin första miljöpolicy redan i mitten på 1990-talet. Sedan dess har Skanskas fokus på miljön vuxit från dokumentering av använda kemikalier till utvecklandet av Grönt byggande och framtagandet av Mörkgrönt byggande (Skanska 2019a). Grönt byggande är ett begrepp på Skanskas grundläggande sätt att arbeta för ett mer miljöanpassat och framtidsinriktat byggande, som sträcker sig längre än aktuella standarder och lagkrav. Det är vad Skanska erbjuder sina kunder och byggföretaget har även en vision om att det som Skanska utvecklar, bygger och producerar, ska ha en så nära noll miljöpåverkan som möjligt (ibid). För beräkning av en klimatneutral byggnad har Skanska tagit fram en formel. Med formeln kan ett netto klimatavtryck för de första 50 driftåren beräknas fram. Formeln tar hänsyn till förnybar energiproduktion (FE_{drift}), klimatbelastning från byggnadens energibehov ($KB_{\text{EB-drift}}$), klimatbelastning för byte och underhåll (KB_{BU}), klimatbelastning från materialframställning för lokal förnybar energi ($KB_{\text{FE prod}}$) och klimatbelastning från produktion av byggnaden ($KB_{\text{HUS prod}}$).

Formeln för klimatneutral byggnad framtagen av Skanska (2020) beskrivs i ekvation 2 nedan:

$$\sum_0^{50} FE_{\text{drift}} - \sum_0^{50} KB_{\text{EB-drift}} - \sum_0^{50} KB_{\text{BU}} - KB_{\text{FE prod}} - KB_{\text{HUS prod}} \geq 0 \quad (2)$$

Ett av Skanskas affärs mål är således att bygga med höga miljöambitioner och med en växande andel av mörkgrönt och klimatneutralt byggande. Mörkgrönt byggande guidar Skanskas byggande mot visionen om nära noll miljöpåverkan genom målen netto noll primärenergi, nära noll klimatpåverkan, noll icke hållbara material, noll farliga material, noll byggavfall och netto noll vatten. Med detta miljöfokus som grund motiveras utförandet av studien för en fortsatt utveckling och förbättring av byggbranschens klimatarbete för framtiden. (Skanska 2019a)

2.5.3 Klimatförbättrad betong

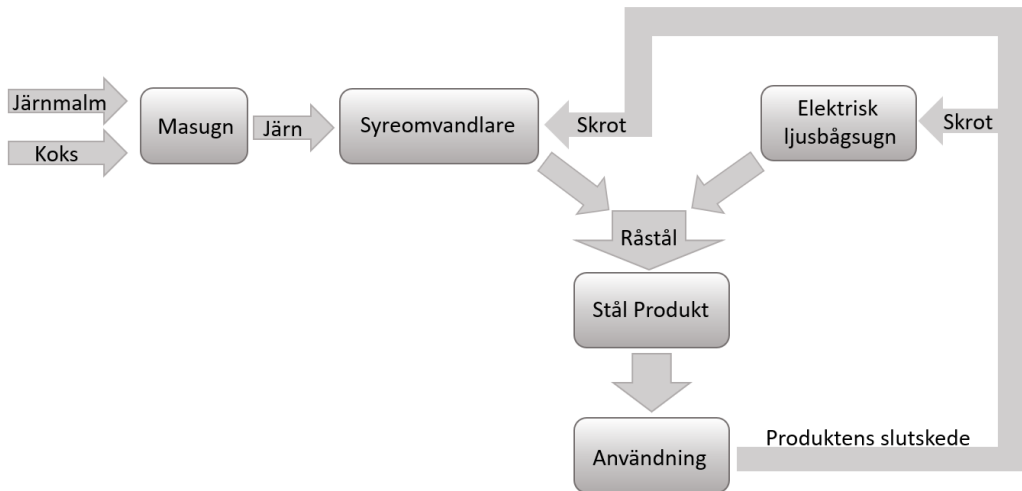
Alla delar av produktionen av betong producerar koldioxid och det är först under driften och under återvinning som betong absorberar koldioxid. Svensk Betong (2017) menar att mer än 90 % av koldioxidutsläppen som sker vid produktion av betongen sker vid framställning av cementklinkern. Det är därav genom minskning av cementklinkerandelen som klimatförbättringar görs, främst genom att ersätta den med alternativa bindemedel. Våren 2019 presenterade Skanska klimatförbättrade betongprodukt kallad Grön betong, betongen ersätter cement med slagg som är en restprodukt vid stålproduktion. Grön betong är samlingsnamnet på Skanska klimatförbättrade betong och just nu finns en EPD för de tre betongtyperna väggbetong, bjälklagsbetong och garagebetong. Vid jämförelse med IVL Branschvärden innebär dessa nya recept en minskning i utsläpp av koldioxid med 52 % för väggbetongen, 40 % för bjälklagsbetongen respektive 15 % för garagebetongen (Skanska 2019b). De utvecklande betongsorterna kvalitetssäkras för att samtidigt som de minskar deras klimatpåverkan markant ska de fortsätta uppfylla samma krav på beständighet, livslängd, hållfasthet och gjutbarhet som tidigare.

2.5.4 Reducering av ståls klimatpåverkan

Utsläppen från Sveriges industrisektor uppgick 2018 till 17 miljoner ton koldioxidekvivalenter, nästan en tredjedel av Sveriges totala utsläpp (Boverket 2020). Merparten av industrisektorns utsläpp kan allokeras till Järn- och stålindustri, mineralindustri och raffinaderier vilket gör dessa till intressanta industrier att förbättra ur ett klimatperspektiv (ibid). Inom byggproduktion fokuseras det mycket på cirkulärekonomi vilket innebär att slutna processer där uttjänta produkter blir till resurser föredras istället för processer som kräver nytt råmaterial (ibid).

Tillverkningen av stål genomförs i huvudsak genom två processer, traditionell produktion från järnmalm i masugn och från återvunna ståldelar i en elektisk ljusbågsugn. Produktion av återvunnet stål beskrivs enligt The European Steel Association (2020) som en cirkulär process där stål som används återvinns och blir nytt stål som kan användas i nya byggnader. Det återvunna stålet smälts ner med energi från ljusbågsugnen som uppkommer när elektroderna får kontakt med metallen. Processen kan producera flera olika stålmaterial genom användning av metoden för att återanvända stålprodukter (ibid). Stålproduktionsprocessen beskrivs enligt Figur 2.3.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan



Figur 2.3 - Tillverkningsprocessen av stål enligt Eurofer 2020

Inom stålindustrin används inte endast återvinning av stål utan även återanvändning där processen för och klimatpåverkan ifrån tillverkning kan undvikas. Husson och Lagerqvist (2018) menar på att det inte finns några juridiska hinder för att återbruk av stålkomponenter och problematiken ligger istället på säkerställning av stålets kvalitet och fysiska egenskaper. De mekaniska materialegenskaper som har betydelse för dimensionering av stålkonstruktioner är; sträckgräns, brottgräns, brottförlängning, slagseghet och eventuellt deformationsegenskaper och inre spänningar. Provning av kvalitén görs med förstörande eller oförstörande provningsmetoder. Förstörande materialprovning ger säkra svar på materialegenskaper men det innebär materialförlust och höga kostnader. Husson och Lagerqvist (2018) har istället undersökt två oförstörande provningsmetoder där brottgränsen och stålets kemiska sammansättning analyseras. Är stålet gammalt eller om det saknas dokumentation kan oförstörande provning dela upp stålet i undergrupper medan dess mekaniska egenskaper måste bestämmas med förstörande provning. Rapporten föreslår även tre olika återbruksmodeller som förslag på hur återbruk kan organiseras och författarna lyfter att det generellt krävs förstärkning av miljöincitament och att demontering prioriteras framför rivning för att återbruk av stål ska få ett uppsving. Den totala tillgången av återbrukat stål i Sverige uppskattas vara i storleksordning med andra länder, dock kan tillgången variera från land till land enligt (SBUF 2011). Husson och Lagerqvist (2018) har i sin studie uppskattat tillgången till 3t/invånare i Frankrike, 15t/invånare i Japan och 5t/invånare i Storbritannien och menar att tillgången i Sverige ligger nära dessa värden. Vilket skulle innebära en tillgång på stål i Sverige med ca 10 miljoner invånare, inom intervallet 30-150 miljoner ton.

2.5.5 Klimatkompensation

Klimatkompensation är handlingen att investera i klimatförbättrande åtgärder för att kompensera för klimatbelastning man inte kan undvika under sin verksamhet. Exempel på åtgärder är att investera i externa företag som arbetar för att förbättra klimatet genom att exempelvis plantera träd, bygga vindkraftverk, bygga solceller eller investera i förnybara bränslen, Skanska². Som byggföretag kan man även klimatkompensera genom att själv montera solceller. För att nå mål som klimatneutralitet måste man idag klimatkompensera för byggmaterial. Ett alternativ för att klimatkompensera är att använda byggmaterial som leder till ett ökat upptag av koldioxid i form av carbon capture storage (CCS) eller så kan förbränning av biobränslen (bio-CCS) användas för att uppnå ett negativt utsläpp. Klimatkompenserade åtgärder som inte kan betraktas som ett negativt utsläpp, det vill säga åtgärder som inte innebär att växthusgaser försvunnit, kan därför inte betraktas som åtgärder för att bli klimatneutral. Ytterligare ett omdiskuterat alternativ kan vara att betala externa företag för att klimatkompensera med en kostnad per utsläppta ton koldioxidekvivalenter (Holmgren & Nordenbro 2020). Priset för att kompensera varierar mycket beroende på företag, väljer man att exempelvis klimatkompensera hos Tricorona Climate Partner AB³ varierar priset mellan 50 och 300 kr/ton CO₂e. Klimatkompenserar man hos Vi-Skogen⁴ kostar det 96 kr/ton CO₂e. Det finns både för och nackdelar med olika materialval, ibland kan entreprenören inte byta och ibland vill man inte av andra anledningar. Är målet att byggprojektet ska bli klimat neutralt måste dock priset av klimatkompensation vägas mot priset för det mer klimatsmarta materialet och den besparing av CO₂e som görs vid bytet.

² Möte med hållbar affärsutvecklare Skanska 2020-03-06.

³ Mailkonversation med Tricono Info, klimatkompensationsföretag, Tricono Climate Partner AB 2020-04-02.

⁴ Mailkonversation med Innovative business and carbon offset specialist Vi-Skogen 2020-04-03.

3 Metod

I detta kapitel beskrivs arbetsprocessen för studien, hur data samlades in, vilken indata som användes och vilka förutsättningar som studien utgick ifrån. Studien är uppdelad i tre delar; Klimatkalkyl för referensbyggnaden (Del I), Utvärdering av klimatposter i A1-A3 (Del II), samt Utvärdering av alternativa lösningar (Del III). Studien initierades med beräkning och bedömning av husets klimatbelastning. Studien fortsätter med att i Del II ta fram produktspecifika GWP-värden för konstruktionsdelar med stor klimatpåverkan. Del III genomfördes när de mest klimatbelastande konstruktionsdelarna identifierats och då förändringspotential, för respektive alternativ lösning, hade analyserats för de valda konstruktionsdelarna. I denna del av studien gjordes även flera kombinationer av alternativa lösningar för att visa den sammanslagna klimatförbättringspotentialen i jämförelse med referenshusets klimatpåverkan. I detta kapitel beskrivs metod för dessa delar.

3.1 Del I: Klimatkalkyl för referensbyggnaden

3.1.1 Beskrivning av referensbyggnaden

Studien utgick ifrån en klimatpåverkansbedömning av ett äldreboende som under studiens genomförande projekteras av Skanska. En mängdkalkyl för referensprojektet användes som utgångspunkt för att initialt genomföra en klimatpåverkansberäkning och för att identifiera de byggdelar i projektet som mest bidrar till en ökad klimatpåverkan. Den byggnad som studerades planeras att uppföras i Helsingborg och ska innehålla 54 vårdplatser samt gemensamma utrymmen för både boende och för personal fördelat över tre våningsplan. Byggnaden planeras ha en uppvärmd area (A_{temp}) på 3629 m². Referensbyggnaden som projekt valdes med utgångspunkter i att det projekteras i samtid med studien samt att det är ett projekt som projekteras av Skanska med stort fokus på att minska klimatpåverkan. Byggprojektet är tänkt som ett av flera steg mot ett mer hållbart byggande där projektet även kan fungera som inspiration till hur framtida äldreboendeprojekt kan utformas menar hållbar affärsutvecklare Skanska⁵. Byggprojektet motsvarar även i hög utsträckning hur ett äldreboende byggs idag med avseende på tekniska val och utföranden. Då analysen genomfördes parallellt med projekteringen av referensbyggnaden användes en snabbkalkyl av byggnadens materialanvändning. Kalkylen innefattade material, produkter och tjänster för ett generellt äldreboende och användes som referens för byggprojektets planering och även för studien. Utifrån detta grundutförande kunde ändringar av äldreboendets byggprojektdelar och förändring av byggnadens klimatpåverkan analyseras.

Äldreboendet, fortsättningsvis kallat referensbyggnaden, bestod av en platta på mark av betong med en bärande stomme av både stål och betong. Mellanbjälklaget bestod främst av prefabricerade håldäcksbjälklag med kompletterande delar av massivt betongbjälklag. Majoriteten av utfackningsväggarna bestod av gips, stålreglar, stenull och var på utsidan klädda med putsat tegel. Taket bestod av en papptaktäckning ovan takstolar i trä. Den färdiga byggnaden planeras använda fjärrvärme som huvudsaklig

⁵ Möte med hållbar affärsutvecklare Skanska (2020-03-06).

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

uppvärmningskälla men vilket uppvärmnings- och ventilationssystem var ej bestämt vid tidpunkten vid studien.

Referensbyggnadens klimatpåverkan analyserades främst utifrån produktskedet, A1-A5. Klimatpåverkan uppstår vid uppförandet av byggnaden men byggnaders sammanlagda klimatpåverkan från hela livscykeln innefattar även andra skeden. Drift- och användningsskedet har historiskt sett stått för en stor del av den sammanlagda klimatpåverkan och därför beräknades även klimatpåverkan för referenshuset. Beräkningen genomfördes med schablonvärden för byggnadens primärenergital (EP_{pet}) från Boverkets byggregler (BBR). Byggnadens primärenergital (EP_{pet}) beskriver endast energiåtgången, i kWh/m^2A_{temp} , under driftskedet. Vid beräkningen delades inte energiposter upp och det antogs att fjärrvärmeenergianvändningen var den dominerande andelen. Klimatpåverkan för energiåtgången under driftskedet beräknades således med omräkningsfaktor för energimix Helsingborg på 0,048 $kgCO_2e/kWh$ (Öresundskraft 2020), både för de första 50 respektive 100 åren. Vid analysen över första 100 åren exkluderades ny klimatpåverkan som kan tillkomma för renovering och underhåll av byggnaden och dess system. Primärenergi faktorer som användes i studien var högst tillåtna värde enligt BBR samt Skanskas krav (Boverket 2011). Byggnadens primärenergi tal (EP_{pet}) är det värde som beskriver en byggnads energiprestanda och utgörs av byggnadens energi för uppvärmning som justeras med en geografisk faktor (E_{uppv}), energi till komfortkyla (E_{kyl}), energi till tappvatten (E_{tvv}) och fastighetsenergi (E_f) som multipliceras med primärenergifaktor för varje energibärare (PE) (ibid). Det genomfördes även en jämförelse mellan klimatpåverkan i byggskedet och i driftskedet.

3.1.2 Referensbyggnadens klimatpåverkan

Bedömning av klimatpåverkan för referensbyggnaden genomfördes med beräkning i Byggsektorns miljöberäkningsverktyg. Material kategoriserades efter vilken byggprojektdel och konstruktionsdel i byggnaden som de utgjorde. Vilka byggprojektdelar som inkluderades eller avgränsades bort i studien presenteras i bilaga 1. Avgränsningen följer BSAB från Svensk byggtjänst.

En extraherad mängdkalkyl från Skanskas mängdberäkningsprogram Spik lästes in i BM och med materialposternas initiala information genomförde programmet mappning mot resurser befintliga i den bakomliggande resursdatabasen från IVL. Mappning innebär att inmatade materialposter kopplas till BMs resurser som har generiska data för klimatpåverkan. Indata för en post innefattade en benämning, en koppling till byggdel, materialets mängd, mängdens enhet, en faktor för omräkning till kg och ofta vilken byggresurs materialet mappas till. En fullständig beräkning i BM kräver att mappning till resurser i databasen genomförts för varje materialpost. Mappning sker delvis automatiskt genom att tidigare användares mappningar mellan ID-nummer och byggresurs sparats i programmet. Mappningen kan av användaren väljas att göras globalt, för samtliga resurser med samma ID i det aktuella projektet och endast för den specifika resursen i det aktuella projektet. En global mappning innebär att när nästkommande användare läser in material med samma ID som mappats globalt, sker den mappningen automatiskt. En sådan mappning av material-ID i BM granskas av programmets utvecklare innan den godkänns och blir automatisk. Saknas en mappning mellan materialpost och resurs i databasen måste det genomföras av användaren själv.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Materialet som saknar mappning kopplas då till en resurs i resursdatabasen som överensstämmer med materialet i fråga. I de fall som materialet inte är en kvantifierbar miljöbelastande resurs eller om det är en personalresurs, mappades det till en kategori som motsvarar 0 kg CO₂e/kg material. I Figur 3.1 visas hur några material är mappade till IVLs resursdata i BM.

Projektinformation		Byggskedet A1-A3 transp. A4, spill A5.1		Byggarbetsplatsen A5.2-A5.5		Projektmedlemmar		Resurs				Mappning	
Status	ID	Benämning	Byggdel	Inköpt mängd	Inläst enhet	Omräkningsfaktor	Spillandel [%]	Resurs	Enhet	Std-spill, %	GWP: Klimatpåverkan		
	3	Armering	27 Platta på mark	1,00	kg	1,000	10,00	Armeringsnät mm (IVL LCR)	kg	10	0,5794529 kg CO ₂ e/kg		
	124	Betong	27 Platta på mark	1,00	m ³	2400,000	5,00	Husbyggnadsbetong (vct 0,68, C25/30)	kg	5	0,104 kg CO ₂ e/kg		

Figur 3.1 - Urklipp från BM hur inmatade materialdata presenteras

Standarden för miljödeklarationer för byggnadsverk EN 15804 och ISO 14025 beskriver att den funktionella enheten för en byggprodukt ska vara baserad på relevant funktionell användning eller prestationskaraktär när produkten är integrerad i en byggnad. Det innebär att i praktiken varierar EPDers valda funktionella enheter för olika produkter och material. Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg använder sig av kgCO₂e/kg material vilket innebär att då en material mängd vars enhet skiljer sig från BMs matas in, måste en omvandlingsfaktor beräknas. Exempelvis ges ofta betongs miljöpåverkan i kgCO₂e/m³ betong vilket omvandlas till rätt enhet genom att dividera med den specifika betongens densitet i kg/m³. När materialmängdlistor extraherade ifrån mängdberäkningsprogram läses in i BM kan underentreprenadposter ibland följa med. Nyckeltal givna av Skanska har använts för omräkning till kg för den klimatbelastande delen i underentreprenaden som inte är kopplat till materialanvändningen. Det är viktigt att underentreprenadposterna i en kalkyl stämmer väl överens med verkligheten då de ofta har stor påverkan på resultatet.

Klimatdata för de använda materialen vid beräkning av referenshusets klimatpåverkan tillhandahölls från IVL Svenska Miljöinstitutets materialdatabas. Resursdata i databasen är generisk, vilket innebär att de är en slags medelvärden för materialen i byggbranschen och att de uppdateras kontinuerligt av programutvecklarna. Ett resultat beräknat på enbart värden från IVLs materialdatabas är på så sätt ett bra sätt att uppskatta klimatpåverkan i ett tidigt byggskede när specifika material- och produktval inte ännu är gjorda och ger möjlighet att jämföra olika alternativ. Tillverkare och producenter av sammansatta material, till exempel våtrumsmoduler eller alternativt bjälklag i studien, kontaktades med syftet att få tillgång till materiallistor för produkterna. Mappning och hur olika material tillverkas är inte alltid självklart och vid utförande av studien rådfrågades både BM-kunniga kontaktpersoner på IVL och upprättare av Skanskas mängdkalkyl för att beräkna en så tekniskt korrekt klimatpåverkansberäkning som möjligt. Vid utredning av möjligheten att ersätta vissa specifika material med andra, konsulterades sakkunniga inom Skanska men även materialleverantörer.

Med alla material och produkter anpassade, inmatade och mappade till rätt klimatpåverkan i BM skrevs en rapport ut. Rapporten redovisar automatiskt projektets klimatpåverkan fördelat över arbetsmodulerna A1-A5, fördelat över byggresurser och även över byggprojekt del. En utskriven rapport visar resurssammanställning för hela

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

byggprojektet där de specifika resursernas klimatpåverkan är sammanslagna. Utifrån den utskrivna rapporten valdes de byggprojektdelar ut som hade en procentuell andel klimatpåverkan som var större än 10 % av byggnadens totala klimatpåverkan för fortsatt analys. Byggprojektdelarnas påverkan bröts ner i konstruktionsdelar för att identifiera förbättringspotentialer vilka studien presenterar i Del II. När rapporter skrivs ut från BM är det möjligt att välja vilka byggprojektdelar som ska skrivas ut, detta gjordes för att tillfälligt avgränsa vilka klimatpåverkansposter som var av intresse att jämföra värden före och efter applicering av alternativa lösningar. Väljs istället att skriva ut en rapport för hela projektet adderas automatiskt byggresurser under samma benämning från olika byggprojektdelar och det är inte möjligt att identifiera dess ursprung. När kombinationer av alternativa lösningars inverkan på klimatpåverkan jämfördes i relation till hela byggprojektet skrevs rapporten ut med alla byggprojektdelar som inte avgränsats bort i studien inkluderade. Minskningen i utsläppta koldioxidekvivalenter presenteras i kapitel 4, både i $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$ och i procent.

3.2 Del II: Utvärdering av klimatposter A1-A3

Värdering av vilka konstruktionsdelar som har störst klimatpåverkan inom varje vald byggprojektdel genomfördes i första delen av studien med hjälp av utdata från beräkningsprogrammet BM. Utdata filterades sedan efter den byggprojektdel som valdes att studera och i den resurssammanställning som matas ut från BM utlästes de konstruktionsdelar som hade störst klimatpåverkan. Detta genomfördes för de fyra studerade mest påverkande byggprojektdelarna; stomme, fasad, husunderbyggnad och stomkomplettering/rumsbildning.

Tillvägagångssättet för att hitta lösningar med en potential att reducera klimatpåverkan var dels att undersöka material i vanligt förekommande konstruktionslösningar dels att analysera nyligen utvecklade utformningar ur ett klimatperspektiv. I ett fall ersattes exempelvis stålreglar med träreglar eftersom produktionen av träreglar har väsentligt mindre klimatbelastning än produktionen av stålreglar. I praktiken kan ändringar som denna innebära att ytterligare material kan behövas för att uppfylla funktionskraven den befintliga funktionen uppnår.

Vanligt förekommande material med lägre klimatpåverkan utvärderades genom att EPDer för materialen jämfördes mot den befintliga resursen i referenshuset. Detta gjordes dels direkt ifrån leverantörers hemsidor, dels ifrån EPD-databaser. Material och alternativa lösningar togs fram genom kommunikation och diskussion med leverantörer, tillverkare och materialexperter för att hitta ett ersättande material som uppfyllde samma funktionella krav som motsvarande del i referenshuset. Exempelvis har olika betongsorter olika hållfasthet, vattencementtal, exponeringsklasser och användningsområden som togs hänsyn till vid val av en annan betongsort.

När EPDer samlats in sammanställdes de alternativa lösningarnas GWP-värden. De ingående materialmängderna med dess klimatpåverkan och beräknade omräkningsfaktorer importerades till BM där konstruktionens klimatpåverkan beräknades och kunde utvärderas. GWP-värdet är den kvantifierade klimatpåverkan en produkt har i form av $\text{kg koldioxidekvivalenter per kg material}$ och den tas fram av produktens tillverkare genom att det utförs en LCA på produkten som sedan

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

sammanställs i produktens EPD. Produktens EPD granskas sedan av en opartisk tredje part. Tillvägagångssättet för att undersöka och ta fram EPDer och GWP-värden för beräkningarna är unikt för varje konstruktionsdel eftersom det vid tidpunkten för studien inte fanns EPDer för samtliga material på marknaden. Flera företag på marknaden arbetar aktivt under tiden som studien genomförs med att ta fram fler EPDer för fler produkter som de säljer. EPD-databaserna EPD-Norge, Environdec och Institut Bauen und Umwelt användes i studien vid tillfällen då EPDer för specifika produkter inte funnits på leverantörers hemsidor.

Vid utbyte av material är det viktigt att mängden som byts ut ersätts med samma mängd av det nya materialet. Det kan ibland vara komplicerat om exempelvis materialet i referensprojektet är angivet i kg men det ersättande materialet har en annan densitet, vilket skulle innebära en annan volym. Därför valdes det i studien att vid utbyte av material hålla volymer och dimensioner så konstanta det går genom beräkningsgången och hålla de alternativa lösningarnas funktion nära referensprojektets.

3.2.1 Stomme

3.2.1.1 Bjälklag

Mellanbjälklaget i referensbyggnaden bestod till största del av prefabricerat håldäcksbjälklag men kompletterades med massivt gjutet bjälklag som stod för 5,4 % av bjälklagsarean. Med gällande förutsättningar angående dimensionering av bjälklagen använde studien lika stor tjocklek och volym av betong, vilket innebär att vikten av bjälklagen kunde variera något beroende på vilken densitet den valda betongen hade. Nedan följer klimatförbättringar som kunde göras genom att ersätta den generiska betongen i HDF-bjälklaget i referenshuset med Skanskas så kallad Gröna bjälklagsbetong, Sydstens klimatförbättrade betong och Svensk Betongs klimatförbättrade bjälklagsbetong. Ett alternativ som utreddes i studien är att även ersätta massivbjälklagen i referensbyggnaden mot massivbjälklag gjutna med klimatförbättrad betong från tidigare nämnda leverantörer. Vidare analyserades även en alternativ konstruktionslösning i vilken andelen betong minskas och till viss del ersätts med bärande reglar av trä. Konstruktionslösningen är en hybridkonstruktion som utnyttjar både betongens och träets bärande egenskaper. Förslaget som analyserades är ett hybridbjälklag framtaget av Hedareds Sand och Betong AB som visualiseras i Figur 3.2. I detta fall analyserades detta hybridbjälklags potential att minska utsläppen med förutsättningen att bjälklaget behåller sina tekniska- och funktionella egenskaper. Implementering av hybridbjälklaget kan medföra ytterligare projekteringsresurser för att säkerställa att konstruktionen behåller dessa egenskaper.

Betongutbyte HDF & massivbjälklag

Potentialen för en reducerad klimatpåverkan för håldäcksbjälklaget i referensbyggnaden analyserades i studien med utgångspunkt i ett betongrecept med lägre klimatpåverkan som uppfyllde samma funktion som den befintliga betongen. Vid en intervju med en av Skanskas betongspecialister⁶, framgick det att de klimatförbättrade betongsorterna som användes i studien för bjälklaget uppfyllde samma funktioner som övrig betong och kunde därför jämföras med den använda betongsorten i referensbyggnaden. Det befintliga håldäcksbjälklaget var prefabricerat vilket medförde att de klimatbesparande förslag som föreslås i detta kapitel även behövde kunna prefabriceras för att vara jämförbara. Lösningförslagen bygger på antagandet om att tillverkare av prefabricerade håldäckbjälklag kunde gjuta med de klimatförbättrade betongrecepten utan att inskränka på kvalitén. Vid beräkning av förhållandet mellan betong, luft och armering för HDF-bjälklagen användes Strängbetongs håldäcksbjälklag (NEPD-1713-696-SE) för att kunna genomföra viktberäkningar på alla håldäck med ändrat betongrecept i studien. Egenskaperna till bjälklagen som används i studien presenteras i Tabell 3.1 och volymberäkningar redovisas i bilaga 2.

⁶ Intervju med teknisk specialist Grön betong, Skanska 2020-02-28.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 3.1 - Egenskaper för håldäcksbjälklag i referensbyggnaden.

	Mängd (m ²)	Tjocklek (m)	Vct	Exponerings klass	Densitet (kg/m ³)	Vikt per m ² (kg/m ²)
HDF 120/27	3358,2	0,27	0,4	XC2	2400	328
HDF 120/38	339,7	0,38	0,4	XC2	2400	477
Massivbjälklag	212,3	0,23	0,6	XC0	2400	552

Betongsorter som användes i lösningsalternativen var Grön betong från Skanska (NEPD-1717-700-SE) beskrivna för Stockholm och Göteborg, klimatförbättrad betong-bjälklag, från Sydsten (NEPD-2134-965-SE) samt klimatförbättrad betong för bjälklag inomhus från Svensk Betong (NEPD-1297-419-SE). GWP-värden, exponeringsklasser och densitet erhöles från EPDer tillhandahållna av respektive företag. Under studiens resultatberäkning användes värden för Sydstens betong erhållna genom mailkonversation med företagets miljö och hållbarhetssamordnare⁷. Sydstens GWP-värden kom senare att uppdateras med en godkänd EPD och ändring av värdena på tusendels nivå. Ändringen antogs inte vara en avgörande skillnad för resultatet.

Vid beräkning av klimatförbättringspotential för det massiva bjälklaget i referensbyggnaden användes samma betongsorter som för håldäcksbjälklaget.

Alternativt utförande

Bjälklagets utformning är kritisk för många delar av byggnaden. Volym, vikt, akustiska egenskaper och bärighetsförmåga är några egenskaper värda att nämna. Utan att genomföra en fördjupad analys för hur ovannämnda egenskaper förändras när bjälklagets utformning ändras, analyserades det istället hur alternativa lösningar kan användas i byggnaden för att potentiellt reducera klimatpåverkan. Det alternativa utförandet som studien analyserade är ett hybridbjälklag där olika byggnadsmaterial samverkar i en sammansatt konstruktionsdel.

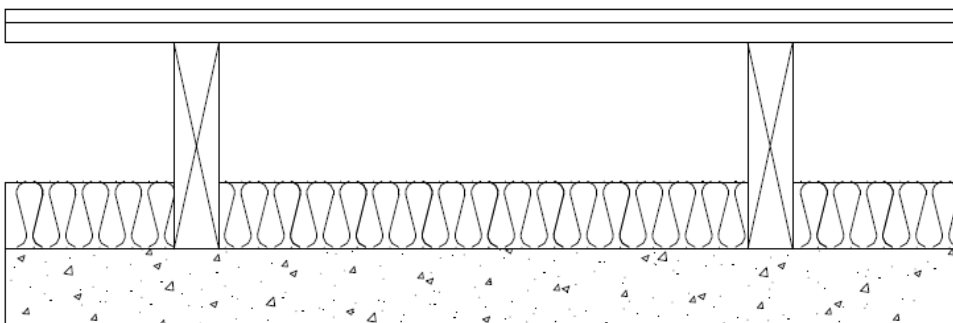
⁷ Mailkonversation med miljö och hållbarhetssamordnare, Sydsten 2020-03-09.

Hybridbjälklag – Heda

Ett hybridbjälklag innebär att ett bjälklags bärande delar inte bara består av ett material utan av flera. Hedareds Sand och Betong AB (Heda) är ett industriföretag som genom att kombinera egenskaper från betong, trä och mineralull tagit fram ett bjälklag som både väger mindre och har en lägre andel betong än konventionella betongbjälklag. Figur 3.2 visar hur hybridbjälklaget grundar sig i ett underliggande lager av betong som samverkar med ovanpåliggande regler. Bjälklaget är 295mm högt och inkluderar material listat nedan:

- Betong 80mm, kvalitet C40/50
- Träbjälkar 215x47mm, CC-avstånd 600mm
- Mineralull 70mm, densitet lägst 18kg/m³

Golvet läggs på likvärdigt sätt som i referenshuset men i detta fall mot en ytbeläggning av 22mm spånskiva samt 13mm gips. Konstruktionen prefabriceras till stor del på fabrik men isolering och golvskivor monteras plats på byggarbetsplatsen beskriver kontaktperson på Hedareds Sand och Betong AB⁸.



Figur 3.2 - Visualisering av Heda Hybridbjälklag

Hybridbjälklaget är fuktsäkerhetsprojekterat 2011 av Sveriges forskningsinstitut SP (nuvarande RISE). Denna förutsättning är av väsentlighet då fuktsäkerhetsprojekteringen visar på att bjälklaget lämpar sig som ett mellanbjälklag och inte uppvisar på fuktproblem med rådande förutsättningar (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut 2011). Studien utredde hybridbjälklagets potentiella reduktion av klimatpåverkan, dock bör kombinationer av betong i kontakt med trä användas med försiktighet och alltid utredas för det specifika fallet.

Wikells mängdberäkningsprogram Sektionsdata användes för att ta fram materialmängder per kvadratmeter för hybridbjälklaget. För jämförelse med referensprojektet förenklades beräkningen så att materialen i bjälklaget var homogent fördelat över hela bjälklagsarean.

⁸ Mailkonversation med Hedareds Sand och Betong AB mellan 2020-02-01 och 2020-05-06.

3.2.1.2 Stålstomme

Bärande delar av stommen i referensbyggnaden bestod av stål och betong där stålet främst motsvarades av pelare och balkar. Denna post i mängdkalkylen saknade detaljer eftersom posten endast var markerad som en underentreprenad och vad som inkluderades framgick inte. Ersättningsmaterial gick därför inte att tillämpa på samma vis som andra alternativa lösningar. Stålkonstruktionen i referensbyggnaden utgör till stor del byggnadens lastbärighet, och därför innefattades flera tillverkare i analysen. Stålstommar från tillverkarna analyserades och möjligheten för att implementera återvunnet stål i konstruktionen undersöktes. Studien innefattade även en diskussion angående återbrukat stål då det har stor potential att reducera klimatpåverkan men var i hög utsträckning beroende av tillgången av rätt delar för konstruktionen vid byggnadens produktionstillfälle. Stålstommen som underentreprenörer levererar antogs vara till största utsträckning av konstruktionsstål, vilket bekräftades genom kommunikation med Hållbarhetsspecialist på Skanska⁹. Förbättringspotentialen för stålstommen undersöktes främst med användning av återvunnet stål med utgångspunkt från de EPDer som tagits fram samt så undersöktes och diskuterades möjligheten för användning av återbrukat stål. Alternativa tillverkare av stålstommar och konstruktionsstål undersöktes för att jämföra deras olika klimatpåverkan med det generiska värdet i BM.

Återvunnet stål

Stålstommen som i referensbyggnaden till största del består av konstruktionsstål medför möjligheten att, för reduktion av klimatpåverkan, använda återvunnet stål. Återvunnet stål tillverkas från tidigare använt stål, stålspill samt från övrigt icke längre användbara stålprodukter enligt EAF (Electric arc furnace route) proceduren (Eurofer 2020). Processen beskrivs i kapitel 2.5.2 *Reducering av ståls klimatpåverkan*. Från dessa använda produkter kan nya stålprodukter tillverkas som uppfyller samma krav på konstruktioner av nytillverkat stål. I studien analyseras produkter från ståltillverkarna Arcelor Mittal, Norskt stålförbund samt Bauforumstahl. Utifrån EPDer av dessa tre tillverkare undersöks den potentiella reduktionen av klimatpåverkan från stålstommen vid användning av återvunnet stål i byggprocessen. Arcelor Mittals återvunna stål beskrivs i EPD (EPD-ARM-20170033-IBDI) vilket kan användas i flervåningshus och kan därför används som ett alternativ. Norskt stålförbund beskriver i EPD (NEPD 00252E) om stålkonstruktionsdelar i form av flertalet balkar och pelare för konstruktioner som tillverkas med återvunna stålprodukter. Bauforumstahl tillverkar även stål ifrån återvunnet material som kan användas i flervåningshus och även tillverkas i olika dimensioner och konstruktionsdetaljer vilket beskrivs i (NEPD-1702-693).

⁹ Mailkonversation med Hållbarhetsspecialist, grön utvecklingschef, Skanska Sverige (2020-03-10)

Återbrukat stål

Möjligheten för att använda sig av återbrukade stålkonstruktionsdelar är i stor utsträckning beroende på tillgången av dessa delar och tillgången på information i området är begränsad. Studien behandlar därför återbrukat stål som en faktor som kan innebära en förbättringspotential ur ett klimatperspektiv för stålstommen. Då informationen om stålstommen är begränsad samt att den projekteras och konstrueras av underentreprenörer används återbrukat stål främst som en diskussionspunkt som baseras på schablonmässiga beräkningar för reduktionen av klimatpåverkan. I studien används två procentsatser för tillgång av återbrukat stål, 5 % och 30 %, för att analysera den potentiella förbättring som användning av återbrukat stål har på projektet. Procentsatserna tas fram efter diskussion med Hållbar affärsutvecklare, Skanska¹⁰. Förbättringspotential för återbrukat stål beräknas genom att använda tidigare nämnda procentsatser i kombination med konstruktionsstål, detta i form av generisk resurs i BM.

Alternativa tillverkare av stålstommar och konstruktionsstål

I studien valdes att, efter undersökning i EPD-databaser, analysera tre alternativa tillverkare. Contiga AB, Norstal Steel Structures och Skonto Prefab användes då de har publicerat EPDer på konstruktionsstål och stålsektioner för användning i stålstommar. Den prefabricerade stålkonstruktionen från Contiga AB som beskrivs i EPDn (NEPD-1928-851-SE) valdes eftersom den används för bärande konstruktioner och kan tillverkas i varierande dimensioner för att passa olika typer av byggnader, däribland flerbostadshus. Det andra alternativet som analyserades är en stålkonstruktion från Norstal Steel Structures (NEPD-1630-643) vilken används för byggnadskonstruktioner. Det tredje alternativet som analyserades i studien är en stålkonstruktion från Skonto Prefab SIA (NEPD00287E). Konstruktionen som beskrivs är prefabricerade stålkonstruktionsdelar som tillverkas av Skonto Prefab SIA och som sedan monteras på byggarbetsplatsen. Alternativen till stålstommen bestod till stor volymandel av konstruktionsstål likt stommen i referenshuset och ansågs därför kunna användas som alternativ.

Studien undersökte även två andra tillverkare av konstruktionsstål som kan används i flervåningshus. EPDer från tillverkarna Ruukki Construction Oy (NEPD-325-205) och UPB AS (NEPD-402-281) användes för undersökning av förbättringspotential. Konstruktionsstålet som undersöktes antogs motsvara det stål som stålstommen var mappat till i BM. Det som skiljer tillverkare av konstruktionsstål mot tillverkare av stålstommar är att montering och beställning tillkommer vid byggnationer av byggnader. Detta kan innebära att klimatpåverkan från arbetsplatsen kan öka jämfört med en komplett stålstomme vilket tas hänsyn till i de EPDer som använts.

¹⁰ Möte med hållbar affärsutvecklare Skanska (2020-04-23)

3.2.1.3 Lägenhetsavskiljande väggar

Utöver den bärande stålstommen och HDF-bjälklaget bestod även stommen av massivt gjutna betonginnerväggar. Lägenhetsavskiljande väggar av betong är vanligt förekommande och uppfyller inte bara boendes behov av att kunna hänga tyngre föremål på väggen utan med en viss tjocklek på en betongvägg uppnås även BBRs ljudkrav på ljudklass C för bostäder (Boverket 2007). På samma sätt som för mellanbjälklaget jämfördes betongsorterna Grön betong från Skanska (NEPD-1717-700) beskrivna för Stockholm och Göteborg, klimatförbättrad betong-bjälklag, från Sydsten (NEPD-2134-965) samt klimatförbättrad betong för bjälklag inomhus från Svensk Betong (NEPD-1297-419). Exponeringsklassen för en torr och uppvärmd innervägg är X0, vilket innebär att det inte fanns någon risk för att de nya betongsorterna skulle ha ett striktare exponeringskrav. Det innebär i sin tur att användningen av klimatförbättrad betong med hög andel slagg inte var något problem och hållfasthetsutveckling och uttorkning kunde ske på samma sätt som för en standardbetong. Dimensioner och egenskaper för de platsgjutna innerväggarna i referenshuset är enligt Tabell 3.2. Hållfasthetsklass och vattencementtal antogs efter motsvarande innerväggbetong från konversation med Sydsten¹¹.

Tabell 3.2 - Dimensioner och egenskaper för lägenhetsskiljande vägg

Platsgjuten betong	Mängd (m ²)	Densitet (kg/m ³)	Hållfasthets klass	Vct	Exponeringsklass	Vikt per m ² (kg/m ²)
Lägenhets skiljandevägg	1351	2400	C28/35	0,55	X0	480

¹¹ Mailkonversation med miljö- och hållbarhetssamordnare på Sydsten mellan 2020-02-01 och 2020-05-06.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Genom att först läsa av mått på skenor och regler i mängdkalkylen, kontrollerades sedan att regler och syllar i motsvarande dimensioner fanns tillgängliga hos den generella byggvaruhandeln. Vilket slags trä som reglarna fanns tillgängliga i noteras och när de fördes in i BM mappas de mot detta träslag eller liknande.

Dimensioner och egenskaper för stålreglar- och skenor i ytterväggen beskrivs i Tabell 3.3 nedan. Omräkningsfaktor till kilo och vilken stålsort som användes kan hämtas från tillverkare (Europrofil 2020).

Tabell 3.3 - Dimensioner och egenskaper för stålreglar- och skenor i ytterväggen

Stålreglar	Tillverkare	Mängd (m)	Stålsort	Tjocklek (mm)	Vikt per meter (kg/m)
Slitsad regel CY 195	Europrofil	1423,5	Steel 2b	1,0	2,4
Slitsad skena UY 195/60	Europrofil	5803,5	Steel 2b	1,0	2,4
Slitsad regel CY 195	Europrofil	766,5	Steel 2b	1,0	3,3

3.2.2.2 Tegel

Processen att skapa tegel kan delas upp i många olika delprocesser och majoriteten av energianvändningen och tillverkningens klimatpåverkan sker vid bränning av leran, vilket tar tre dygn och leran värms upp till ca 1050 °C (Stripple, Sternhufvud & Skårman 2005). Genom att återanvända tegel kan all den energianvändning och klimatpåverkan som bildas vid bränning undvikas. Dock tillkommer klimatpåverkan för rensning, kontroller och hantering. Gamle Mursten är ett företag som vid rivning demonterar tegel för återbruk i andra byggprojekt. Tegelleverantören Brukspecialisten i Väst AB som samarbetar med Gamle Mursten beskriver i sin produktkatalog att 2000 återvunna tegelstenar, vilket motsvarar ca 30 m² fasadyta, sparar miljön 1 ton CO₂ (Bruksspecialisten i Väst AB 2020). Egenskaper för det fasadtegel som användes i referensprojektet beskrivs i Tabell 3.4. Även klimatpåverkan från tegelleverantören Randers Tegl beräknades med syftet att kunna jämföra med det generiska värdet i BM.

Tabell 3.4 - Dimensioner och egenskaper för fasadtegel

	Mängd (st)	Längd (m)	Bredd (m)	Höjd (m)	Vikt per st (kg)
Fasadtegel Rött	113880	0,25	0,12	0,062	1,5

Genom kontakt med Brukspecialisten i Väst AB¹² erhöles en EPD (MD-16007-DA) med ett GWP-värde för återbrukat tegel som användes vid beräkning i studien. Bruksspecialisten lyfter att utmaningen med att använda återbrukat tegel ligger i att leverera tillräckligt stor volym under kort leveranstid. Att leverera tegelsten från olika byggnader går bra så länge storlek och uppsugningsförmåga hos tegelstenarna från de olika ursprungsplatserna fungerar tillsammans. I studien undersöktes förbättringspotentialen som en tegelfasad bestående av endast återbrukade tegelstenar har. Förbättringspotential för 50 % återbrukade tegelstenar i kombination med 50 % nyttillverkade undersöktes även.

¹² Mailkonversation med konstruktör på Bruksspecialisten i Väst AB den 2020-02-26

3.2.2.3 Isolering

Mineralull är ett isoleringsmaterial som produceras i olika dimensioner och för att ge olika värmeisoleringsförmågor. Stenull produceras genom att krossad sten värms upp till en smälttemperatur och genom centrifugering skapas tunna trådar av avsvalnad sten (Paroc 2020). Isoleringen som användes i referensbyggnaden var stenullsskivor producerade av Paroc. För denna isolering finns det beskrivet i mängdkalkylen en beteckning för varje resurs. Utifrån denna information kunde sedan egenskaper, till exempel värmeledningsförmåga, och dimensioner tas fram, vilket redovisas i Tabell 3.5.

Tabell 3.5 - Dimensioner och egenskaper för isolering i referenshuset

Yttervägg	Beteckning	Mängd (m ²)	Tjocklek (m)	Typ av mineralull	Värmeledningsförmåga (W/mK)	Vikt per st (kg)
Klimatskiva	Paroc WAS 35	2190	0,045	Stenull	0,033	3,2
Ståregelsskiva	Paroc eXtra	2190	0,045	Stenull	0,036	1,3
Ståregelsskiva	Paroc eXtra	2190	0,195	Stenull	0,036	5,5
Väggskiva	Paroc eXtra	65	0,12	Stenull	0,036	3,4

Genom undersökning av marknaden hittades andra leverantörers produkter av stenull men även av glasull. Det finns mineralull med lägre GWP än referensmaterialet och även andra materialvarianter. Utöver fasta skivor av mineralull kan även lösull användas i ytterväggar, dock innebär det en annan arbetsmetod och tilläggsmaterial som inte togs upp i studien. De alternativa mineralullskivornas värmekonduktivitet jämfördes med referensprojektets mineralullsskivor för att säkerställa att isoleringen uppfyllde samma funktion. De alternativa lösningsförslag som analyserades i studien är mineralull från Rockwool (EPD-RWI-20190050_CBD1), Isover (Saint Gobain) (NEPD-2074-936) och Knauf (S-P-01756).

3.2.3 Husunderbyggnad

Husunderbyggnaden bestod av diverse markarbeten kring grundkonstruktionen som exempelvis schaktning, dränering, kulvertar, plattor på mark och andra kompletteringsarbeten till husunderbyggnaden. I studien avgränsades majoriteten av husunderbyggnadens poster bort enligt bilaga 1, fokus lades på byggnadens grundplatta. Grundplattan antogs vara gjuten av husbyggnadsbetong då den automatiskt mappades till denna resurs i BM. Grundplattan stod för majoriteten av husunderbyggnadens klimatpåverkan enligt resultat i Del I.

3.2.3.1 Betongutbyte

På samma sätt som för mellanbjälklag och lägenhetsavskiljande väggar undersöktes i studien vilket val av betong som medförde mest reducerad klimatpåverkan. Det som skiljde husunderbyggnaden mot tidigare nämnda konstruktionsdelar av betong var i byggnaden den är placerad. Grundplattan var en del av referensbyggnadens yttre skal mot marken vilket innebär att betongen exponeras för ett annat klimat. Genom konversation med en betongspecialist på Skanska¹³ framgick att det som vanligtvis styr val av betongsort är bygghedens exponeringsklass. Exponeringsklasser är definierade dels utifrån risken för armeringskorrosion och anledningen till detta, dels utifrån frysning eller kemiska angrepp. Betongplattan som analyserades i studien hade ett underliggande kapillärbrytande lager av cellplast vilket innebär att grundplattan får exponeringsklassen XD3/XC4. Exponeringsklassen påverkar vilket vattencementtal som krävs för betongen, vilket direkt påverkar vilken klimatpåverkan betongen har menar Johansson¹⁴. Det var därför viktigt att lösningsförslagets exponeringsklass motsvarade den som var föreskriven i referensprojektet. Efter kommunikation med Sydsten¹⁵ ansågs Sydstens betong för grundplattor vara likvärdig med referensbyggnadens grundplatta. De betongsorter som användes i referenshuset beskrivs i Tabell 3.6.

Tabell 3.6 - Egenskaper och dimensioner för betong i husunderbyggnad

	Mängd (m ³)	Densitet (kg/m ³)	Hållfasthetsklass	Vct	Exponeringsklass
Betong SKB	189,6	2400	C28/35	0,6	XD3/XC4
Betong S4	130,1	2400	C20/25	0,79	XD3/XC4
Betong S4	54,4	2400	C25/30	0,68	XD3/XC4

Alternativa lösningsförslag för undersökning av reducerad klimatpåverkan för studien var Skanskas Gröna betong både från Göteborg och Stockholm (NEPD-1717700-SE) samt Sydstens klimatförbättrade betong för bottenplatta, bjälklag och innerväggar (NEPD-2134-965-SE).

¹³ Intervju med teknisk specialist grön betong, Skanska 2020-02-28.

¹⁴ Mailkonversation med Betongspecialist, Skanska 2020-04-07.

¹⁵ Mailkonversation med miljö- och hållbarhetssamordnare på Sydsten mellan 2020-02-01 och 2020-05-06.

3.2.4 Stomkomplettering/rumsbildning

Stomkomplettering innefattade i studien våtrumsmoduler, innerväggar, innerdörrar och andra kompletterande och rumsbildande material. Enligt analysen av referenshuset var de mest klimatpåverkande posterna våtrumsmodulerna, ståldörrar samt gips och stålreglar till innerväggarna. Prefabricerade våtrumsmoduler är väldigt projektspecifika och dess klimatpåverkan kan variera väldigt mycket beroende på rummets utformning. Ingående material för Partabs prefabricerade våtrumsmoduler presenteras i kapitel 4.1.5. Ståldörrarna är på samma sätt som våtrumsmodulerna sammansatta byggdelar av olika material och valdes att avgränsas bort vad gäller åtgärdsförslag. Gipsskivor är ett material som används till inner- och yttreväggar och även i tak. Även om olika gipsskivor har olika klimatpåverkan, mappades alla gipsskivor till en generisk gipsskiva i BM som sammanlagt motsvarade dryga sju procent av stomkompletterings klimatpåverkan och är en produkt som valdes att analyseras i studien. Dessutom genomfördes en jämförelse mellan gips från olika tillverkare av gipsskivor. Egenskaper för gipsskivor i referensbyggnaden redovisas i Tabell 3.7.

Tabell 3.7 -Egenskaper för gipsskivor i referensbyggnad

	Mängd (m ²)	Bredd (m)	Tjocklek (mm)	Vikt på m ² (kg/m ²)
Gipsskiva	8912	0,9	12,5	9,36

Slutligen jämfördes även stålreglar och -skenor från referensinnerväggarna med både Europrofilens uppdaterade EPD (S-P-00537) och Norgips (NEPD-1702/3/4/5-693). Utbyte till träreglar genomfördes också, i form av att ersätta befintlig stålregelresurs till resursen furu/gran, hyvlad & sågad i BM med tillhörande omvandlingsfaktor. Egenskaper för stålreglar och -skenor för referensbyggnaden presenteras i Tabell 3.8.

Tabell 3.8 - Egenskaper för stålreglar- och skenor i referensbyggnaden

	Tillverkare	Mängd (m)	Stålsort	Tjocklek (mm)	Vikt per meter (kg/m)
Ljudregel CSP+ 70	Europrofil	4 266	Steel 1b	0,5	0,78
Regel C 45	Europrofil	2 790	Steel 1b	0,5	0,57
Regel C 70	Europrofil	4377	Steel 1b	0,5	0,58
Skena UT-4 70/55	Europrofil	924	Steel 1b	0,5	0,69
Skena U 45/55	Europrofil	605	Steel 1b	0,5	0,55
Skena U 70/55	Europrofil	948	Steel 1b	0,5	0,60

3.2.5 Transporter

Klimatpåverkan för material som används i byggprojekt innebär inte bara utsläpp vid tillverkning utan även från transporten från materialproduktionen till byggarbetsplatsen. Klimatbelastningen varierar beroende på vilket transportsätt som används, hur lång transportsträckan är och bränslet som förbrukas. Avståndet från tillverkaren av materialet till byggarbetsplatsen kan variera och därför kan det vara positivt för klimatet att välja en tillverkare med kort avstånd till byggarbetsplatsen. I denna del av studien beräknades en förändring i klimatpåverkan från transporter när de alternativa lösningsförslagen applicerades och generiska transportscenarion ersattes med produktspecifika avstånd. Det beräknades även en minskning i klimatpåverkan när fossilt bränsle ersattes med förnybart. Generiska transportscenarion som i referensbyggnaden användes för beräkning beskrivs i Tabell 3.9. När klimatpåverkan från materialtransporten beräknades utgick studien från de redan undersökta konstruktionsdelarna.

På liknande sätt som för GWP-värden har BM generiska värden för transporten. Produkters produktionsort finns oftast angivet på produktens EPD och ibland finns även specifik adress. I studien valdes distansera att beräknas i kilometer från produktionsorternas geografiska center till Helsingborgs geografiska center med avrundning av avståndet till närmaste femtal. Distanserna beräknades med hjälp av webbsidan Avståndskalkylator (2020).

Tabell 3.9 - Använda generiska transportscenarion för valda konstruktionsdelar

Stomme	Transportscenario	
	Lastbil (km)	Järnväg (km)
Håldäck HDF	40	
Massivbjälklag	35	
Stålstomme	340	1000
Lägenhetsskiljande vägg	35	
Fasad		
Fasadtegel	640	
Ståltreklar	340	1000
Isolering		
Husunderbyggnad		
Betong	35	
Stomkomplettering/rumsbildning		
Gipsskivor	290	
Ståltreklar	340	1000

3.3 Del III: Utvärdering av alternativa lösningar

Utifrån de framtagna klimatförbättrande lösningarna, beskrivna i Del II, kunde fortsatt utvärdering och beräkning för respektive förändring genomföras. Detta för att ta fram kombinationer av alternativa lösningar för hela huset som tillsammans har potential att reducera projektets klimatpåverkan ytterligare. Tillvägagångssättet för detta var att först beräkna respektive lösningars klimatpåverkan i kgCO₂e per kg material och jämföra med befintlig konstruktionsdel i referensbyggnaden och sedan studera vilken total reduceringskapacitet som de alternativa lösningarna tillsammans kan ha på referensprojektet. Del III av studien uppskattar kostnaden för att klimatkompensera via externa företag med kostanden för att göra samma klimatförbättring genom att byta ut betong mot en mer klimatvänlig sort.

3.3.1 Alternativa lösningar och dess klimatpåverkan per A_{temp}

Tillvägagångssättet för att ersätta material och produkter i BM varierade från att endast genomföra en mappning av materialet till en annan resurs i BMs materialdatabas till att BM-användaren själv lägger in en helt ny resurs med tillhörande klimatpåverkan. GWP-värde för alternativa lösningar, framtagna i resultat Del II, lästes in som egna tillagda resurser och de befintliga resurserna ersattes. När de nya materialen lästes in bifogades dess EPD i klimatkalkylen. Ibland krävdes justeringar av den nya resursens vikt och omräkningsfaktor för att den skulle kunna motsvara resursen i referensbyggnaden, detta genomfördes enligt exempel i Del II. Resurser utan alternativa lösningar bibehölls utan förändringar och en rapport över byggnadens klimatpåverkan kunde skrivas ut. Både byggnadens totala klimatbelastning och konstruktionsdelens egen påverkan jämfördes med beräknad klimatbelastning innan ändringen genomfördes. Genom att dividera den totala belastningen med byggnadens uppvärmda area, A_{temp} , gjordes den beräknade klimatpåverkan jämförbar med andra projekt. Vidare redovisades klimatpåverkan även med en procentuell förändring beräknad enligt ekvation 3. Resultatet för respektive förbättringsförslag redovisades med motsvarande del i referensprojektet och tillsammans med dess klimatpåverkan per A_{temp} .

$$Förändring [\%] = \frac{Klimatpåverkan_{alternativ lösning} [kg CO_2/m^2 A_{temp}]}{Klimatpåverkan_{referenslösning} [kg CO_2/m^2 A_{temp}]} - 1 \quad (3)$$

3.3.2 Transporter

När transportsträckor och transportmedel tagits fram för de alternativa lösningarna, kunde de föras in i BM. I programmet kan avstånd, transportslag, transporttyp och bränsleslag varieras för att posternas klimatpåverkan från transporter skulle stämma överens med hur det sker i verkligheten. Klimatpåverkansberäkningar för de alternativa lösningarna utfördes både med fossilt bränsle som drivmedel samt med förnybart biobränsle, för att undersöka klimatförbättringen. I studien användes biobränsle ”HVO (WTW), ospecificerat” som förnybart bränsle. I Figur 3.4 visas ett urklipp från BM, vilket visar tillvägagångssättet för att ändra eller lägga till transportsträckor.

Ny transport

Avstånd [km], valbart eller parameterstyrt Parameterstyrt avstånd

Transportslag Transporttyp

Bränsleslag	Andel [%]
Fossil diesel (WTW)	100
HVO (WTW), ospecificerat	0
HVO (WTW), palmolja	0
HVO (WtW), reduktionsplikt 2018/-19	0
HVO (WTW), slakteriavfall	0
RME (WTW), ospecificerad	0
Summa	100

Figur 3.4 - Skärmbild av ändring/tillägg av transportsträcka i BM.

3.3.3 Kombination av alternativa lösningar

Studien fortsatte med att utforma kombinationer bestående av alternativa lösningar från olika byggprojektdelar. Kombinationerna utfördes med produktspecifika transportsценарion, med både fossilt och förnybart drivmedel. Detta genomfördes för att analysera den sammanlagda förbättringspotential som projektet kunde uppnå genom att implementera de lösningsförslag som undersökts tidigare i studien.

Kombinationernas sammanlagda klimatpåverkan jämfördes sedan mot klimatpåverkan från referensbyggnaden. Utifrån denna jämförelse kunde det avgöras vilken kombination som hade störst potential att reducera klimatpåverkan för projektet. En bedömning av beräknat resultat genomförs även i diskussionskapitlet med utgångspunkt i gällande nationella- och regionala mål. Detta genomfördes för att analysera projektets potential till att verka mot klimatneutralitet och för att synliggöra hur stor andel som inte reduceras med de alternativa lösningsförslag som studien behandlat.

3.3.3.1 Kombination 1

Den första kombinationen hade i ändamål att undersöka den lägsta klimatpåverkan som kan uppnås med de alternativa lösningsförslag som i studien efter utvärdering av material i Del II. De alternativa lösningarna som appliceras i kombination 1 redovisas i Tabell 3.10.

Tabell 3.10 - Kombination 1 – Lägst GWP-värden

Referenslösning	Alternativ Lösning	Företag
Stomme		
Håldäck HDF 120/27 + 120/38	Heda - Hybridbjälklag inkl. Grön Bjälklagsbetong Stockholm	AB Sydsten
Betongelement bjälklag massivbjälklag	Grön Bjälklagsbetong Stockholm	Skanska Sverige AB
Betongelement lägenhetsskiljande vägg	Grön Väggbetong Stockholm	Skanska Sverige AB
Stålstomme	Återvunnet Stål	Arcelor Mittal
Fasad		
Fasadtegel Rött slätt 250x120x62mm	Återbrukat Tegel	Gamle Mursten ApS
Slitsade stålreglar och skenor	Sågat virke, furu / gran	IVL-Resursregister
Stenull 120 / 45 / 195 / 45 mm	UNI-skiva 35 Glasull	Isover (Saint Gobain)
Husunderbyggnad		
Betong SKB C28/35 & C20/25	Grön Bjälklagsbetong Stockholm	Skanska Sverige AB
Stomkomplettering		
Gipsskivor, kartonggipsskivor ospecificerat (IVL LCR)	Gyproc® Normal – Standard Plasterboard	Gyproc Sanit Gobain
Stålreglar och skenor 45 / 70 mm	Sågat virke, furu / gran	IVL-Resursregister

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Att ersätta ett HDF-bjälklag mot ett hybridbjälklag medför förändringar i den övergripande konstruktionen och därför analyserades kombinationen även utifrån alternativet med HDF-bjälklag i Grön betong Stockholm. Detta gjordes i kombination 1b. Ytterligare ett kombinationsalternativ analyserades utifrån kombination 1. Alternativet tog hänsyn till återbrukat stål och undersökte dess potential att reducera klimatpåverkan. Detta alternativ involverade samtliga lösningsförslag med lägst GWP-värde och kunde därför förväntas ge en sammanlagd störst reduktion av klimatpåverkan. Tillgången av återbrukat stål antogs variera mellan olika projekt. Efter konversation med Hållbar affärsutvecklare på Skanska¹⁶ antogs tillgången för detta byggprojekt variera mellan 5 och 30 % och för denna kombination användes 30 % återbrukat stål av den totala mängden, 106 150 kg, konstruktionsstål i referensbyggnaden det vill säga 31 845 kg.

¹⁶ Möte med hållbar affärsutvecklare Skanska (2020-04-23).

3.3.3.2 Kombination 2

Den andra kombinationens alternativa lösningar valdes utifrån att de har de kortaste transportsträckorna från materialtillverkare till byggarbetsplatsen. Genom att minska transportsträckorna minskas klimatpåverkan från transportens bränsleförbränning men det kan innebära en ökning av klimatpåverkan vid produkttillverkning. Alternativa lösningar valda för Kombination 2 redovisas i Tabell 3.11. Då transporten av material var avgörande för val av alternativ lösning i denna kombination analyserades denna kombination på två sätt. Det återvunna stålet som användes i stommen transporteras en lång sträcka för samtliga tre lösningsförslag som studien behandlat. Då stålet från Norskt stålförbund transporteras till största del med järnväg och en kortare sträcka med lastbil än övriga lösningsförslag valdes denna i kombinationen. Arcelor Mittals återvunna stål har en sammanlagd kortare transportsträcka men transporten genomförs till större del med lastbil och har därför större klimatpåverkan än Norskt stålförbund. Kombination 2b tar hänsyn till att Norskt stålförbund har längre transportsträcka och ersätter stålet i stommen med Arcelor Mittals återvunna stål.

Tabell 3.11 - Kombination 2 – Kortast Transportsträckor

Referenslösning	Alternativ Lösning	Företag
Stomme		
Håldäck HDF 120/27 + 120/38	Klimatförbättrad bjälklagsbetong	AB Sydsten
Betongelement bjälklag massivbjälklag	Klimatförbättrad bjälklagsbetong	AB Sydsten
Betongelement lägenhetsskiljande vägg	Klimatförbättrad Innerväggbetong	AB Sydsten
Stålstomme	Återvunnet Stål	Norsk Stålförbund
Fasad		
Fasadtegel Rött slätt 250x120x62mm	Återbrukat Tegel	Gamle Mursten ApS
Slitsade Ståltrekar och Skenor	Sågat virke, furu / gran	IVL-Resursregister
Stenull 120 / 45 / 195 / 45 mm	UNI-skiva 35 Glasull	Isover (Saint Gobain)
Husunderbyggnad		
Betong SKB C28/35 + C20/25	Klimatförbättrad betong Innerväggar	AB Sydsten
Stomkomplettering		
Gipsskivor, kartonggipsskivor ospecificerat (IVL LCR)	Gyproc® Normal – Standard Plasterboard	Gyproc Sanit Gobain
Ståltrekar och skenor 45 / 70	Sågat virke, furu / gran	IVL-Resursregister

3.3.3.3 Kombination 3

Den tredje kombinationen analyserade endast den klimatreduceringspotential som alternativa lösningar i stommen har. Detta eftersom stommen bidrog till den största delen av referensbyggnadens klimatpåverkan. De alternativa lösningar som användes i kombination 3 är identiska med de för stommen i kombination 1 och beskrivs Tabell 3.10.

3.3.3.4 Kombination 4

En fjärde kombination sammanställdes även för att analysera den klimatförbättringspotential som finns då lösningsalternativen är av den enklare typen och med mindre projektering från projektledningen kunde tillämpas. Kombinationen använde lösningsförslag som var lättillgängliga för projektet och som motsvarade den befintliga lösningen i referensbyggnaden till hög grad. Utbytet av betongsort till en klimatförbättrad betongsort är ett alternativt lösningsförslag där endast betongreceptet förändras och ansågs vara en enkel lösning. Både i platsgjutna delar och i prefabricerade element ansågs det inte vara en stor omställning för betongföretagen, förutsatt att alternativa bindemedel finns tillgängligt. Alternativa lösningsförslag i kombination 4 beskrivs i Tabell 3.12.

Tabell 3.12 - Kombination 4 – Enklare åtgärder

Referenslösning	Alternativ Lösning	Företag
Stomme		
Håldäck HDF 120/27 + 120/38	Klimatförbättrad bjälklagsbetong	AB Sydsten
Betongelement bjälklag massivbjälklag	Klimatförbättrad bjälklagsbetong	AB Sydsten
Betongelement lägenhetsskiljande vägg	Klimatförbättrad Innerväggbetong	AB Sydsten
Fasad		
Fasadtegel Rött slätt 250x120x62mm	Återbrukat Tegel (50%) + IVL resurs (50%)	Gamle Mursten ApS
Stenull 120 / 45 / 195 / 45 mm	UNI-skiva 35 Glasull	Isover (Saint Gobain)
Husunderbyggnad		
Betong SKB C28/35 + C20/25	Klimatförbättrad betong Innerväggar	AB Sydsten
Stomkomplettering		
Gipsskivor, kartonggipsskivor ospecificerat (IVL LCR)	Gyproc® Normal – Standard Plasterboard	Gyproc Saint Gobain

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

4 Resultat

I detta kapitel redovisas referenshusets beräknade klimatpåverkan. En mer ingående analys av resultaten sker i kapitel 5. Resultatet delades på samma sätt som metoden in i tre delar; Klimatkalkyl för referensbyggnaden (Del I), Utvärdering av klimatposter i A1-A3 (Del II), samt Utvärdering av alternativa lösningar (Del III). Utöver dem, presenteras transportens inverkan på klimatet och även resultatet för klimatkompensationsberäkningen.

4.1 Del I: Klimatkalkyl för referensbyggnaden

Resultatet från analysen av byggnadens klimatpåverkan gav svar på hur klimatpåverkan är fördelad mellan arbetsmodulerna A1 till A5, och visade även över vilka byggprojektdelar och konstruktionsdelar som bidrog mest till emissioner.

4.1.1 Klimatpåverkan, referensbyggnad

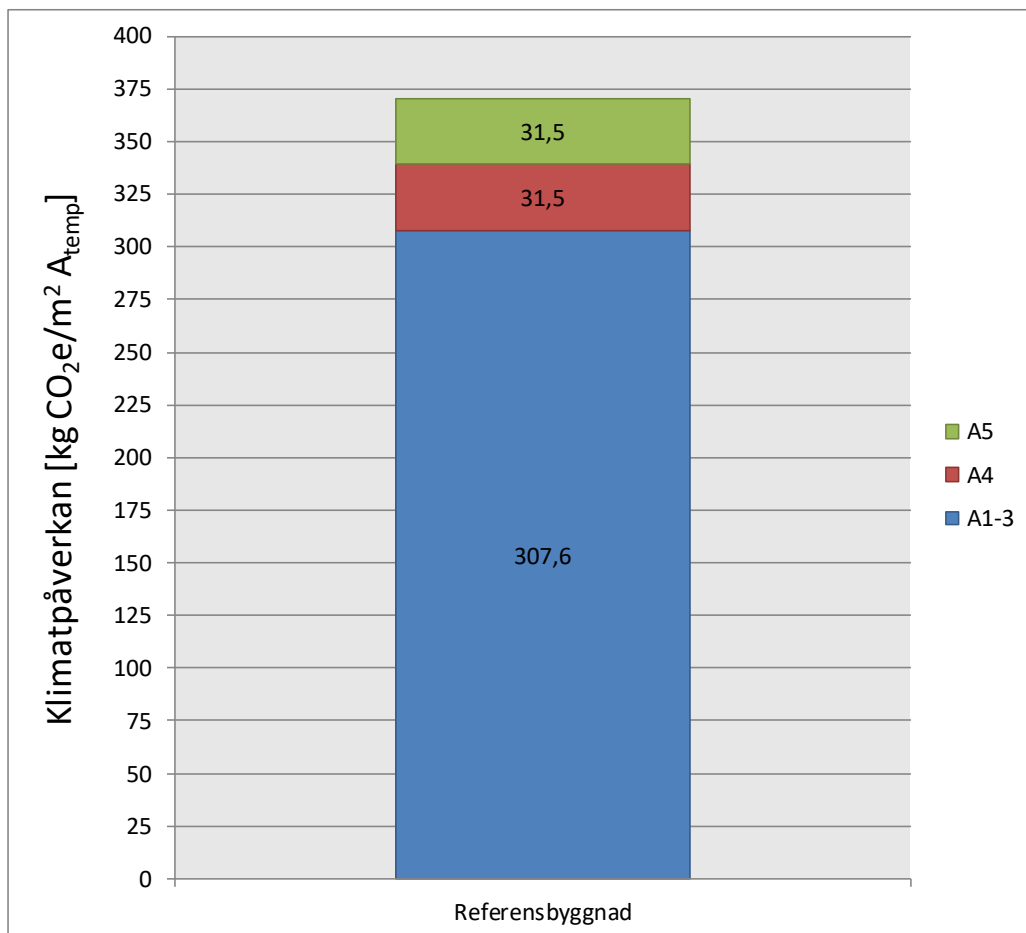
Resultatet från beräkningen av referensbyggnadens klimatpåverkan och de ingående materialposterna redovisas i Bilaga 5. Resultatet visade att majoriteten av byggnadens klimatpåverkan härstammade från produktskedet, det vill säga råvaruförsörjningen, A1 transporten av råvarorna, A2 och tillverkningen av byggmaterialen A3. I Tabell 4.1 nedan redovisas klimatpåverkan för referensbyggnaden indelat i arbetsmoduler. A1-3 stod för 82,9 % av de studerade byggdelarna i referensbyggnadens totala klimatpåverkan, A4 stod för 8,6 % och A5 för 8,6 %.

Tabell 4.1 - Klimatpåverkan fördelat över arbetsmodulerna A1-A5.

Arbetsmodul A1-A5	Klimatpåverkan (GWP) [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]
A1-3 Produktskedet	307,6
A4 Transport	31,5
A5 Bygg- och installationsprocessen	31,5
Σ Totalt:	370,6

Klimatpåverkan för referensbyggnaden visualiseras nedan i Figur 4.1. Referensscenariot, vilket beskriver klimatpåverkan från referenshuset, kom vidare att användas som motiv för utvärdering av vilka lösningsförslag som visade på potential att reducera klimatpåverkan från projektet.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan



Figur 4.1 - Visualisering av skillnaden i klimatpåverkan mellan arbetsmodulerna A1-A5

Referensbyggnadens klimatpåverkan fördelat över byggnadens byggprojektdelar redovisas i Tabell 4.2 per A_{temp} och en procentuell uppdelning för allokering av klimatpåverkan från byggnaden.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.2 - Klimatpåverkan fördelad över referensbyggnadens studerade byggprojektdelar.

Byggprojektdelar A1-A5.1	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Procentuell uppdelning [%]
Stomme	169,6	45,7 %
Fasader	68,3	18,4 %
Stomkomplettering/rumsbildning	44,7	12,1 %
Husunderbyggnad	37,0	10,0 %
Invändiga ytskikt/rumskomplettering	30,6	8,3 %
Yttertak	6,8	1,8 %
Gemensamma arbeten på arbetsplatsen	0,5	0,1 %
Bygg och installationsprocessen, A5.2-A5.5	13,2	3,6 %

Rapporten som skrevs ut från BM visar olika kalkylresursers totala vikt i kg och totala klimatpåverkan i enheten kgCO₂e. Hela resurssammanställningen samt uppdelning av koldioxidutsläpp för referensbyggnaden redovisas i bilaga 5.

4.1.2 Stomme

Stommen i referensbyggnaden bestod av betong, dels platsgjutet dels prefabricerade betongelement. Stommens klimatpåverkan härstammade till 47,9 % från prefabricerad betong, 33,9 % från stål- och plåtprodukter och 18 % från platsgjuten betong samt 0,2 % från bindemedel, bruk och ballast. Kalkylresurserna med störst total klimatpåverkan i stommen var håldäcksbjälklag, stålstomme, platsgjutna betongelement i form av lägenhetsskiljande väggar och massiva mellanbjälklag. Konstruktionsdelarna med störst klimatpåverkan i stommen redovisas i Tabell 4.3 med klimatpåverkan i kgCO₂e/A_{temp}.

Tabell 4.3 - Resurssammanställning för stomme, exklusive transporter inklusive spill, A1-A5.1

Kalkylresurs	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]
Håldäck HDF 120/27	55,5
Stålstomme	50,1
Betongelement lägenhetsskiljande vägg	25,2
Håldäck HDF 120/38	8,2
Kompletteringssmide	6,0
Betongelement bjälklag massivbjälklag	4,6

4.1.3 Fasader

Fasaden bestod av flera konstruktionsdelar och material där de största byggresurserna var stål- och plåtprodukter som stod för 24,8 % av fasadens klimatpåverkan, fönster och dörrar som stod för 20,7 %, byggblock som stod för 19,3 %, bindemedel, bruk och ballast stod för 14,4 % och isolering som stod för 10,9 %. Analysen grundades på konstruktionsdelarna enligt Tabell 4.4 med klimatpåverkan i $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{A}_{\text{temp}}$.

Tabell 4.4 - Resurssammanställning för fasaden (exklusive transporter inklusive spill), A1-A5.1

Kalkylresurs	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$]
Ståltrekar och -skenor	13,3
Träfönster alum 3-glas	12,3
Fasadtegel Rött slätt	10,0
Stenull	9,2
Mur & Putsbruk	8,0

4.1.4 Stomkomplettering/rumsbildning

Stomkomplettering/rumsbildning var en byggprojekt del som stod för 12 % av referensbyggnadens klimatpåverkan. Påverkan kunde till stor del allokeras till de 54 våtrumsmodulerna som referensbyggnaden innehöll. Våtrumsmodulerna var en post med flera sammansatta material och vilka material som användes är beroende av vad modulleverantörer erbjöd vid tidpunkten för studien. Enligt materialkalkylen till referensbyggnaden användes våtrumsmoduler producerade av Partab. Nedan i Tabell 4.5 presenteras modulens innehåll. Vid tidpunkten för studien fanns det inte många prefabriceringsföretag som levererade hela badrum och istället för att analysera leverantörer av dessa, studerades andra konstruktionsdelar. Stomkompletterings klimatpåverkan var fördelad över byggresurserna med 41,1 % på övrigt, dit våtrumsmodulerna var mappade, 18,0 % på fönster och dörrar, 17,8 % på gipsskivor och 14,5 % på stål- och plåtprodukter.

Tabell 4.5 - Resurssammanställning för en våtrumsmodul (PartAB 2020)

Alla ingående material/komponent	Vikt-%	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg material}$]	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg modul}$]
Alu/zinkbelagd stålplåt	20,6	2,4	0,50
Struktur polyesterplåt	3,5	1,8	0,06
Stål	4,4	2,6	0,11
Armering (98,76 % järn)	1,8	0,5	0,01
Gips	11,1	0,3	0,03
Lim	2,3	1,8	0,04
Fästmassa	2,1	0,8	0,02
Fog	0,9	1,8	0,02
Färg	0,1	0,3	2E-4
Betong	52,6	0,1	0,07
Plastdetaljer	0,5	1,8	0,01
		Summa:	0,88

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Gipsskivor och stålreglar var två konstruktionsdelar som uppgjorde stor del av innerväggarnas klimatpåverkan och alternativa lösningsförslag tillämpades på dessa. Klimatpåverkan för de konstruktionsdelarna med störst klimatpåverkan redovisas i Tabell 4.6 med klimatpåverkan i $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{A}_{\text{temp}}$.

Tabell 4.6 - Resurssammanställning för stomkomplettering/rumsbildning (exklusive transporter inklusive spill), A1-5.1)

Kalkylresurs	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \text{A}_{\text{temp}}$]
Våtrumsmodul	15,8
Ståldörrar, brandklassad	7,2
Gipsskivor, kartonggipsskivor ospecificerat	6,8
Stålreglar	6,1
Fibercementskivor	1,7

4.1.5 Husunderbyggnad

Klimatpåverkan från husunderbyggnaden bestod till 69,2 % av husbyggnadsbetong, 18,4 % av cellplast, 6,6 % armering och 3,1 % bindemedel, bruk och ballast. Tabell 4.7 presenterar de kalkylresursernas med störst klimatpåverkan per A_{temp} .

Tabell 4.7 - Resurssammanställning för husunderbyggnad (exklusive transporter inklusive spill), A1-5.1

Kalkylresurs	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2 \text{A}_{\text{temp}}$]
Husbyggnadsbetong (vct 0,60, C28/35)	13,9
Husbyggnadsbetong (vct 0,79, C20/25)	8,4
Cellplast, expanderad polystyren (EPS)	6,9
Armeringsnät	1,8
Golvavjämning, flytspackel	1,0

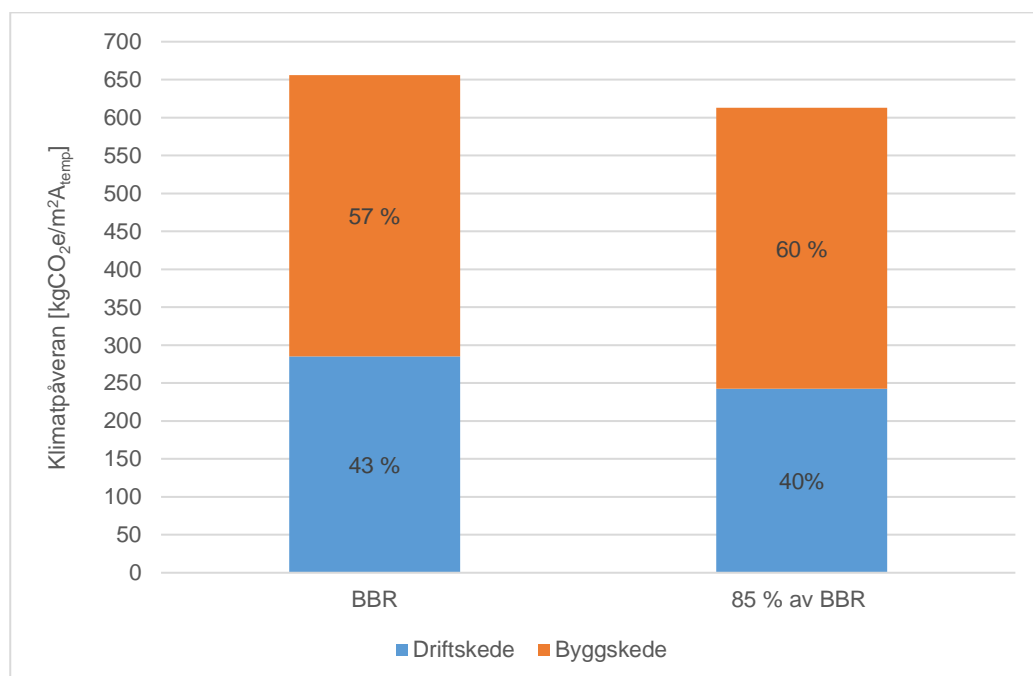
4.1.6 Driftenergi

Referensbyggnadens driftenergi beräknades med schablonvärden från BBR. Beräkningen har inte delats upp i olika energiposter och det antogs att användningen av fjärrvärmeenergi var den dominerande andelen. Resultatet av beräkningen presenteras i Tabell 4.8. Tabellen beskriver kraven på maximal energianvändning och energianvändning per A_{temp} både under 1 år, över 50 år samt över 100 år. Byggnadens primärenergital, EP_{pet} , för BBR är $118 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ år, 85 % av BBR är $101 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ år. Resultatet beräknades med omräkningsfaktor för energimix Helsingborg. Alla Skanskas äldreboenden har som internt energiprestandakrav att max använda 85% av BBRs uppsatta krav. Denna energinivå redovisas därför i sammanställningen av driftenergi, se Tabell 4.8.

Tabell 4.8 - Energianvändning under första 50 år och 100 år för referensbyggnad

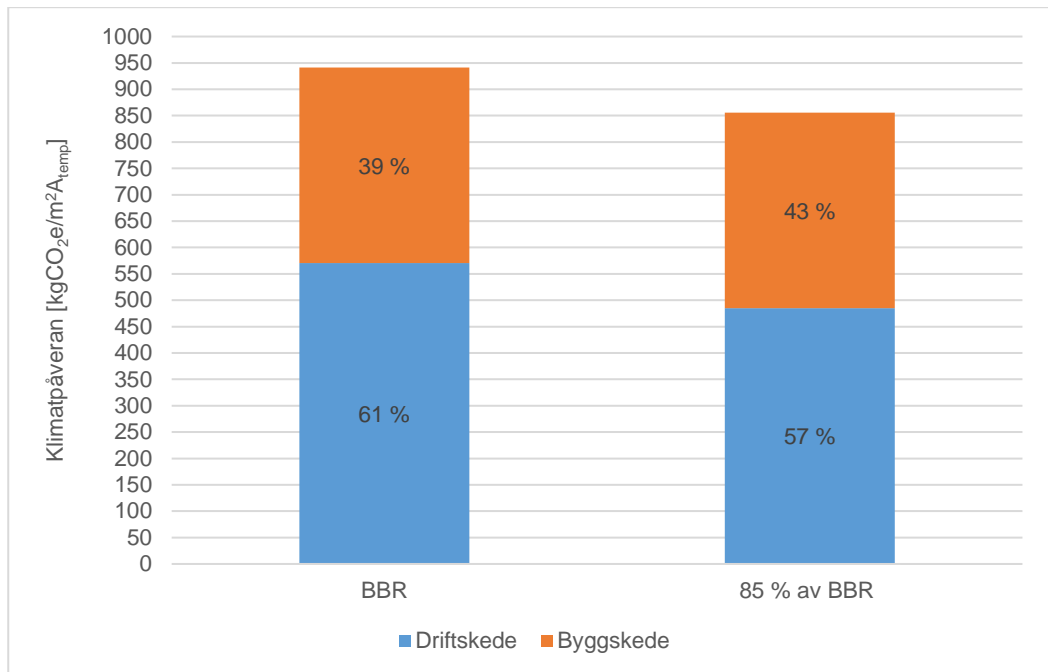
	Energi-förbrukning [kWh/år]	Energi-användning [kgCO ₂ e/A _{temp}]	Energi-användning 50 år [kgCO ₂ e/A _{temp}]	Energi-användning 100 år [kgCO ₂ e/A _{temp}]
BBR	431 300	5,7	285	570
85 % av BBR	366 260	4,8	242	485

Jämförelse mellan klimatpåverkan i produkt- och driftskedet genomfördes med resultat enligt Figur 4.2 för de första 50 åren och resultat enligt Figur 4.3 för de första 100 åren. Vilka även redovisar den procentuella uppdelningen av klimatpåverkan mellan de olika skedena, produktions- samt driftskede.



Figur 4.2 - Klimatpåverkan från produkt- och driftskedet första 50 år

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan



Figur 4.3 - Klimatpåverkan från produkt- och driftskedet första 100 år

4.2 Del II: Utvärdering av klimatposter i A1-A3

GWP-värden sammanställdes, efter datainsamling i EPD-databaser, för undersökning av de valda alternativa lösningsförslagets förbättringspotential. Data för de alternativa lösningarna redovisas i detta kapitel. Informationen delades upp över materialtyper för att underlätta informationssökningen i studien. Samtliga EPDer med källhänvisning framgår i bilaga 3.

4.2.1 Betong (Stomme, husunderbyggnad)

Betong har ett brett användningsområde och referensbyggnaden var det inget undantag. I Tabell 4.9 presenteras de betongsorter och dess egenskaper som i studien användes och ersatte de generiska värdena som BM använder sig av.

Tabell 4.9 - Egenskaper för betongsorter använda i studien.

Betongsort	Hållfasthetsklass	Exponeringsklass	Vct	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Grön betong - Storstockholm					
Vägg	C28/35	XC1	0,9	0,049	NEPD-1717-700
Bjälklagsbetong	C32/40	XC2	0,6	0,073	
Grön betong - Göteborg					
Vägg	C28/35	XC1	0,9	0,049	NEPD-1717-700
Bjälklagsbetong	C32/40	XC2	0,6	0,075	
Svensk Betong					
Håldäcksbjälklag	C40/50- C50/60	X0	0,4	0,106	NEPD-1298-419
Bjälklag inomhus standard	C30/37	X0	0,5	0,105	NEPD-1298-419
Bjälklag inomhus klimatförbättrad	C25/30	X0	0,63	0,092	NEPD-1297-419
Sydsten					
Bottenplatta Klimatförbättrad Parkeringsgarage	C35/40	XD3/XC4	0,4	0,107 0,108*	Mailkonversation med miljö och hållbarhets samordnare ¹⁷ . NEPD-2134-965*
Bjälklag Grund och källarkonstruktioner	C30/37	XC4	0,5	0,091 0,089*	
Innerväggar Husbyggnadskonstruktion	C28/35	XC4	0,55	0,081 0,081*	

Värden markerade med asterisk * uppdaterades efter beräkningarna utförts.

¹⁷ Mailkonversation med miljö- och hållbarhetssamordnare på Sydsten mellan 2020-02-01 och 2020-05-06.

4.2.2 Heda Hybridbjälklag (Stomme)

Hybridbjälklaget som i studien användes som ersättning av HDF-bjälklaget hade till synes ett högre GWP-värde per kg material men hade även en lägre vikt per m² bjälklag, vilket bidrog till en sänkning av bjälklagets klimatpåverkan. GWP-värden och vikt per kvadratmeter presenteras i Tabell 4.10 och varierade beroende på vilken sorts betong som användes i konstruktionen.

Tabell 4.10 - Hybridbjälklags egenskaper.

Betongsort	Vikt [Kg/m ²]	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Grön Betong Stockholm	227,1	0,12	Mailkonversation med Hedareds Sand och Betong AB ¹⁸
Grön Betong Göteborg	227,1	0,12	
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	227,1	0,13	
Originalbetong (BM resurs, husbyggnadsbetong)	227,1	0,17	

4.2.3 Konstruktionsstål (Stomme)

Konstruktionsstålet användes främst vid tillverkning av stålstommen och beroende på stålsort och tillverkare hade materialet olika klimatpåverkan. Andelen återvunnet material som användes i stålstommen påverkade även dess klimatpåverkan. I Tabell 4.11 presenteras olika tillverkare av konstruktionsstål, både återvunnet och ny tillverkat, som användes för att minska klimatpåverkan från byggprojektet.

Tabell 4.11 - Egenskaper för stålsorter använda i studien

Tillverkare	Land	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Contiga	Sverige	2,49	NEPD-1928-851
Norstal	Rumänien	2,12	NEPD-1630-643
Skonto Prefab	Lettland	1,36	NEPD-00287E
Ruukki	Finland	2,83	NEPD-325-205
UPB	Lettland	2,20	NEPD-402-281
Återvunnet konstruktionsstål			
Arcelor Mittal	Luxemburg	0,52	EPD-ARM-20170033-IBD1
Bauforum Stahl	Luxemburg	1,13	EPD-BFS-20180116-IBG2
Norskt Stålförbund	Norge	1,28	NEPD 00252E

Sett ur referensprojektets hela livscykel hade återbrukat stål endast en klimatpåverkan från transportutsläpp från demonteringsplats till eventuellt lager för kontroll och utsortering av icke användbara delar samt transport till referensbyggnadens arbetsplats. Denna klimatpåverkan beskrevs i det antagna avståndet för transport och presenteras i kapitel 4.2.10.

¹⁸ Mailkonversation med Hedareds Sand och Betong AB mellan 2020-02-01 och 2020-05-06.

4.2.4 Tegel (Fasad)

Fasadtegel som använt fasadmateriel för referensbyggnaden hade en förbättringspotential genom att främst byta ut teglet mot återvunnet tegel. För att bibehålla fasadens utseende var detta ett lösningsförslag som undersöktes och GWP-värden som togs fram för studien redovisas i Tabell 4.12.

Tabell 4.12 – Egenskaper för tegel använda i studien

Tillverkare	Land	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Bruksspecialisten Tegel	Danmark	0,003	MD-16007
Randers Tegl	Danmark	0,31	MD-14003 rev1

4.2.5 Isolering (Fasad)

Isolering i yttervägg i referensbyggnaden bestod av stenull. Den förbättringspotential som undersöktes var utbyte mot glasullsisolering. Glasullsisoleringen har motsvarande termiska egenskaper som den befintliga stenullsisoleringen. De olika isoleringsmaterialen och dess GWP-värde som användes i studien redovisas i Tabell 4.13.

Tabell 4.13 - Egenskaper för isolering använda i studien

	Densitet (kg/m ³)	Värmeledningsförmåga (W/mK)	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Rockwool				
Ståregelsskiva	25-30	0,037	1,22	EPD-RWI-20190050-CBD1
Flexibatts	25-30	0,037	1,33	EPD-RWI-20190050-CBD1
Isover (Saint Gobain)				
Uni-skiva glasull	17,3	0,035	0,79	NEPD-2074-936
Lösull	21,0	0,037	0,65	NEPD-2080-940
Knauf				
Glass mineral wool insulation	19,5	0,034-0,035	1,06	S-P-01752
Blowing wool insulation (lösull)	17,0	0,037-0,042	0,97	S-P-01756

Då lösull medförde ett annorlunda arbetsutförande än vad glasull och stenull gjorde och inte visade på något markant lägre GWP-värde än glasull valdes det att inte utredas vidare.

4.2.6 Trä (Fasad och stomkomplettering/ rumsbildning)

Istället för att analysera olika träproduktföretags EPDer för att hitta den mest klimatvänliga produkten jämfördes istället skillnaden i klimatpåverkan med utbyte av stålreglar mot träreglar i utfackningsväggarna. GWP-värdet för träreglar som användes var det generiska värde som BM använder sig av och presenteras nedan i Tabell 4.14.

Tabell 4.14 - Egenskaper för träsorter använda i studien

IVL resurs	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Furu/gran, hyvlad och sågat virke	0,055	Resurs BM

4.2.7 Stålreglar och -skenor (Fasad och stomkomplettering/ rumsbildning)

Både inner- och ytterväggarna i referensbyggnaden innehöll stålreglar som fungerade som väggelementens stommar. I Tabell 4.15 och Tabell 4.16 redovisas resultatet av insamlade data och egenskaper för stålreglar och -skenor som användes som alternativa lösningar i studien.

Tabell 4.15 - Egenskaper för stålreglar och -skenor för utfackningsvägg i fasaden använda i studien

	Densitet (kg/m)	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Europrofil			
Slitsad regel CY 195 - 1,0	2,30	2,66	S-P-00537
Slitsad skena UY 195/60 - 1,0	2,30	2,66	
Slitsad regel CY 195 - 1,5	3,53	2,62	

Tabell 4.16 - Egenskaper för stålreglar och -skenor för innerväggar använda i studien

	Densitet (kg/m)	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Europrofil			
Ljudregel CSP+ 70	0,76	2,66	S-P-00537
Regel C 45	0,48	2,66	
Regel C 70	0,58	2,66	
Skena UT-4 70/55	0,72	2,66	
Skena U 45/55	0,58	2,66	
Skena U 70/55	0,68	2,66	
Norgips			
Stålprofil till innervägg C70 Db+	0,61	2,31	NEPD-1702-693
Stålprofil till innervägg C45	0,52	2,31	NEPD-1702-693
Stålprofil till innervägg C70 Db+	0,61	2,31	NEPD-1702-693
Stålprofiler med gummipackning UT 70/55	0,66	2,38	NEPD-1705-693
Stålprofil till innervägg U45	0,52	2,28	NEPD-1702-693
Stålprofil till innervägg U70/55	0,65	2,30	NEPD-1702-693

4.2.8 Gipsskivor (Stomkomplettering/rumsbildning)

Gipsskivor är ett mångsidigt material som används i stor utsträckning inom husbyggnadsindustrin. I Tabell 4.17 presenteras tre leverantörer av gipsskivor med egenskaper och GWP-värde som användes i studien för att jämföras med det generiska GWP-värdet BM använde sig av.

Tabell 4.17 - Egenskaper för gipsskivor använda i studien

Tillverkare	Densitet (kg/m ²)	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Norgips	9,0	0,23 0,18*	NEPD-133-177 NEPD-2135-966*
Knauf	8,9	0,22	NEPD-354-246
Gyproc (Saint-Gobain)	9,0	0,19	NEPD-1260-406

Värden markerade med asterisk * uppdaterades efter beräkningarna utförts.

4.2.9 Våtrumsmodul (Stomkomplettering/rumsbildning)

Våtrumsmodulerna i referensbyggnaden var färdigproducerade badrum som byggdes av ett företag på en annan ort och levererades sedan till byggarbetsplatsen. De ingående materialen var många och det valdes att endast analysera materialen som ingick i våtrumsmodulernas stomme. Varje materials GWP-värde slogs med hjälp av BMs resursdatabas ihop till ett enda värde som presenteras i Tabell 4.18. Fullständig materiallista på dess stomme och hur det sammanslagna GWP-värdet beräknades beskrivs i bilaga 4.

Tabell 4.18 – Våtrumsmoduls klimatpåverkan (PartAB)

	GWP A1-A3 [kgCO ₂ e/kg]	Källa
Grundstomme	0,875	Deklaration PartAB Grundstomme B

4.2.10 Transporter

Nedan i Tabell 4.19 redovisas de alternativa lösningarnas produktspecifika materialtransporter framtagna med Avståndskalkylator (2020). Värdena användes vid kombinationsberäkningarna och för att beräkna klimatbesparingen vid användandet av fossilfritt bränsle. Resultatet av kombinationerna av alternativa lösningar och dess transportsценарion presenteras i kapitel 4.4.

Tabell 4.19 - Sammanställning av transportsträckor för material till byggarbetsplats.

Alternativa lösningar	Material / Tillverkare	Transportscenarior			Produktionsort
		Lastbil [km]	Tåg [km]	Färja [km]	
Prefabricerad betong	Skanska Göteborg	215			Göteborg, Sverige
	Skanska Stockholm	555			Stockholm, Sverige
	Sydsten	5			Helsingborg, Sverige
	Svensk Betong	400			Medelsdistans, Sverige (BM)
	Heda	245			Hedared, Sverige
Platsgjutet					
	Husunderbyggnad	5			Helsingborg, Sverige
	Lägenhetsavskiljande väggar	5			Helsingborg, Sverige
	Bjälklag	5			Helsingborg, Sverige
Stålstomme					
	Contiga	625			Norrälje, Sverige
	Norstal	835	1000	50	Cluj-Napoca, Rumänien
	Ruukki	775		50	Oborniki, Polen
	UPB	560		500	Riga, Lettland
	Skonto	560		500	Salaspils, Lettland
	Arcelor Mittal	1035		50	Differdange, Luxemburg
	Norskt stålförbund	235	1000		Medeldistans, Norge
	Bauforum stahl	1035		50	Differdange, Luxemburg
	Återbrukat stål (2 transporter)	555			Stockholm, Sverige
Tegel					
	Återvunnet	140			Hedehusene, Danmark
	Vanligt	355			Hammershøj, Danmark
Reglar					
Yttervägg	Trä	25			Åstorp, Sverige
	Europrofil	260			Langeskov, Danmark
Innervägg	Trä	25			Åstorp, Sverige
	Norgips	215			Sävsjö, Sverige
	Europrofil	260			Langeskov, Danmark
Isolering					
	Rockwool	275			Odense, Danmark
	Isover	25			Billesholm, Sverige
	Knauf	1420		100	Newport, England
Gips					
	Norgips	435			Svelvik, Norge
	Knauf	470			Hobro, Danmark
	Gyproc Saint Gobain	430			Fredrikstad, Norge

4.3 Del III: Utvärdering av alternativa lösningar

Följande kapitel redovisar de alternativa lösningarnas klimatpåverkan, hur påverkan procentuellt förändras och hur anpassning av transportsценарion samt val av bränsle påverkade klimatpåverkan. I detta kapitel kombineras även de alternativa lösningsförslagen till olika sammansatta lösningsförslag för att undersöka den reducering av klimatpåverkan som referensbyggnaden kunde uppnå med tillämpning av lösningsförslagen.

4.3.1 Stomme

4.3.1.1 Bjälklag

Betongutbyte HDF

Den sammanlagda klimatpåverkan för båda HDF-bjälklagen i Tabell 4.3 beräknades till 63,7 kgCO₂e/m²A_{temp} för referensbyggnaden. I Tabell 4.20 presenteras alternativa betongsorter, dess klimatpåverkan i A1-A3 per A_{temp}, procentuell förändring i jämförelse med referensbyggnadens HDF-bjälklag samt den förbättringspotential som alternativen hade jämfört med alla de studerade byggdelarna i referensbyggnadens klimatpåverkan.

Tabell 4.20 - Alternativa lösningsförslag för betong i HDF-bjälklag

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Grön Betong Stockholm	Skanska	29,0	-126 000 (-54,5 %)	-9,4 %
Grön Betong Göteborg	Skanska	29,8	-123 100 (-53,3 %)	-9,2 %
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	Sydsten	34,9	-104 700 (-45,3 %)	-7,8 %
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	Svensk Betong	35,4	-102 700 (-44,4 %)	-7,6 %
Håldäckbetong	Svensk Betong	41,5	-80 600 (-34,9 %)	-6,0 %

Massivbjälklag

I Tabell 4.21 redovisas den massiva bjälklagsandelens klimatpåverkan i A1-A3 beroende på betongsort som användes. Klimatpåverkan presenteras per A_{temp}, procentuell förändring i jämförelse med referensbyggnadens massiva bjälklagsdelar samt den förbättringspotential som alternativen hade jämfört med referensbyggnadens klimatpåverkan. Enligt Tabell 4.3 motsvarade det massiva bjälklaget 4,6 kgCO₂e/m²A_{temp}.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.21 - Alternativa lösningsförslag för betongval i massivt bjälklag

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Grön Betong Stockholm bjälklag	Skanska	2,4	-8 000 (-48,3 %)	-0,6 %
Grön Betong Göteborg bjälklag	Skanska	2,4	-7 700 (-46,8 %)	-0,6 %
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	Sydsten	2,9	-6 000 (-36,1 %)	-0,4 %
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	Svensk Betong	2,9	-5 900 (-35,6 %)	-0,4 %

Alternativt utförande – Heda hybridbjälklag

Klimatpåverkan från Hedas sammansatta bjälklag jämfördes med klimatpåverkan från referensbyggnadens HDF-bjälklag, vilket enligt Tabell 4.3 var 63,7 kgCO₂e/m²A_{temp}. I Tabell 4.22 nedan presenteras hur hybridbjälklagets klimatpåverkan varierade med olika betongsorter i konstruktionen. Tabellen visar alternativens klimatpåverkan per A_{temp}, procentuell förändring i jämförelse med referensbyggnadens HDF-bjälklag samt den förbättringspotential som alternativerna hade jämfört med referensbyggnadens klimatpåverkan.

Tabell 4.22 - Alternativa lösningsförslag för betong i hybridbjälklag.

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Grön Betong Stockholm	Skanska	27,9	-130 100 (-56,3 %)	-9,7 %
Grön Betong Göteborg	Skanska	28,1	-129 300 (-55,9 %)	-9,6 %
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	Sydsten	31,1	-118 300 (-51,2 %)	-8,8 %
Originalkonstruktion (husbyggnadsbetong)	Heda	39,8	-86 900 (-37,6 %)	-6,5 %

4.3.1.2 Stålstomme

Alternativa lösningsförslag för att reducera klimatpåverkan från stålstommen redovisas i Tabell 4.23. På samma sätt som tidigare presenteras klimatpåverkan i A1-A3 per A_{temp}, som procentuell förändring i jämförelse med referensbyggnadens stålstomme och den förbättringspotential som alternativerna hade i relation till referensbyggnadens klimatpåverkan. Stålstommen i referensbyggnad hade en klimatpåverkan enligt Tabell 4.3 på 50,1 kgCO₂e/m²A_{temp}.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.23 - Alternativa lösningsförslag för stålstomme

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Stålstomme	Contiga	72,9	+ 82 700 (+45,5 %)	+3,2 %
Stålstomme	Norstal	61,9	+42 900 (+23,6 %)	+3,2 %
Stålstomme	Skonto Prefab	39,8	-37 400 (-20,6 %)	-2,8 %
Konstruktionsstål	Ruukki	82,8	+118 700 (65,3 %)	8,8 %
Konstruktionsstål	UPB	64,4	+51 800 (28,5 %)	3,9 %
Återvunnet stål	Arcelor Mittal	15,3	-126 100 (-69,4 %)	-9,4 %
Återvunnet stål	Norskt stålförbund	37,4	-46 100 (-25,4 %)	-3,4 %
Återvunnet stål	Bauforum Stahl	33,1	-61 800 (-34,0 %)	-4,6 %
Ståläterbruk 5%	Svenskt återbruk + IVL resurs	47,6	-9 100 (-5,0 %)	-0,7 %
Ståläterbruk 30%	Svenskt återbruk + IVL resurs	35,1	-54 500 (-30,0 %)	-4,1 %

4.3.1.3 Lägenhetsavskiljande väggar

Alternativa betongsorter för reducerad klimatpåverkan för platsgjuten betong i lägenhetsavskiljande innerväggar redovisas i Tabell 4.24. Klimatpåverkan i A1-A3 presenteras per A_{temp}, som procentuell förändring i jämförelse med referenskonstruktionen och den förbättringspotential som alternativen hade i relation till referensbyggnadens klimatpåverkan. Befintlig konstruktion i referensbyggnaden hade en klimatpåverkan på 25,3 kgCO₂e/m²A_{temp} enligt Tabell 4.3.

Tabell 4.24 - Alternativa lösningar för betongval i lägenhetsskiljande vägg

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Grön Betong Stockholm vägg	Skanska	8,8	-59 600 (-65,1 %)	-4,4 %
Grön Betong Göteborg vägg	Skanska	8,9	-59 000 (-64,5 %)	-4,4 %
Klimatförbättrad Innerväggbetong	Sydsten	14,5	-38 900 (-42,5 %)	-2,9 %

4.3.2 Fasad

4.3.2.1 Reglar

Analysen av förbättringspotential för de befintliga stålreglarna i fasaden med en klimatpåverkan enligt Tabell 4.4 på 13,3 kgCO₂e/m²A_{temp} genomfördes med träreglar med en potential att reducera klimatpåverkan i A1-A3 enligt Tabell 4.25. Klimatpåverkan presenteras per A_{temp}, som procentuell förändring i jämförelse med reglarna i referensbyggnaden och den förbättringspotential som alternativen hade i jämförelse till referensbyggnadens klimatpåverkan.

Tabell 4.25 - Alternativa lösningsförslag för stålreglar i fasad

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Träregel furu, gran	IVL resurs	0,5	-46 500 (-96,0 %)	-3,5 %

4.3.2.2 Tegel

Klimatpåverkan från tegel använt som fasadmateriäl utreds genom utbyte till återbrukat tegel, både fullständigt och till 50 % av mängden tegel. Resultatet av beräkningen redovisas i Tabell 4.26 med klimatpåverkan i A1-A3 redovisat per A_{temp}, som procentuell förändring i jämförelse med teglet i referensbyggnaden och den förbättringspotential som alternativen hade i förhållande till referensbyggnadens klimatpåverkan. Teglet för referensbyggnaden hade en klimatpåverkan enligt Tabell 4.4 på 10,0 kgCO₂e/m²A_{temp}.

Tabell 4.26 - Alternativa lösningsförslag för tegel i fasad

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO ₂ e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Återbrukat tegel	Brukspecialisten	0,1	-36 000 (-98,7 %)	-2,7 %
50% återbrukat tegel	Brukspecialisten + IVL resurs	5,1	-18 000 (-49,4 %)	-1,3 %

4.3.2.3 Isolering

Alternativa isoleringsmaterial för fasaden undersöktes med förbättringspotential enligt Tabell 4.27. Tabellen redovisar klimatpåverkan i A1-A3 per A_{temp} samt den procentuella förändringen jämfört med motsvarande konstruktionsdel i referensbyggnaden, tabellen redovisar även skillnaden som lösningsförslaget hade för referensbyggnadens klimatpåverkan. Den isolering som användes i referensbyggnaden hade en klimatpåverkan enligt Tabell 4.4 på $7,2 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2A_{temp}$.

Tabell 4.27 - Alternativa lösningsförslag för isoleringsmaterial i fasad

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e/m}^2A_{temp}$]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO_2e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Stenull (stålregelskiva)	Rockwool	5,3	-6 700 (-25,8 %)	-0,5 %
Glasull (UNI-skiva)	Isover (Saint Gobain)	2,4	- 17 300 (-66,7 %)	-1,3 %
Glasull (Glass mineral wool insulation)	Knauf	3,6	-12 900 (-49,7 %)	-1,0 %

4.3.3 Stomkomplettering/rumsbildning

4.3.3.1 Innerväggar

Stålreglar

Innerväggarna bestod av stålreglar och hade en klimatpåverkan enligt Tabell 4.6 på $6,1 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2A_{temp}$. Alternativa lösningsförslag för stålreglar i innerväggar beräknades med klimatpåverkan i A1-A3 enligt Tabell 4.28 per A_{temp} , som procentuell förändring i jämförelse med reglarna i referensbyggnaden och den förbättringspotential som alternativen hade i jämförelse till referensbyggnadens klimatpåverkan.

Tabell 4.28 - Alternativa lösningsförslag för reglar och skenor i innerväggar

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e/m}^2A_{temp}$]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO_2e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Träreglar furu, gran	IVL resurs	0,4	-20 600 (-94,2 %)	-1,5 %
Stålreglar	Norgips	5,3	-2 700 (-12,6 %)	-0,2 %
Stålreglar	Europrofil	6,4	+1 500 (+7,1 %)	+0,1 %

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Gipsskivor

Klimatpåverkan i A1-A3 ifrån gipsskivorna i innerväggarna redovisas i Tabell 4.29 och jämfördes med summan av de tre största posterna för gipsskivor i referenshuset. Resultatet i tabellen redovisar lösningsförslagets klimatpåverkan per A_{temp} samt den procentuella förändringen mot den befintliga konstruktionsdelen i referensbyggnaden samt skillnaden som alternativet hade i jämförelse mot referensbyggnaden. Gipsskivornas klimatpåverkan redovisas i Tabell 4.6 och uppgår till $6,2 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2 A_{temp}$.

Tabell 4.29 - Alternativa lösningsförslag för gipsskivor i innervägg

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2 A_{temp}$]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO_2e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Gipsskivor, kartonggipsskivor	Norgips	5,1	- 4 200 (-18,6 %)	-0,3 %
Gipsskivor, kartonggipsskivor	Knauf	5,0	- 4 600 (-20,5 %)	-0,3 %
Gipsskivor, kartonggipsskivor	Gyproc Saint Gobain	4,2	- 7 500 (-33,1 %)	-0,6 %

4.3.4 Husunderbyggnad

4.3.4.1 Grundplatta

Grundplattans klimatpåverkan i A1-A3 jämfördes med värdena i Tabell 4.30 med den sammanslagna klimatpåverkan för husunderbyggnadens två största poster som hämtades från Tabell 4.7 och motsvarade $22,3 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2 A_{temp}$. Tabell 4.30 redovisar klimatpåverkan per A_{temp} , som procentuell förändring i jämförelse med referensbyggnaden och den förbättringspotential som alternativet hade i förhållande till referensbyggnadens klimatpåverkan.

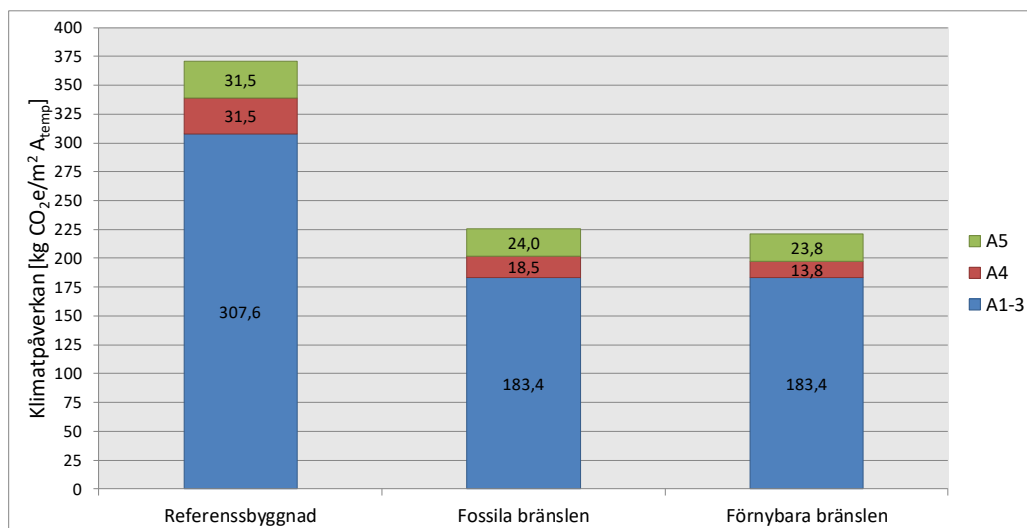
Tabell 4.30 - Alternativa lösningsförslag betong i grundplattan

Alternativt lösningsförslag	Företag	Klimatpåverkan [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2 A_{temp}$]	Förändring av koldioxidutsläpp kgCO_2e (konstruktionsdel)	Procentuell förändring (referensbyggnad)
Grön Betong Stockholm	Skanska	15,4	-25 100 (-31,0 %)	-1,9 %
Grön Betong Göteborg	Skanska	15,8	-23 500 (-29,1 %)	-1,7 %
Innerväggsbetong	Sydsten	17,1	-18 900 (-23,3 %)	-1,4 %
Klimatförbättrad bjälklagsbetong	Sydsten	19,0	-11 900 (-14,7 %)	-0,9 %
Klimatförbättrad Bottenplattsbetong	Sydsten	22,6	+1000 (+1,2 %)	0,1 %

4.3.5 Klimatpåverkan för referensbyggnad med kombinationer av alternativa lösningar.

4.3.5.1 Kombination 1 – Lägst Global Warming Potential

Referensbyggnadens klimatpåverkan kunde reduceras genom att använda de föreslagna alternativen i kombination 1. Dessa visade på störst reduceringspotential vid utvärdering av de alternativa lösningarna. Med kombination 1 uppnåddes en minskning av klimatpåverkan med 144,7 kgCO₂e/m²A_{temp}, vilket innebar att byggnadens totala klimatpåverkan i byggskedet blev 225,9 kgCO₂e/m²A_{temp}. Användes förnybara bränslen vid materialtransporterna till byggarbetsplatsen (A4) för de alternativa lösningsförslagen kunde klimatpåverkan minskas med ytterligare 4,9 kgCO₂e/m²A_{temp} enligt Figur 4.4.



Figur 4.4 - Förändring i total klimatpåverkan vid applicering av kombination 1.

Klimatpåverkan för kombination 1 fördelas över byggnadens byggprojektdelar enligt Tabell 4.31 som även presenterar skillnaden från referensbyggnaden per A_{temp} och procentuell skillnad per byggprojektdel. Kombinationen hade en sammanlagd potential att reducera klimatpåverkan från referensbyggnaden med 39,0 % med användning av fossila bränslen.

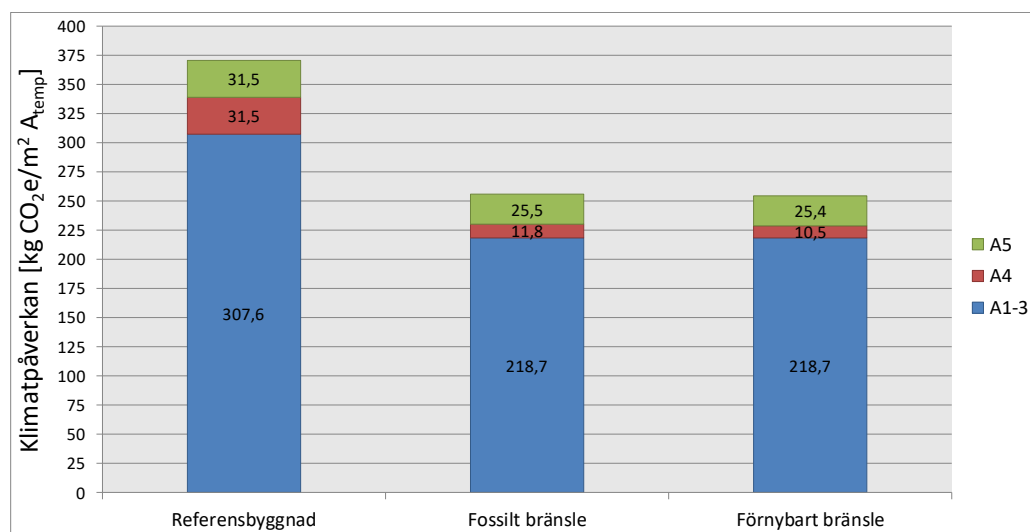
Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.31 - Klimatpåverkan fördelad över studerade byggprojektdelar i kombination 1 med fossila bränslen. För ingående material se kapitel 3.3.3.1.

Byggprojektdelar A1-A5.1	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Minskning av klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Procentuell förbättringspotential [%]
Stomme <i>Hybridbjälklag, grön betong återvunnet stål</i>	70,4	-99,2	-58%
Fasader <i>Återbrukat tegel, träreglar, glasull</i>	37,9	-30,4	-45%
Stomkomplettering/rumsbildning <i>Gips (Gyproc), träreglar</i>	37,1	-7,6	-17%
Husunderbyggnad <i>Grön betong</i>	29,6	-7,4	-20%
Invändiga ytskikt/rumskomplettering	30,6	-	-
Yttertak	6,8	-	-
Gemensamma arbeten på arbetsplatsen	0,5	-	-
Bygg och installationsprocessen, A5.2- A5.5	13,2	-	-

4.3.5.2 Kombination 2 – Kortast transportsträcka

Reducering av referensbyggnadens klimatpåverkan analyserades även med användning av de alternativa lösningsförslagen med kortast transportsträcka till byggarbetsplatsen. Klimatpåverkan var fördelad mellan arbetsmodulerna A1-A5 enligt Figur 4.5. Kombinationen hade en potential att reducera klimatpåverkan med 114,6 kgCO₂e/m²A_{temp} och gav kombinationen en total påverkan på 256,0 kgCO₂e/m²A_{temp}. Med förnybara bränslen för materialtransporterna för de alternativa lösningsförslagen kunde klimatpåverkan reduceras med ytterligare 1,45 kgCO₂e/m²A_{temp}. Den största minskningen av klimatpåverkan ligger i produktskedet A1-A3 och transportens minskning minskas från 31,5 kgCO₂e/m²A_{temp} till 11,8 kgCO₂e/m²A_{temp} vilket presenteras Figur 4.5.



Figur 4.5 - Förändring i total klimatpåverkan vid applicering av kombination 2.

Klimatpåverkan för kombinationen fördelades över byggnadens byggprojektdelar enligt Tabell 4.32 som även presenterar skillnaden från referensbyggnaden per A_{temp} och procentuell skillnad. Kombinationen hade en potential att reducera klimatpåverkan från referensbyggnaden med 30,9 %.

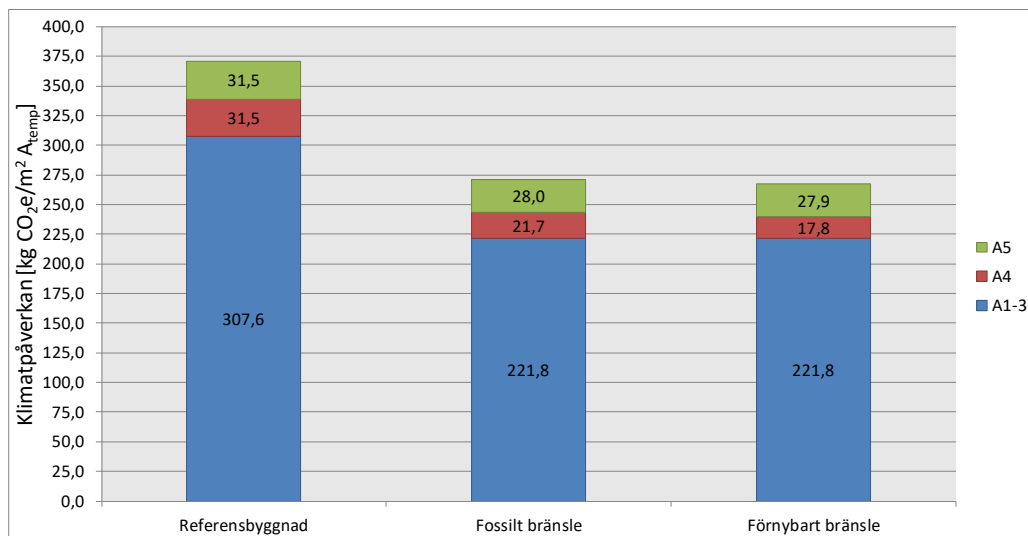
Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.32 - Klimatpåverkan fördelad över referensbyggnadens byggprojektdelar. För ingående material se kapitel 3.3.3.2.

Byggprojektdelar A1-A5.1	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Minskning av klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Procentuell förbättringspotential [%]
Stomme <i>HDF i klimatförbättrad betong (Sydsten), återvunnet stål (Norskt stålförbund) och klimatförbättrad betong</i>	98,9	-70,7	-42%
Fasader <i>Återbrukat tegel, träreglar och glasull</i>	37,9	-30,4	-45%
Stomkomplettering/rumsbildning <i>Gips (Gyproc), träreglar</i>	37,1	-7,6	-17%
Husunderbyggnad <i>Klimatförbättrad betong (Sydsten)</i>	31,4	-5,7	-15%
Invändiga ytskikt/rumskomplettering	30,6	-	-
Yttertak	6,8	-	-
Gemensamma arbeten på arbetsplatsen	0,5	-	-
Bygg och installationsprocessen, A5.2-A5.5	13,2	-	-

4.3.5.3 Kombination 3 – Klimatoptimerad stomme

Resultatet av att endast använda alternativa lösningar i referensbyggnadens stomme redovisas i Figur 4.6 uppdelat i arbetsmoduler. Kombinationen hade en potential att minska klimatpåverkan med 99,2 kgCO₂e/m²A_{temp} och gav kombinationen en total klimatpåverkan på 271,4 kgCO₂e/m²A_{temp}. Användes endast förnybara bränslen vid materialtransporterna för de alternativa lösningarna kunde klimatpåverkan reduceras med ytterligare 4,01 kgCO₂e/m²A_{temp}.



Figur 4.6 - Förändring i total klimatpåverkan vid applicering av kombination 3.

Klimatpåverkan för kombination 3 fördelades över byggnadens byggprojektdelar enligt Tabell 4.33 som även presenterar skillnaden från referensbyggnaden per A_{temp} och procentuell skillnad. Kombinationen hade en potential att reducera klimatpåverkan från referensbyggnaden med 26,8 %.

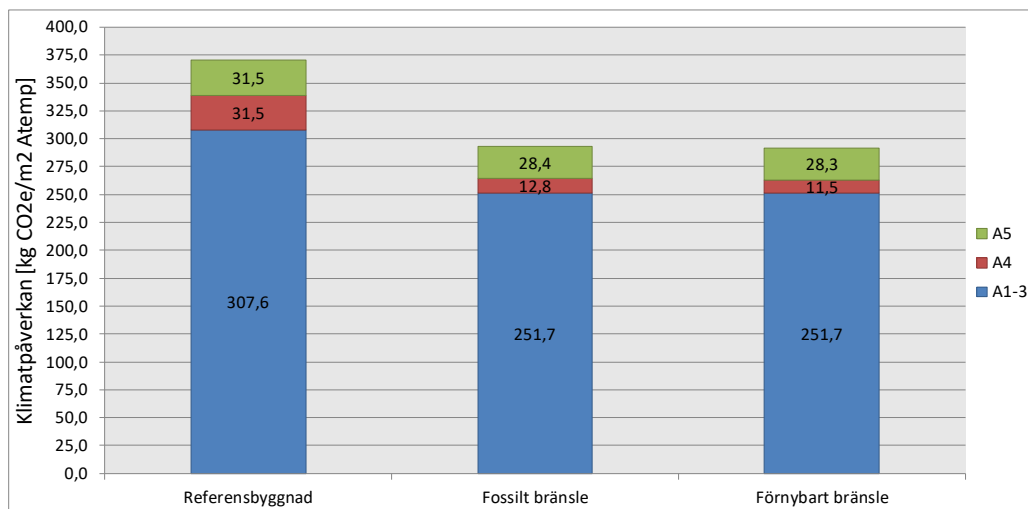
Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.33 - Klimatpåverkan fördelad över referensbyggnadens byggprojektdelar. För ingående material se kapitel 3.3.3.3.

Byggprojektdelar A1-A5.1	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Minskning av klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Procentuell förbättringspotential [%]
Stomme <i>Hybridbjälklag, grön betong återvunnet stål</i>	70,4	-99,2	-58%
Fasader	68,3	-	-
Stomkomplettering/rumsbildning	44,7	-	-
Husunderbyggnad	37,0	-	-
Invändiga ytskikt/rumskomplettering	30,6	-	-
Yttertak	6,8	-	-
Gemensamma arbeten på arbetsplatsen	0,5	-	-
Bygg och installationsprocessen, A5.2-A5.5	13,2	-	-

4.3.5.4 Kombination 4 – Enklare ändringar

Klimatförbättringspotential beräknades med resultat enligt Figur 4.7 med syftet att utreda vilken klimatpåverkan endast få och för projektet enkla materialutbyten med avseende på lättillgängliga tekniska lösningar och leverantörsbyten kunde innebära för projektets klimatpåverkan. Klimatpåverkan fördelades då mellan arbetsmodulerna A1-A5 enligt Figur 4.7. Kombinationen hade en potential att minska klimatpåverkan med 77,7 kgCO₂e/m²A_{temp} och gav kombinationen en total klimatpåverkan på 292,9 kgCO₂e/m²A_{temp}. Med förnybara bränslen för materialtransporter för de alternativa lösningsförslagen kunde klimatpåverkan reduceras med ytterligare 1,40 kgCO₂e/m²A_{temp}



Figur 4.7 - Förändring i total klimatpåverkan vid applicering av kombination 4.

Klimatpåverkan för kombinationen fördelades över byggnadens byggprojektdelar enligt Tabell 4.34 som även presenterar skillnaden från referensbyggnaden per A_{temp} och procentuell skillnad. Kombinationen hade en potential att reducera klimatpåverkan från referensbyggnaden med 20,9 %.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Tabell 4.34 - Klimatpåverkan fördelad över referensbyggnadens byggprojektdelar. För ingående material se kapitel 3.3.3.4

Byggprojektdelar A1-A5.1	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Minskning av klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Procentuell förbättringspotential [%]
Stomme <i>HDF i klimatförbättrad betong (Sydsten) och klimatförbättrad betong</i>	111,6	-58,1	-34%
Fasader <i>50 % återbrukat tegel, glasull</i>	56,3	-12,0	-18%
Stomkomplettering/rumsbildning <i>Gips (Gyproc)</i>	42,8	-1,9	-4%
Husunderbyggnad <i>Klimatförbättrad betong (Sydsten)</i>	31,4	-5,7	-15%
Invändiga ytskikt/rumskomplettering	30,6	-	-
Yttertak	6,8	-	-
Gemensamma arbeten på arbetsplatsen	0,5	-	-
Bygg och installationsprocessen, A5.2-A5.5	13,2	-	-

4.3.5.5 Sammanställning av kombinationer

I Tabell 4.35 nedan presenteras överskådligt kombinationernas klimatförbättringspotential per A_{temp} , minskade utsläpp samt vilken påverkan som val av transportdrivmedlen hade på klimatet. De olika kombinationerna beskrivs med vilka resurser som förändrades jämfört med referensbyggnaden. Den procentuella reduktionen från referensbyggnadens klimatpåverkan redovisas även för båda bränsletyperna som användes i studien. Sammanställningen presenterar samtliga kombinationer och variationer tidigare beskrivna i metodkapitlet.

Tabell 4.35 - Sammanställning av kombinationer, klimatpåverkan och potentialen att reducera klimatpåverkan genom utbyte av drivmedel för alternativa lösningar i A4.

	Fossilt bränsle		Förnybart bränsle (HVO)	
	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Reduktion [kgCO ₂ e] [%]	Klimatpåverkan [kgCO ₂ e/m ² A _{temp}]	Reduktion [kgCO ₂ e] [%]
Kombination 1 - Lägst GWP-värde Hybridbjälklag, grön betong, återvunnet stål (Arcelor Mittal), återbrukat tegel, träreglar, glasull, gips	225,9	-525 000 (-39,0%)	221,0	-543 000 (-40,4%)
Kombination 1b Kombination 1 med HDF-bjälklag i grön betong	240,8	-471 000 (-35,0%)	229,4	-512 000 (-38,1%)
Kombination 1c Kombination 1 med 30 % återbrukat stål	221,4	-541 000 (-40,2%)	216,7	-559 000 (-41,6%)
Kombination 2- Kortast transportsträcka Klimatförbättrad betong (Sydsten), återvunnet stål (Norskt stålförbund), återbrukat tegel, träreglar, glasull, gips.	256,0	-416 000 (-30,9%)	254,6	-421 000 (-31,3%)
Kombination 2b Kombination 2 med återvunnet stål (Arcelor Mittal)	235,9	-489 000 (-36,3%)	233,4	-498 000 (-37,0%)
Kombination 3 - Klimatoptimerad stomme Stomme enligt kombination 1	271,4	-360 000 (-26,8%)	267,4	-375 000 (-27,8%)
Kombination 4 - Enklare ändringar Klimatförbättrad betong (Sydsten), 50 % återbrukat tegel, glasull, gips	292,9	-282 000 (-20,9%)	291,5	-287 000 (-21,3%)

5 Analys och diskussion

I detta kapitel analyseras och diskuteras resultatet framtaget i kapitel 4 och jämförs med tidigare studier och forskning. Avgränsningar och, i viss mån, relevanta utvecklingsämnen för studien diskuteras även.

Resultatet framtaget i studien behandlar enbart förbättringsförslag och alternativa lösningar för att reducera referensbyggnadens klimatpåverkan under byggskedena A1-A5. Det ska poängteras att all tillverkning inte ingår i resultaten då det inte går att få fram siffror för installationsteknik, inkl. ventilation, uppvärmning, och tapp- och spillvatten. Resterande delar av byggnadens livscykel, användningsskedet B, och slutskedet C har inte studerats mer än översiktligt. Den totala miljöpåverkan i termer av kgCO_2e har följaktligen inte beräknats. Fokus har lagts på byggskedet då det är av intresse och värde i ett tidigt projekteringsskede att studera olika alternativa utformningar. Beräkningar i BM kan vara till hjälp till att jämföra olika alternativ och ge ett underlag inför valet av teknisk lösning då minskad klimatpåverkan är i fokus.

5.1 Del I: Klimatkalkyl för referensbyggnaden

Övergripande resultat

Referenshusets klimatpåverkan i A1-A5 på $370,6 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ stämmer väl överens med resultat från tidigare studier. Utifrån jämförelse med andra studier gjorda på byggnader med betongstomme, exempelvis Blå Jungfrun på $350 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ (Erlandsson et al. 2018) och Daggkåpan på $347 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ (Andersson & Barkander 2015), nämnda i kapitel 2.2, har referensbyggnaden en motsvarande klimatpåverkan. Skillnaden i klimatpåverkan mellan byggnaderna kan bero på många parametrar, varav en värd att nämna är att majoriteten av tidigare studerade byggnader är flerbostadshus medan denna studie behandlar ett äldreboende. Det kan, utifrån resultatet av studiens förstudie, konstateras att klimatkalkyler och analyser av klimatpåverkan från äldreboenden inte är utförda i samma utsträckning som för flerbostadshus. Byggnadstyperna skiljer sig något i utformning och användning, exempelvis så har äldreboenden fler gemensamma utrymmen, ibland även gemensamt storkök. Det kan även finnas högre krav på installationer, där bland annat övertemperaturer kan ventileras bort. Det kan även finnas krav från beställare att golvytor ska vara avtorkningsbara och enkla att underhålla, det vill säga att det ofta används plastmattor. Den studerade referensbyggnaden beräknades ha en klimatpåverkan högre än de flerbostadshus studerade i tidigare studier vilket delvis kan förklaras med de skillnader som är lyfta ovan. Dock kan det även bero på den valda utformningen av byggnaden som kan medföra en högre klimatpåverkan.

Jämförs referensbyggnadens klimatpåverkan i A1-A5 med avgränsningar enligt bilaga 1 ($370,6 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$) med klimatpåverkan beräknad av Skanska med programmet ECO2/Anavitor ($371 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$), skiljer sig siffrorna väldigt lite. ECO2/Anavitor är ett miljöberäkningsverktyg som Skanska använder sig av för att beräkna byggprojekts klimatpåverkan. Programmet utgår ifrån samma materialdatabas som Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, dvs generiska data insamlade av IVL. ECO2/Anavitor till skillnad från BM ett program som inkluderar samtliga skeden, det vill säga byggskedet,

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

A användningsskedet, B och slutskedet C. Detta medför att programmet beräknar klimatpåverkan i hela livscykel. BM syftar emellertid till att vara ett gratisprogram för icke-LCA-experter att utföra klimatkalkyler med. Likheten mellan de beräknade resultaten från de olika programmen beror troligtvis på att båda beräkningsprogrammen utgått ifrån samma mängdkalkyl, avgränsad efter samma system och är utförda med data ifrån samma materialdatabas. ECO2/Anavitor är ett Skanska ägt program som är utvecklat för klimatberäkningar med Skanskas resurser och material som används i byggprojekt utförda av företaget. Detta medför att beräkningar på sådana projekt i stor utsträckning redan är kopplade till produktspecifika resurser som motsvarar de material som används i byggprojektet i verkligheten. Resultatet av studien visar på att BM är ett program som kan ge ett likvärdigt resultat som ECO2/Anavitor ger för byggskedet, A1-A5, utan den samlade erfarenhetsåterföring i beräkningarna som Skanskas program har.

Det som inte framgår ur beräkningen för klimatpåverkan i de avgränsade livscykelkedena är energi som förbrukas under användningsskedet, B, från brukare av byggnaden samt den klimatpåverkan som kommer från slutskedet, C. Därför gjordes även en överslagsberäkning för bruksskedet, B. Klimatpåverkan för driften av byggnaden kan beräknas då det finns krav på energianvändning från bland annat Boverket vilket möjliggör att en uppskattning av detta skedes klimatpåverkan kan beräknas. Liknande krav finns inte för energi från brukare utan det kan variera stort beroende på vilket sätt byggnaden används samt dess boendes beteende. För referensprojektet hade ingen driftenergi beräknats eller några mål satts vid tidpunkten för studien och därför användes primärenergital från BBR samt en minskning med 15 % av dess krav på maximal tillåten energianvändning. Om en livslängd på 50 år antas utgör skedena A1-A5 ca 60 % om skede C försummas. Om livslängden antas till 100 år ändras förhållandet, då utgör A1-A5 ca 40 % och användningsskedet B (driftskedet) ca 60 %. Detta visar bland annat hur olika antagna indata, antagen livslängd, påverkar resultatet. De flesta betongbyggnader kommer troligen i verkligheten att mer sannolikt ha en livslängd på närmre 100 än 50 år. Det är ovanligt att 50 år gamla betongbyggnader rivs. Trots vissa osäkerheter kring beräkningen av driftenergens klimatpåverkan indikerar resultatet att en förskjutning har skett sedan Adalberth et al. genomförde sin studie 2001, som allokerade 70-90 % av en byggnads klimatpåverkan till driftskedet. Detta kan bero på de alltmer ökande energikraven i driftskedet.

Beräkningsexemplet visar även att, om utsläppen studeras som andelar eller % ger skilda resultat beroende på vilka indata som ansätts och bör därför inte vara enda urvalsmetod. Det övergripande målet måste vara att minska de totala utsläppen och att man eftersträvar detta i samtliga delar A-C. Det bör även nämnas att man även måste beakta att förändringar i A-skedet kan öka utsläppen i B-skedet om förändringarna på något sätt förändrar byggnadens energiprestanda. De studerade alternativen i studien förutsätts att inte förändra byggnadens energiprestanda. Ytterligare en faktor som påverkar resultatet för klimatpåverkan från driftenergi är vilken energimix som används för beräkning. I studien används energimix för fjärrvärme Helsingborg från Öresundskraft på 48g CO₂/kWh. Värdet som användes är ett medelvärde för klimatpåverkan för energin från 2018 då det värde var det nyaste vid tidpunkten för studien. Detta värde har kommit att uppdateras under tiden för studien till 50 gCO₂/kWh för 2019. Det kan konstateras att detta värde inte skiljer sig nämnvärt åt från det som använts och därför har det nya värdet

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

inte bedömts ändra resultaten tillräckligt för att motivera en ny beräkning. Istället kan det diskuteras hur värdet för Helsingborg skiljer sig mot den Sverigemix som Energi- och klimatrådgivningen i Stockholmsregionen (2020) beskriver och som är 13 gCO₂/kWh. Detta är en större skillnad och beror troligtvis på att energin som används i södra Sverige importeras i större utsträckning än vad den gör i övriga Sverige där det används mer förnybar el från bland annat vattenkraft. Med en lägre omvandlingsfaktor för koldioxid till kWh uppnås en lägre klimatpåverkan under driften och då även lägre klimatpåverkan sett ur ett livscykelperspektiv. De kan nämnas att energimixen kan variera mellan dessa låga värden till mycket högre värden om till exempel kolkraft används som energilag.

Arbetsmoduler

Klimatkalkylen för referensbyggnaden visar att byggskedets (A1-A5) klimatpåverkan är fördelad över arbetsmodulerna med 83 % på produktskedet (A1-A3) och 8,5 % på både transport och på bygg- och installationsprocessen vardera (A4 & A5). Fördelningen av klimatpåverkan över arbetsmodulerna var väntat då resultaten ifrån Andersson & Barkander (2015) och Erlandsson et. al (2018) visar på en klimatpåverkan från produktskedet kan variera mellan 75-86 %. I klimatkalkylen utförd på ett flerbostadshus med stomme av trä av Larsson et. al. (2016) kan liknande värden även uppvisas trots att beräkningarna i detta fall använder ett annat stommaterial och inkluderar markarbeten som en klimatbelastande post, vilket sänker klimatbelastningen i produktskedet A1-A3 och höjer den i byggprocessen A5. Vilka material som används i stommen verkar alltså inte påverka hur klimatpåverkan fördelas mellan arbetsmodulerna i byggskedet. Resultat från denna och tidigare utförda studier tyder på att produktskedet A1-A3 är ett skede som är viktigt att studera.

Produktskedet består av de tre arbetsmodulerna, råvaruförsörjning, transport och tillverkning. Vilken arbetsmodul som påverkar klimatet mest av de tre är ofta inte angivet i materialens EPD då endast deras summa är redovisad. Med antagandet om att A2-transporten inte förbrukar mer bränsle per km än A4-transporten kan slutsatsen, utifrån resultatet, dras att arbetsmodulen med den största klimatpåverkan antingen är A1 eller A3. Fördelningen varierar mycket mellan olika material. För både tillverkning av betong och stål sker exempelvis den största klimatpåverkan i A1 men för tegel kan man anta att majoriteten ligger i A3. Detta för att det krävs mycket energi för att skapa cementklinker och för att producera stålet som är råvarumaterial som sedan transporteras till materialens tillverkningsplatser. För det tegel som studeras sker, som tidigare nämnt, majoriteten av klimatpåverkan i tillverkningskedet, A3, det vill säga under bränning av leran. Att välja material som har låg klimatpåverkan för framtagning av materialet är den viktigaste aspekten, utifrån resultatet av denna studie, vid intresse att minska klimatpåverkan redan under projektering av ett byggprojekt. De alternativa lösningarna i studien som innefattar återanvändning visar tydligt på hur stor reduktion av klimatpåverkan som är möjlig att nå när materialproduktionen av nya material kan undvikas.

Byggprojektdelar

Fördelningen av klimatpåverkan över byggprojektdelarna i den studerade byggnaden är i fallande ordning stomme, fasad, stomkomplettering/rumsbildning, husunderbyggnad,

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

invändiga ytskikt/rumskomplettering och yttertak. Fördelningen är inte förvånande då tidigare studier visar på liknande resultat kring att stommen har störst klimatpåverkan.

I stommen för referensbyggnaden är klimatpåverkan från betong och stål störst, där stål har ett högre GWP-värde än betong. Även om stål- och plåtprodukter kräver mer energi för produktion av ett kilo material, har betongen i stommen en mycket större mängd vilket innebär att den överskrider stålets klimatpåverkan i stommen. Betong används i så stor utsträckning i referensbyggnaden, så att även om dess GWP-värde inte är bland de högsta bland byggmaterialen, har det en stor klimatpåverkan. Detta är en av anledningarna till att det idag finns ett stort intresse av att utveckla betongrecepten med syfte att minska klimatpåverkan.

Byggprojektdelen med näst störst klimatpåverkan i referensbyggnaden är fasaden, vars tre största poster är stålreglar och -skenor, fönster och fasadtegel. Alternativa lösningar har föreslagits för reglar och fasadtegel men inte för fönster. Fönster är i mängdkalkylen uppdelat i flera olika material vilket gör det komplext att jämföra med andra produkter på marknaden. Det valdes därför att för fasadfönster inte undersökas olika alternativ. Ju högre inverkan på resultatet en materialpost har, desto större positiv påverkan kan göras med relativt små åtgärder. Vill man göra ändringar som ger stort förändring av klimatpåverkan är det på de mest klimatbelastande posterna som bör fokuseras på att förändras. Dock bör det tänkas på att många små minskningar av klimatpåverkan kan tillsammans innebära en stor förändring.

5.2 Del II: Utvärdering av klimatposter i A1-A3

Generiska värden (Del II)

Insamling av alternativa lösningsförslags GWP-värden sker i studien framförallt från EPDer genom undersökning i olika EPD-databaser och leverantörers hemsidor för att i så stor utsträckning som möjligt använda godkända GWP-värden. Dock förekommer enstaka icke validerade GWP-värden insamlade via mailkonversation, vilka alla är markerade i med asterisk i resultatet Del II. Data på många olika alternativa material samlas in för att ge en möjlighet att jämföra och välja ut lösningar av intresse för studiens frågeställningar. De alternativa material som inte används i kombinationer ger istället i Del II i resultatet en uppfattning av storleken på materialens klimatpåverkan och hur de förhåller sig till BMs generiska LCA-data ifrån LCA-databasen som IVL utvecklat. Enligt resultatet av de insamlade GWP-värdena syns att i nästan alla presenterade fall finns potential till minskning av klimatpåverkan i förhållande till det generiska värdet. När GWP-värdena samlas in läggs fokus på att hitta material som kan minska klimatpåverkan vilket förklarar resultatet. Som ovan nämnt är de generiska GWP-värdena ett slags medelvärde på marknaden, vilket också förklarar presentationen av alla material med lägre GWP-värden. Material med högre GWP-värden än de generiskt framtagna finns också men presenteras nästan inte alls i studien då de inte bidrar till att uppskatta klimatbesparingspotentialen.

Företags framställning av EPDer är ett pågående arbete och många material har vid tidpunkten för studien inte några siffror för materialens klimatbelastning. Det innebär att resultatet av studien kan uppdateras efter en tid och ge skiljande resultat. Det kan tänkas att för att ge en bättre bild av företagen, lägger de mer energi på att presentera positiva resultat än vid negativa. Det kan innebära att leverantörer med material som presterar sämre undviker eller drar sig från att utföra EPDer och på så vis undgår sämre publicitet. Det skulle i så fall innebära att det kan finnas färre EPDer på den svenska marknaden för material med relativt höga GWP-värden, vilket skulle medföra att det generiska värdet för materialet är lägre än det faktiska medelvärdet av alla produkter är. Hur stor underskattning av klimatpåverkan som detta eventuellt innebära uppskattas inte i studien. I studien anses de generiska värdena vara tillräckligt bra för att ge ett resultat exakt nog att ta beslut om materialval och utformningsalternativ för det aktuella byggprojektet. Finns det intresse att göra mer exakta kalkyler finns möjligheten i programmet att lägga in EPDer för produktspecifika klimatpåverkan. Osäkerheten i EPDerna anses vara låg då alla EPDer granskas av en oberoende tredje part som godkänner dokumentet. Inmatningen av denna sorts information och information om produktspecifika transporter och omräkningsfaktorer tar mer tid av användaren men levererar ett mer precist resultat. Användaren får själv värdera om ett noggrannare resultat är värt tidsinvesteringen.

5.2.1 Stomme

Betong

Betong är ett av materialen i studien vars GWP-värde varierar mycket och för de alternativa betonglösningarna i studien sträcker sig de funna GWP-värden från 0,05 till 0,108 kgCO₂e/kg. Som nämnts i metoden beror den mest klimatpåverkande delen av betonganvändningen på andelen cement som används i betongen. Ersättande bindemedel i form av slagg och flygaska är biprodukter vid ståltillverkning och av kolkraftverk. Det innebär att utan att producera nytt material kan användning av biprodukter reducera betongens klimatpåverkan. Denna återanvändning mellan branscherna kan visa på ett framtida sätt att hitta mindre klimatnegativa material. Klimatpåverkan från dessa bindemedel som studerats uppkommer främst genom transporten från bland annat ståltillverkning och kolkraftverk till betongfabriken. I dagsläget är användningen av alternativa bindemedel så pass låg att dessa industriens biprodukter täcker behovet som finns vid tidpunkten av studien, men i framtiden kan det se annorlunda ut och en mer långsiktig och klimatvänlig lösning behövs.

Även om betongrecepten varierar i GWP-värden visar resultatet tydligt vilket betongrecept som kan väljas för den lägsta klimatpåverkan. Mängden material som används har ett tydligt samband med klimatpåverkan och används stora mängder betong kan klimatförbättringar göras genom ändring till en betongsort med lägre GWP-värde, även om besparingen per kg material inte är så stor. Det är inte så stor skillnad mellan de olika studerade alternativen. Den största minskningen i utsläpp erhålls genom att gå från referenshusets betong till något av de studerade alternativen

Att ersätta betongelement i referensbyggnaden mot alternativa lösningar, som hybridbjälklag har visat sig vara ett annat sätt att minska klimatpåverkan. Detta prövas i studien och gav resultat som visade på en reduktion av klimatpåverkan. Betong går dock inte alltid att ersätta lika oproblematiskt som för hybridbjälklaget. Olika byggnader har exempelvis olika sorters grundläggning och i studien har en platta på mark studerats. Aspekter som markfukt och last från byggnaden kräver troligtvis vidare utredning innan alternativa lösningar kan bli aktuella att jämföra med. Betong har även fler eftersökta egenskaper som exempelvis bärighet, brandresistivitet, ljudisolering och termiska egenskaper. Dessa är några av egenskaperna som de lägenhetsavskiljande väggarna har som krav men som studien avgränsat bort. Där av undersöks inte någon alternativ utformning till betongväggarna. Betong har exempelvis en större temperaturutjämnade förmåga än lätta stommar med låg värmekapacitet. Vid ett ökat antal värmeböljor kan detta möjligen innebära mindre behov av tillförd aktiv kylenergi då ett svalare termiskt klimat inomhus behövs. Detta kan vara viktigt i den studerade typen av byggnad; äldreboende, där det är viktigt ur hälsosynpunkt för de äldre med ett icke för varmt termiskt inomhusklimat på sommaren.

Betongrecepten utvecklas efterhand som efterfrågan förändras och under studien genomförts har flertalet EPDer uppdaterats och även EPDer som inte funnits tidigare har publicerats. Framförallt har det visat sig att klimatförbättrade betongrecept utvecklas i stor utsträckning. Svensk Betong (2017) skriver att mer än 90 % av koldioxidutsläppen

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

som sker vid produktion av betongen, sker vid framställning av cementklinkern. Genom minskning av cementklinkerandelen kan alltså klimatförbättringar göras, främst genom att ersätta den med alternativa bindemedel. Arbetet med att ersätta cementklinkern med andra bindemedel och utveckla betongrecepten är essentiellt för att minska betongens och därigenom även branschens koldioxidemissioner. Dock sker övergången till att använda nya betongrecept relativt långsamt och det finns flera anledningar till branschens försiktighet vid användandet av nyligen utvecklade byggmaterial. Några av dessa aspekter diskuteras nedan i följande stycken utifrån intervjuer och diskussion med experter inom ämnet.

En orsak kan vara att beställare vill ta små ekonomiska risker när det kommer till utbyte till nya material och inte ändra på vad som fungerat bra i tidigare byggprojekt. Att börja använda ett nytt, inte helt beprövat, material kan ibland ha förrädiska konsekvenser för alla inblandade. Försiktigheten vid användning av nya material kan grunda sig i rädsla för oförutsedda problem och kostnader. Dock menar en betongspecialist¹⁹ att iblandningen av bindemedel som exempelvis flygaska eller slagg inte är något nytt, utan har funnits i över 100 år. Branschens försiktighet gör det svårt att skapa snabba förändringar mot ett högre användande av klimatförbättrade betongsorter. 2019 lanserade Skanska sin så kallad Gröna Betong vilket är deras klimatförbättrade betong med låga GWP-värden. Att ge utvecklingen av sin betong ett helt nytt namn kan vara bra för ökad uppmärksamhet kring betongen men det kan även ge intrycket att betongreceptet är en helt ny betongblandning vilket ur detta perspektiv kan minska intresset och chansen att beställare väljer betongsorten.

Betongexpert på Skanska²⁰ nämner att när betongbyggnader uppförs projekteras allt i förväg men vissa produktspecifika val tas senare. Ett sådant val är heltäckande ytbeläggningar av icke-permeabla material. Plastmattor innebär låg genomsläpplighet av fukt vilket kräver att för att fästningsmassan under mattan ska fungera måste en betong väljas som har relativ snabb uttorkning, vilket ofta innebär ett lågt vattencementtal och en hög klimatpåverkan. Om fokus från början ligger på att använda en klimatsmartare betong borde istället ytbeläggning anpassas efter valet av betong. Dahlgren drar paralleller till en byggnad med trästomme och berättar att i ett sådant fall styr valet av stomme vilket material av ytbeläggning som används och inte tvärt om, som skett vid byggande med betongstommar.

Skanskas klimatförbättrade betong har vid tidpunkten för studien inte implementerats i alla Skanska projekt trots visad potential. De nya recepten har exponeringsklasserna XC1-XC3 vilka är låga i jämfört med standard betongsorter använda i samma byggnadsdelar. Enligt betongexpert på Grön betong²¹ kan detta bero på att utvecklingen av standarder inte följer med i utvecklingen av materialen. En annan betongexpert på Skanska²² menar att valet av exponeringsklass har gått lite på slentrian och vid osäkerhet har en högre kvalitet valts som säkerhet för konstruktionen. Med samhällets ökande

¹⁹Intervju med teknisk specialist grön betong, Skanska 2020-02-28.

²⁰ Intervju med teknisk specialist grön betong, Skanska 2020-02-28.

²¹ Intervju med teknisk specialist grön betong, Skanska 2020-02-28.

²²Mailkonversation med betongspecialist, Skanska 2020-04-07.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

fokus på att minska klimatpåverkan har det blivit tydligare vilken inverkan kravet på exponeringsklass har på klimatet. En ökad exponeringsklass innebär ofta en högre cementhalt och sämre möjligheter till användningen av alternativa bindemedel. Konstruktörer som oftast är de som ställer exponeringsklasskraven arbetar efter standarder och för att välja exponeringsklass används Betongrapport 11: Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206-1 som enligt Skanskas betongexpert kanske borde uppdateras. Konstruktör²³ på Skanska styrker tidigare uttalande om att valet gått på slentrian genom att säga att valet är ”lite av en tolkningsfråga”. Frågan om vilken exponeringsklass som är mest anpassad för det specifika fallet är alltså inte så lätt, men eftersom det har en sådan stor betydelse för hur mycket byggsektorn påverkar klimatet bör det vara av intresse att utveckla direktiven. Genom att göra det enklare för konstruktörer att ställa exponeringsklasskrav utan överdrivna säkerhetsmarginaler kan betongens klimatpåverkan i Sverige minskas.

Hybridbjälklaget

Ett lösningsförslag som visar på stor potential att reducera klimatpåverkan är hybridbjälklaget från Hedareds Sand och Betong AB. Detta bjälklag sätter samman betong och trä i en hybridkonstruktion. Genom utnyttjande av materialens egenskaper i en sammansatt konstruktion kan mängden betong minskas och därmed få en mindre klimatpåverkan i jämförelse med massiv- eller HDF betongbjälklag. I studien har detta alternativ valts att undersökas då få tidigare studier har utvärderat klimatpåverkan från denna typ av hybridkonstruktioner. Trä i kontakt med betong kan ur ett fuktperspektiv se oroväckande ut men enligt bjälklagets fuktsäkerhetsprojektering 2011 från RISE, tidigare SP, säkerställs de fukttekniska funktionskrav som ställs på ett mellanbjälklag, se vidare nedan. Dock bör ändå fuktsäkerhetsperspektivet tas hänsyn till innan bjälklaget används eftersom träreglar monterade på ett betongskikt och kan anses vara en riskkonstruktion. Utifrån mailkonversation med det tillverkande företaget Heda²⁴ framgår det att bjälklaget delvis prefabriceras på fabrik. Betongskikt gjuts och efter torkning monteras träreglar och då, när den bärande delen av konstruktionen är färdig, transporteras den till byggarbetsplatsen och monteras. På byggarbetsplats färdigställs konstruktionen med isolering samt beläggning av ytskikt. Detta medför att konstruktionen har god tid att torka och risken för byggfuktrelaterade skador på träreglarna minimeras. Väl på byggarbetsplatsen är det viktigt att använda väderskydd för exponerade reglar som riskerar att byggas in med innehåll av fukt om inget väderskydd används under byggtiden.

En fuktsäkerhetsprojektering av bjälklaget är utförd av RISE under förutsättning att det är inifrån kommande fukt från en våtrumskonstruktion. I RISE beräknade fuktfall används en ytbeläggning av ett tätskikt med 2 000 000 s/m i ånggenomgångsmotstånd bakom keramiska plattor. (SP 2011). Motsatt sida varierar mellan inneklimat och uteluft-ventilerad kryppgrund. Fuktsäkerhetsprojekteringen genomförs endast med en kvalitativ bedömning av risken för fuktskador beroende på att fukt läcker in genom otäta anslutningar och inte kan torka ut. Resultatet av vad fuktsäkerhetsprojekteringen visar är att bjälklaget inte överskrider valt kritiskt fuktillstånd (75 %) i fallet med inneklimat

²³Mailkonversation med konstruktör Skanska Teknik, 2020-04-23.

²⁴ Mailkonversation med Hedareds Sand och Betong AB mellan 2020-02-01 och 2020-05-06.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

som motsatt sida och att tätskiktet är tillräckligt tätt för att säkerställa detta. Fuktsäkerhetsprojekteringen visar även att om byggfukt finns torkar den ut i byggnaden, förutsatt att ingen ny fukt tillförs. Resultatet med uteluftventilerad kryppgrund visar på att konstruktionen ej är lämplig för detta fall och skall därför inte användas i den typen av konstruktioner. Studien har därför avgränsat denna typ av användning och baserat användandet på SPs uttalande ”*Resultatet visar på att EW-bjälklaget lämpar sig väl som mellanbjälklag i ett våtrum med ett tätskikt på 1-2 000 000 s/m i ånggenomgångsmotstånd och med ett inneklimat på motsatt sida.*” (SP 2011, s.4).

Hybridbjälklag och -konstruktioner har i studien varit två efterfrågade lösningsalternativ som vid intervjuer av experter och sakkunniga uppmuntrats att undersöka. Denna förändring medför en stor ändring av originalkonstruktionen och medför flertalet konsekvenser för det tekniska utförandet. Exempelvis skiljer sig fuktsäkerheten markant mellan konstruktioner i betong och i trä och ett annat exempel är bärighetsskillnader i stål och i trä. Utifrån dessa perspektiv behövs utredningar av konstruktionen i större omfattning genomföras än vad studien genomfört och först när de är utförda är det relevant att beräkna en potentiell klimatbesparing. Eftersom fuktsäkerhetsprojektering redan var utförd för det valda hybridbjälklaget, valde studien att inkludera detta alternativa utförande. Detta var möjligt eftersom information om Hedas hybridbjälklag var enkelt att tillgå samt att det behåller de funktionella egenskaper som bjälklaget i referensbyggnaden har. Då hybridbjälklaget uppvisar en stor potential att reducera klimatpåverkan för byggnaden i A1-A5 (-9,7 %) är det troligtvis värt att undersöka vidare i framtida projekt. På grund av bland annat förändringar i utförandet som hybridbjälklaget medför har studien även valt att genomföra beräkningar och kombinationer på andra alternativa lösningar för bjälklaget som även dessa visar på en reduktion av klimatpåverkan.

Stål

Studiens resultat visar att GWP-värden för konstruktionsstål och prefabricerade stålstommar har en stor spridning mellan högsta och lägsta GWP-värde. Detta trots att andelen konstruktionsstål är stor i samtliga studerade fall och att den funktionella enheten är samma. Detta tyder på att klimatpåverkan från tillverkning av konstruktionsstål varierar beroende på tillverkare vilket kan bero på vilket energislag samt vilken tillverkningsprocess som används på fabriken.

Det har visat sig att i studien är det viktigt att vid val av material ta hänsyn till vilket stål som ger bäst förutsättningar för projektet och undersöka vilka ingående produkter som innefattas i stålstommens GWP-värde. I studien har undersökningen av stålstommen försvarats eftersom det är en post som genomförs av en underentreprenör. Det innebär en osäkerhet i vilka ingående material som posten innehåller. Då den vertikalt bärande stommen i referensbyggnaden utgörs till stor del av konstruktionsstål och är en stor del av den totala klimatpåverkan är det av intresse att undersöka dess förbättringspotential. I studien antogs att stålstommen i referensprojektet efterliknar de undersökta stålstommarna tillverkade av Contiga, Norstal och Skonto Prefab. Efter diskussion med Skanska²⁵ mappades posten till det generiska värdet för konstruktionsstål med ett GWP-värde som ligger inom intervallet för de stålstommar och konstruktionsstål som tagits

²⁵ Mailkonversation med Hållbarhetsspecialist, grönutvecklingschef, Skanska Sverige (2020-03-10)

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

fram från EPDer från ståltillverkare. Osäkerheten med denna metod är i vad som exkluderas i underentreprenaden och som inte tas med i beräkningen. Efter beräkning av klimatpåverkan av stålstommens alternativa lösningsförslag utreds det vilken klimatpåverkan per konstruktionsdel som de olika tillverkarnas produkter har. Den beräknade klimatpåverkan i A1-A5 för stålstommen i referensbyggnaden är $50,1 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$. De alternativa lösningarnas klimatpåverkan i A1-A5 varierar mellan intervallet 39,8 och $82,8 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2 A_{\text{temp}}$ vilket pekar på att mappningen till konstruktionsstål i referensbyggnaden är rättfärdigad.

Alternativt utförande

Stommen är byggprojekt delen med störst klimatpåverkan för referensbyggnaden. Studien har visat på hur olika alternativa lösningar kan reducera klimatpåverkan förutsatt avgränsningen om att inte ändra byggnadens utformning. Vilket har medfört att alternativa lösningar främst av typen återvunnet, återbrukat och klimatförbättrande har studerats. Om denna avgränsning kan bortses ifrån skulle troligtvis lösningar i trä studerats eftersom det har en väsentligt mycket lägre klimatpåverkan än exempelvis betong och stål. Studien har studerat trä i byggprojekt delarna fasad och stomkomplettering/rumsbildning vilket har visat på stor potential för reduktion av klimatpåverkan. Genom att studera exempelvis korslaminerat trä (KL-trä) kunde alternativa lösningar, till exempelvis bjälklaget och stålstommen, tagits fram. Trä är ett förnybart material vilket leder till dess unika förmåga att binda koldioxid genom fotosyntesen. Bunden koldioxid i förnybara material benämns biogenic carbon content eller biogeniskt bundet kol (Stora Enso 2020). Utifrån att trä binder koldioxid under sin livslängd kan detta negativa utsläpp beräknas med i dess GWP-värde tillsammans med de utsläpp som finns vid produktionen. Det biogeniska bundna kolet för trä beräknas enligt standarder EN 16485/16449 och för det beskrivna KL-trä från Stora Enso innehåller det $-762 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$, vilket motsvarar $-1,62 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$. Biogeniskt kol beräknas in i arbetsmodul A1 och förväntas lämna livscykeln i modul C det vill säga samma systemgränser som övriga EPDer använda i studien. Tillverkning A1-A3, exkluderat biogeniskt bundet kol, enligt Stora Ensos (2020) EPD har ett koldioxidutsläpp på $0,12 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ vilket stämmer väl överens den generiska resursen använd i BM för korslaminerat trä på $0,14 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$. Med användning av detta som stommaterial kan alltså det förväntas sänka utsläppen markant då det har en sammanlagd negativ klimatpåverkan i A1-A3 på $-1,51 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ inklusive biogent bundet kol. Dock räknas inte alltid det biogent bundna kolet med för alla trämaterial och därför kan det skilja sig åt mellan olika tillverkares EPDer och olika klimatpåverkans beräkningar.

5.2.2 Fasad och stomkomplettering/rumsbildning

Fasad och tegel

Referensbyggnadens fasad är byggprojektdelen som står för den näst största klimatpåverkan. Av de analyserade fasadmaterialet bidrar framförallt tegel, men även isolering samt stålreglar och -skenor till stor del av klimatpåverkan. Ytterväggars utformning kan variera stort och de alternativa lösningarna för väggen avgränsas till att endast ersätta befintliga byggmaterial med produktspecifika byggmaterial som uppfyller samma funktioner. Istället för att ersätta exempelvis tegelfasaden, som är i princip underhållsfri, med träpanel som har låg klimatpåverkan och höga underhållningskostnader valdes att i denna studie att utnyttja möjligheten till återbrukade produkter. Det återbrukade teglet har en låg klimatpåverkan i förhållande till nyproducerat tegel då majoriteten av dess klimatbelastning härstammar från bränning av leran, vars klimatpåverkan endast är relevant för nyproduktion. Flaskhalsen för användning av återbrukat tegel ligger i tillgången på materialet. I den alternativa lösningen som ersätter teglet referensprojektet har det valts att använda tegel ifrån Gamle Mursten vilken ligger i Danmark men är den närmsta tillgången på återbrukat tegel. Tillgången på återbrukat tegel i företaget är beroende på intresset att sälja tegel från byggnader som ska rivras, vilket kan göra att tillgången är svår att uppskatta i förtid. Projekteras det för att återbrukat tegel ska användas för större byggprojekt bör kontakt med leverantör göras i god tid för möjlighet att uppskatta och samla ihop mängden material som kommer att krävas vid byggproduktionen.

Träreglar

Alternativa lösningsförslag som för både innerväggar och för ytterväggar förslås i studien är att ersätta stålreglar och -skenor i utfackningsväggarna mot träreglar av samma dimension som fyller samma bärande funktion. Utbytet förutsätter att antagandet om att utfackningsväggarna endast bär sin egen vikt och vindlast, vilket de gör per definition. Användning av träreglar i väggar anses vara en väl beprövad metod för uppbärandet av en vägg. Alternativet innebär dock att ett organiskt material byggs in i konstruktionen vilket behövs tas hänsyn till vid projektering av byggnaden för att undvika fuktrelaterade problem. Det kan således innebära krav på att ytterligare fuktskyddande material behövs och att arbetsutförandet vid installation kan förändras. Tilläggsmaterial för säkring av fuktsäkerhet kan exempelvis innebära syllisolering eller gummilister mot betongelement. Byggnation med trä innebär troligtvis även att väderskydd kan komma att behövas för att undvika fuktskadat byggmaterial på lagringsplatsen och att fukt byggs in i konstruktionen. Utbytet av reglarna innebär en minskning av klimatpåverkan med 94,2 % för innerväggarna och 96 % för ytterväggarna jämfört med befintlig konstruktionsdel i referensbyggnaden under produktskedet, A1-A3. En stor förbättring i klimatpåverkan kan anses vara värd kostnaden och tiden för att undersöka fuktrisken genom exempelvis en fuktsäkerhetsprojektering och kostnaden det innebär att skydda materialet från väder.

5.3 Del III: Klimatpåverkan för referensbyggnad med kombinationer av alternativa lösningar.

Genom att välja att beräkna minskningen i klimatpåverkan på grund av flera alternativa lösningar i kombination med varandra undersöks en sammanlagd förbättringspotential. Kombinationerna har som syfte att undersöka potentialen, att minska klimatpåverkan, som kan uppnås med kombinationer valda utifrån olika perspektiv. Det framgår av undersökningen att det som har störst påverkan på den totala klimatpåverkan är olika materials GWP-värde. För studien innebär låga GWP-värden även låg klimatpåverkan.

Kombination 1 som fokuserar på att optimera kombinationen med lägst GWP-värde i alla konstruktionsdelar och reducerar klimatpåverkan med 40,4 % av referensbyggnadens klimatpåverkan A1-A5. Majoriteten av minskningen är en följd av ändrade material medan ändring av fossilt bränsle till förnybart står för en minskning på 1,4 % minskning. Kombination 2 fokuserar istället på att använda materialalternativ med kortast transportsträckor reducerar klimatpåverkan med 31,3 % av referensbyggnadens klimatpåverkan A1-A5. Utbytet av bränslet minskar dock endast klimatpåverkan med 0,4 % på grund av att transportsträckorna är kortare och har mindre procentuell andel av klimatpåverkan.

Jämförelse mellan kombination 1 och 2 visar att om målet med materialvalen i denna studie endast är att minska klimatpåverkan, visar resultaten att det är av större vikt att undersöka marknaden efter material med lägre GWP-värde i produktskedet A1-A3 än att använda sig av material som tillverkas inom ett område med kort transportsträcka till projektet. Det mest optimala är dock att använda sig av material som produceras inom ett kort transportområde och samtidigt har låga GWP-värden för produktskedet A1-A3. Möjligheterna för förnybart bränsle i form av HVO eller RME anses goda, vid tidpunkten för studien, och är därmed en åtgärd som har potential att minska klimatpåverkan de längre transportsträckorna bidrar till.

Studien grundas i data från de EPD-databaser som används för att hitta EPDer för olika material. Det är framförallt material från Europa och Norden och den längsta transportsträckan som används är 1 885 km från byggarbetsplatsen, det vill säga avstånd från världen, exempelvis Asien har inte studerats. Detta innebär för studien att beräkningen för klimatpåverkan av transportsträckor inte dras till ytterligheter där klimatpåverkan från transporten har större påverkan än produktskedet (A1-A3). Trots det påvisas en reduktionspotential i kombination 1, när förnybara bränslen används för transportsträckorna. I kombination 1 allokeras den längsta transportsträckan till det återvunna stålet, vilket tillverkas i Luxemburg med ett avstånd på 1 085 km. Detta tyder på att för material som tillverkas inom 1 885 km är fortfarande produktskedet den största klimatbelastningen att reducera, vilket görs genom val av material med låga GWP-värden. Material som tillverkas utanför Europa innebär en längre transportsträcka och därför en högre klimatpåverkan i arbetsmodul A4. I studien har inte EPDer till material som tillverkas utanför Europa funnits och de har således inte undersökts vidare. Beroende på vilka transportsätt, bränslen och material som transporteras finns produktspecifika avstånd där klimatpåverkan ifrån transporten överstiger klimatpåverkan ifrån produktskedet. Genom att använda sig av Tabell 2.6 kan dessa

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

avstånd beräknas och det kan visas att klimatpåverkan från produktskedet skulle motsvara orimligt långa transportsträckor. Studiens syfte är dock inte identifiera denna sträcka för varje produkt utan det är att presentera förslag på hur klimatpåverkan vid byggproduktion av referensbyggnaden kan minskas mest effektivt.

Resultatet av kombinationerna visar även på fokus för reduktion av klimatpåverkan bör, för referensbyggnaden, ligga på att reducera klimatpåverkan från stommen. Genom att i kombination 3 endast tillämpa de alternativa lösningarna för stommen som används i kombination 1 kan en reduktion med 27,8 % av referensbyggnadens klimatpåverkan A1-A5 göras. Detta kan antagas vara en generell slutsats då tidigare studier även visar på att stor del av klimatpåverkan kommer härifrån. I studien kommer 45,7 % av klimatpåverkan i A1-A5 referenshuset från stommen. Alternativa kombinationsvarianter analyseras även med utbyte till en alternativ lösning av intresse eller tillägg av ytterligare en alternativ lösning. Exempelvis visar kombination 1c potentialen som användning av återbrukat stål har på ett kombination 1. Dock är det många antaganden kring återbrukat stål som leder fram till just detta GWP-värde, då det inte finns några EPD'er framtagna för det återbrukade stålet. I studien har det uppfattats att branschen istället uttrycker sig som att användning av återbrukat stål genererar en klimatförbättring jämfört med nyproducerat stål har för klimatpåverkan. Fraunhofer institut (2019) beräknar denna besparing till 5,3 kgCO₂e för 1 kg stål vilket inte inkluderar transportens utsläpp. För att komma fram till ett GWP-värde och en EPD borde detta undersökas vidare för att underlätta tillämpning och användning av återbrukat stål i klimatberäkningar och i byggprojekt i större utsträckning. I kombination 1c uppnås en reduktion av klimatpåverkan i A1-A5 från referenshuset med 41,6 %. Framtagna alternativa lösningar i studien kan i många fall kräva omprojektering av byggnaden och medför därför extra arbete och kostnad för projektet. Detta kan medföra att de inte tillämpas i projekt och därför endast är en teoretisk klimatförbättring. Utifrån detta problem togs kombination 4 fram för att visa på att även enklare och redan beprövade lösningar kan med ett motiverat och medvetet val reducera klimatpåverkan. Denna kombination syftar till att inte ändra utformningen av referensbyggnaden i stor utsträckning och använder därför alternativa lösningar som inte medför annan ändring än utbyte av material. Betong i plattgjutna delar utgör en stor del av lösningsförslaget men kompletteras med byte av gips och isolering. Detta förslag reducerar klimatpåverkan med 21,3 % av referensbyggnadens klimatpåverkan A1-A5.

I studien behandlas endast ett selektivt urval av konstruktionsdetaljer med stor klimatpåverkan utifrån valda byggprojektdelar. Med alternativa lösningsförslag och kombinationer av dessa kan en förbättringspotential för referensbyggnaden beräknas. Av denna beräkning framgår det vilka åtgärder som har stor potential att minska utsläppen men det finns även andra åtgärder för att reducera denna ytterligare. Exempel på ytterligare åtgärder som kan reducera klimatpåverkan för referensbyggnaden är exempelvis cellplast i grunden och armeringen i betongen. Poster som dessa har valts att inte undersökas vidare på grund av de i jämförelse analyserade poster inte utgör lika stor klimatpåverkan för referensbyggnaden. Lösningsförslag med reduceringspotential skulle till exempel vara återvunnet armeringsstål och utbyte till klimatsmartare grundisolering. Studien har inte fokuserat på att klimatoptimera varje konstruktionsdel i referensbyggnaden utan har istället fokuserat på att hitta alternativa lösningar till de

största posterna och på så sätt utvärdera en möjlig klimatförbättring för referensbyggnaden. Hypotetiskt sätt finns det lika många möjligheter att minska klimatpåverkan som det finns materialposter. Vad det kostar att utreda en sådan fundamental förändring av material, utformningar, dess klimatpåverkan och slutligen värdering av vinsten av förändringen är komplext och om det är en ekonomisk vinst skall låtas vara osagt i studien.

5.4 Mål och samhällsförankring

Sveriges mål för klimatneutralitet 2045 kan utifrån resultat i studien nås genom flera aktörers gemensamma åtgärder och i studien är bygg- och anläggningssektorns färdplan ett av de viktigare målen. Färdplanen delas upp i flera olika steg, där det första steget innebär kartläggning av utsläpp och uppförande av klimatmål till 2022. I studien kan referensbyggnaden uppfylla detta första steg genom att i del I beskriva klimatpåverkan från referensbyggnaden och kartlägga var i byggnaden de uppkommer. För detta steg är BM ett bra verktyg då programmet på ett effektivt sätt beräknar klimatpåverkan i A1-A5 från en mängdkalkyl. Resultat från en sådan beräkning ger ett tillförlitligt resultat som baseras på generiska resurser och transporter samt automatiskt kartlägger byggnadens klimatpåverkan utan komplicerad administration av användaren.

Vidare steg i färdplanen är att klimatutsläppen ska visa en minskande trend till 2025 och till 2030 ska utsläppen vara reducerade med 50 % jämfört med 2015 års nivåer. I studien visas det att redan nu, 2020, är möjligt att reducera klimatpåverkan i A1-A5 för detta äldreboende med omkring 30-40 % jämfört med den referensbyggnad som studerats och med alternativa lösningsförslag som finns på marknaden idag. Resultatet visar även på att de kombinationer med lägst antal förändringar även ger en reduktion som är på god väg att uppfylla detta mål. Studiens resultat kan inte motsvara potentialen för hela bygg- och anläggningssektorn men den pekar på att om det finns en drivkraft och resurser finns det möjlighet att i alla fall vid produktion av äldreboenden göra medvetna val för en minskad klimatpåverkan i byggskedet. För att nå målet om klimatneutralitet 2045 behövs i dagsläget ytterligare utveckling av de material och konstruktionslösningar som används för att inte enbart klimatkompensera resterande klimatpåverkan som återstår vid byggnationen.

En faktor som har stor påverkan på val av material och konstruktionslösningar i byggbranschen är kostnad. Kostnaden är ofta avgörande då två likvärdiga material står mot varandra. I studien har alternativa lösningsförslag tagits fram med syfte att kunna ersätta den motsvarande lösningen i referensbyggnaden och uppfylla samma funktionella krav utan att hänsyn tagits till eventuella merkostnader. Genom att oftast ersätta materialen med liknande material antas kostnaden inte skilja sig nämnvärt. De lösningar som kan medföra en ökad kostnad för projektet är de med stor mängd och där större förändringar görs i val av material, till exempel användning av klimatförbättrad betong och återvunnet stål. Kostnaden har historiskt sett påverkat val och användning av material men för att uppnå de klimatmål som satts behövs klimatpåverkan från material även tas hänsyn till. I de fall som ett material har en stor potential att reducera klimatpåverkan i A1-A5 måste värdet av att minska klimatpåverkan ställas mot det högre priset på materialet.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Kostnaden för material har inte undersökts i studien då denna avgränsning gjorts, delvis för att priser för stora mängder material förhandlas fram och inte skrivs ut på företags hemsidor och delvis för att fokus för studien har legat på att undersöka den potentiella klimatreduktion som går att uppnå vid rådande marknadsläge.

För att ytterligare reducera klimatpåverkan för det studerade projektet från användning av material med utsläpp i tillverkningsskedet behövs i större mängd användning av återvunna material. Vilket i studien har visat stor potential i användning av återvunnet stål. Tillverkningsprocessen av återvunnet stål kräver dock fortfarande energi för att smälta ner och gjuta nytt stål men det är fortfarande en minskning i jämförelse med processen att skapa råvaran från grunden. Det energislag som används i tillverkningen blir då av större betydelse.

5.5 Fortsatta studier

I studien har avgränsningar gjorts för att kunna beräkna klimatpåverkan under byggskedet, A1-A5. Dessa avgränsningar gjordes delvis eftersom information om exkluderade posters klimatpåverkan under tillverkningsskedet saknades vid tidpunkten för studien. Poster som exkluderas från studien är bland annat installationsteknik. I den, för studien, använda mängdkalkylen var samtliga poster för värme, sanitet, luftbehandlingssystem och elinstallationer utledda till underentreprenörer och benämnda med materialåtgång per kvadratmeter A_{temp} . Eftersom byggnaden inte var fysiskt byggd under tiden för studien kunde inte analys för dessa poster genomföras. Hade byggnaden varit byggd kunde information samlats in och utvärderats. Istället antogs klimatpåverkan för detta skede efterlikna data från Dahlblom (1999, 2020) och på så sätt kunde en uppfattning bildas över installationsteknikens klimatpåverkan i A1-A5. En utförligare analys av dessa posters klimatpåverkan i A1-A5 skulle även varit möjlig om det fanns fler EPDer för dessa system och sammansatta delar. Detta är, för studien, en okänd faktor som om man använder avgränsningssystem från Svensk byggtjänst troligtvis ofta avgränsas bort och därför kartläggs de inte i lika stor utsträckning som poster som inte avgränsas bort i systemet BSAB. Vidare utveckling av detta borde därför fokusera på kartläggning av klimatpåverkan och undersökning av vilken påverkan installationstekniken har i byggnader i förhållande till övriga bygg- och konstruktionsdelar. I detta ingår att tillverkare tar fram data för detta, eftersom det saknas vid tillfället för studien.

Det skulle även vara av värde att genomföra en känslighetsanalys och variera olika parametrar inom rimliga intervall. I detta kan ingå att undersöka och variera byggnadens placering på olika orter, antagen livslängd, energislag/energimix samt var materialet produceras inkluderande varierande typ av transport. Vilken skillnad i utsläpp blir det mellan ett material tillverkat med kolkraft i Asien, transporterat till Sverige respektive lokalt producerat med stor andel förnybar energi.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

6 Slutsatser

Utifrån resultatet av studien dras slutsatsen att oavsett vilket material som referensbyggnadens stomme består av, är stommen den byggprojektdel som har störst klimatpåverkan i A1-A5 i den studerade byggnaden. Byggnadens stomme består främst av betong och stål vilka i detta byggprojekt är de två material som belastar klimatet mest. Det innebär att stommen och de två materialen har störst potential att påverka referensbyggnadens totala klimatpåverkan. Resultatet visar att bjälklagets klimatpåverkan minskas allra mest genom användning av hybridbjälklaget framtaget av Hedareds Sand och betong AB. Dock kan man genom att bara ändra betongrecept till Grön betong Stockholm nå nästan lika stor minskning utan att ändra bjälklagets utformning. I andra konstruktionsdelar av betong där förändring av utformningen inte är ett alternativ, exempelvis grundplattan och lägenhetsavskiljande väggar, är utbytet av till ett klimatförbättrat recept den viktigaste åtgärden, det spelar mindre roll vilken klimatförbättrad betong som väljs.

Stålet i referenshusets stomme är inte lika lättersätligt som betongen, och studiens resultat pekar istället på att genom användning av återbrukat stål finns stor potential. Absolut mest kan klimatpåverkan minskas genom att använda återbrukat stål i 100 % av stålstommen. Återbruk av stål kräver dock att det finns konstruktionsstål med rätt dimensioner och rätt egenskaper för den nya byggnaden. Varje byggprojekt är unikt på sitt sätt och att nå 100 % är förmodligen en omöjlighet inom en snar framtid. En lösning inom räckhåll är att använda återvunnet stål vars egenskaper och dimensioner går att anpassa efter behovet i byggprojektet. Enligt resultatet från studien kan återvunnet stål minska referensbyggnadens totala klimatpåverkan i A1-A5 med 9,4 % vilket är i samma storleksordning som att ersätta betongen i bjälklaget med klimatförbättrad betong.

Resultatet vid jämförelse av kombinationerna 1 och 2 visar att när de alternativa materialen presenterade i studien används, är minskningen i klimatpåverkan i A1-A3 större än minskningen som kan uppnås genom att använda material producerade med en kortare transportsträcka till byggarbetsplatsen. Klimatpåverkan i A1-A3 minskar mer än klimatpåverkan i A4. Vid valet av alternativa material i studien har alltså klimatpåverkan i A1-A3 större potential att minskas än klimatpåverkan i A4. Resultaten visar också att med de förhållandevis enkla materialutbytena i kombination 4, dvs med lättuppnåeliga alternativen utan alltför stor förändring av materialen, kan klimatpåverkan i byggskedet minskas med en dryg femtedel.

Alla de analyserade kombinationerna i studien visar på en möjlig realistisk minskad klimatpåverkan och att det finns goda möjligheter att uppnå de två första målen i byggsektorns färdplan, det vill säga att i byggnader kartlägga utsläpp till 2022 och att visa på en minskad trend i utsläpp av växthusgaser till 2025.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Slutsatserna kan således sammanfattas till:

- För att mest effektivt minska klimatpåverkan av studerade byggdelar i referensbyggnaden bör fokus ligga på att minska klimatpåverkan av stommen.
- Vid byte av betongrecept är det viktigaste för klimatpåverkan att välja en klimatförbättrad betong.
- Störst minskning av klimatpåverkan i vår studie nås genom prioritering av användning av material med låg klimatpåverkan i produktskedet framför användning av lokalt producerade material.
- Genom att använda återvunna och återbrukade material i referensbyggnaden kan väldigt stor del av klimatpåverkan ifrån produktskedet A1-A3 undvikas.
- Studien visar på att det finns goda möjligheter att uppnå de två första målen i byggsektorns färdplan. Kartläggning av utsläpp till 2022 och en minskad trend i utsläpp av växthusgaser till 2025.

7 Referenser

- Adalberth, K, Almgren, A & Holleris Petersen, E. (2001). *Life-cycle assessment of four multi-family buildings*, International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, vol. 2, pp. 1-21.
- Andersson M., Barkander J. (2015). *Carbon efficiency in residential building design – A parametric study identifying improvement possibilities*. Masteruppsats, Institutionen Byggnadsteknik. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Avståndskalkylator (2020). Avståndskalkylator: <https://sv.distance.to/> [14/04/2020].
- Baumann, H., Tillman, A-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA*. Studentlitteratur. Lund
- Boverket (2007). *Bostäder och nya ljudkrav*. Karlskrona: Boverket
- Boverket (2011). *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd*. Karlskrona Sverige. Boverket.
- Boverket (2018). *Klimatdeklaration av byggnader – Förslag på metod och regler*. Karlskrona Sverige. Boverket. (Rapport 2018:23).
- Boverket (2020). *Miljöindikatorer – aktuell status*. Karlskrona Sverige. Boverket.
- Bruksspecialisten i Väst AB (2020). *Återvunnet Tegel Produktkatalog*. Bruksspecialisten Tegel Sverige
- Dahlblom, M. (1999, 2020). *Towards sustainability with building services systems – by focusing on material choices, energy use and thermal indoor climates in residential buildings*. Lund: Lunds Unviersitet, Department of building and environmental technology, ss. 43-51
- EPD-Norge (2020). *Svensk betong*. Oslo, Norge. The Norwegian EPD Foundation.
- Energi- och klimatrådgivningen i Stockholmsregionen (2020). *Miljöpåverkan från el*. Energi- och klimatrådgivningen i Stockholmsregionen. Stockholm, Sverige.
- Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L-G., Jelse, K. (2014). *Robust LCA: Typologi över LCA-metodik - två kompletterande systemsyner*. IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm, Sverige.
- Erlandsson, M., Malmqvist, T., Francart, N., Kellner, J. (2018). *Minska klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus - LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Stockholm, Sverige.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

- Erlandsson, M (2018). *Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM 1.0 - Ett branschgemensamt verktyg*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Stockholm
- Erlandsson (2020). *Anvisningar för LCA-beräkning av byggprojekt*. IVL Svenska miljöinstitutet. Stockholm:
<https://www.ivl.se/sidor/vara-omraden/miljodata/byggsektorns-miljoberakningsverktyg/anvisningar-for-lca-berakning-av-byggprojekt.html>
[2020-06-15].
- Eurofer (2020). *How steel is made: main production routes*. Eurofer – The European Steel Association. Bryssel, Belgien.
- Europrofil (2020). *EPD articles*. Europrofil AB:
https://www.europrofil.se/produktkatalog/epd/epd_articlelist.html?fbclid=IwAR1aVF6szJDn4m2iDhq50rjOGhjRFHHwr5pW39P2g7hm0eHIE4iiAG27Aus
[2020-05-05].
- Finansdepartementet (2019). *Klimatdeklaration vid uppförande av byggnader*. Regeringskansliet Stockholm.
- Fossilfritt Sverige (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft; Bygg- och Anläggningssektorn*. Sverige:
- Fraunhofer institut (2019). *Scrap bonus – External costs and fair competition in the global value chains of steelmaking*. Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen (BDSV) Tyskland.
- Helsingborgs Stad (2018). *Klimat- och energiplan för Helsingborg 2018-2024* Helsingborg: Helsingborgs Stad.
- Holmgren, A., Nordenbro, L. (2020). *Kostnadseffektiva klimatberäkningar vid nybyggnation*. Svenska byggbranschens utvecklingsfond SBUF ID: 13 699 Sverige.
- Husson, W., Lagerqvist, O. 2018. *Återbruk av stålkomponenter – Analys av möjligheter och hinder för en ökad återanvändning idag*. SBUF. ID 13488.
- Larsson M, Erlandsson M, Malmqvist T och Kellner J. (2016) *Byggandets klimatpåverkan – Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä*, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm
- LFM 30 (2019). *Lokal färdplan Malmö 2030 - Så utvecklar vi tillsammans en klimatneutral bygg- och anläggningssektor i Malmö*. Malmö Sverige.

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M. (2015). *Byggandets klimatpåverkan – Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong*, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Paroc (2020). *Knowhow*. Paroc Group: https://www.paroc.pl/knowhow?sc_lang=en [2020-05-13].
- PartAB (2020). *Deklaration PartAB Grundstomme B*. Part by PartGroup Kalix, Sverige.
- Regeringskansliet (2020) *Klimatdeklaration för byggnader Ds: 2020:4*. Regeringskansliet, Stockholm Sverige.
- Skanska (2017) *Konsekvensanalys av klimatneutralitet Skanska Sverige 2050*. Skanska Sverige.
- Skanska (2019a). *Presentationsbilder – Grönt byggande*. Stockholm: Skanska.
- Skanska (2019b). *Skanskas gröna betong*. Skanska Sverige
- Skanska (2020). *Definition klimatneutral byggnad, version 2020*. Skanska Sverige
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (2011). *EW-bjälklag*. Borås: Sveriges tekniska forskningsinstitut.
- Stora Enso (2020). *CLT (Cross Laminated Timber), By Stora Enso*. The International EPD System. EPD International AB Sverige Stockholm.
- Stripple, H., Sternhufvud, C., Skårman, T. (2005). *Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin*. IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.
- Svensk betong (2017). *Betong och klimat – en rapport om arbetet för klimatneutral betong*. Svensk betong, Sverige.
- Svensk Byggtjänst (2020). *BSAB online*. Svensk byggtjänst: <https://byggtjanst.se/tjanster/bsab/> [26/02/2020].

Material- och utformningsval för minskad klimatpåverkan

Swedish Standard Institute (SIS) (2006), 'SS-EN ISO 14044:2006 *Miljöledning Livscykelanalys - Krav och vägledning (ISO 14044:2006)*'. Stockholm: SIS.

Swedish Standard Institute (SIS) (2010), 'SS-EN ISO 14025:2010 *Miljömärkning och miljödeklarationer – Typ III miljödeklarationer – Principer och procedurer (ISO 14025:2006)*'. Stockholm: SIS.

Swedish Standard Institute (SIS) (2011), 'SS-EN ISO 15978 *Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders miljöprestanda Beräkningsmetod (EN 15978:2011)*'. Stockholm: SIS.

Swedish Standard Institute (SIS) (2013), 'SS-EN ISO 15804 *Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklarationer Produktspecifika regler (EN 15804:2012+a1:2013)*'. Stockholm: SIS.

Thrysin, Å., Andersson, R., Ejlertsson, A., Erlandsson, M., Sandgren, A., Green, J. (2020). *Vägledning Klimatkrav vid upphandling av byggprojekt*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Stockholm.

Öresundskraft (2020). *Miljövärden*. Öresundskraft, Helsingborg, Sverige.

1 Bilagor

1.1 Avgränsning för resurssammanställningens omfattning

Resurssammanställningens omfattning av byggbölar A.1-5	0 Sammansatta byggdelar	1 Mark	2 Husunderbyggnad	3 Stomme	4 Yttertak	5 Fasader	6 Storkompletteringar/ Rumsbildning	7 Invändiga ytskikt/inskomplettering	8 Installationer	9 Gemensamma arbets/ tillfälliga råbänken	10 Övrigt
X0	00 Sammansatta byggdelar	10 Mark sammansatta	20 Husunderbyggnad sammansatta	30 Stomme sammansatta	40 Yttertak sammansatta	50 Fasader sammansatta	60 Storkomplettering sammansatta	70 Ytskikt sammansatta	80 Installationer sammansatta	90 Gemensamma arbeten	102 A5.2: Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater (energi till drivmedel m.m.)
X1	01 Demontering	11 Rövning m m i omtyta	21 (valent)	31 Väggar	41 Takstomme	51 Storkomplettering/ utfackning	61 Insidaytervägg	71 (valent)	81 (valent)	91 Gemensamma arbeten	103 A5.3: Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader (energi till uppvärmning m.m.)
X2	02 Rövning av inredning/urustening	12 Schakt/fyllning	22 Schakt/fyllning hus	32 Pelare	42 Takläggnings	52 (valent)	62 Undergolv	72 Ytskikt golv/trappor	82 Process	92 (valent)	104 A5.4: Byggprocessens övriga energivaror (som gasol och diesel för värmare och kylskåp, köpt el, fjärrvärme o.s.v.)
X3	03 Rövning av väggbjälklag/tak	13 Markförstärkning/drainering	23 Markförstärkning/drainering	33 (valent)	43 Takläggning	53 Fasadbeklädnad/ ytskikt	63 Inneväggar	73 Ytskikt vägg	83 (valent)	93 (valent)	
X4	04 Rövning övrigt	14 (valent)	24 Grundkonstruktioner	34 Bjälklag/balkar	44 Tak/et och gavlar	54 (valent)	64 Innetak	74 Ytskikt tak/undertak	84 Sanitet/värme	94 (valent)	
X5	05 Rövning för hisstrappa	15 Ledning/kulvert/kanalar	25 Kulvert/kanalar	35 (valent)	45 Öppningskomplettering/ luktulor	55 Fönster/dörrar/ portar	65 Invändiga dörrar/glaspartier	75 (valent)	85 Kylslut	95 (valent)	
X6	06 Hällgjutning/ forstärkning	16 Vägerplaner	26 Garage (som del av huset)	36 Trappor/ hiss-schakt	46 Yttertak övrigt	56 (valent)	66 Invändiga trappor	76 Våvaror	86 El	96 (valent)	105 A5.5: Övrigt tillgåverken från byggprocessen, inklusive överredning vid strängning, markskrapning, karkelansvar/ändring o.s.v.
X7	07 (valent)	17 Trädgård	27 Platta på mark	37 Samverkan takstomme	47 Terrasser/allanor (på yttertak)	57 (valent)	67 (valent)	77 Slep och inredningsinbuds	87 Transport	97 (valent)	
X8	08 Provisorier	18 Markrustning	28 Huskomplettering grund	38 Huskomplettering ering stomme	48 Huskomplettering glastak	58 Huskomplettering g fasader	68 Storkomplettering övrigt	78 Rumskomplettering övrigt	88 Stry/regler	98 (valent)	
X9	09 (valent)	19 Mark övrigt	29 Husunderbyggnad övrigt	39 Stomme övrigt	49 Plåtarbete	59 Ytterväggar övrigt	69 Rumsbildning övrigt	79 Rumskomplettering övrigt	89 Installationer övrigt	99 (valent)	

1.2 Beräkning av sammanställt GWP-värde för HDF-bjälklag.

GWP-värden för HDF-betong är oftast högre än GWP-värden för endast betong. Detta är för att den innefattar en viss andel armering. För att ersätta HDF-betong med andra sorters betong valdes att bibehålla volymen betong som används i ett HDF-bjälklag av samma mått. Relationen mellan luft, betong och armering utgår ifrån HDF-bjälklag redovisade i Strängbetongs EPD (NEPD-1713-696-SE).

För att beräkna volymen betong för en kvadratmeter HDF-bjälklag beräknas hålrumsvolymen med hjälp av kunskap om densitet och viktskillnaden (Δm) mellan massivbjälklag och HDF-bjälklag av samma dimensioner.

$$Volym, V = \frac{massa, m}{densitet, \rho}$$

Massan för ett massivbjälklag beräknas enligt ekv. Xx med en antagen betongdensitet på 2400 kg/m³.

$$m_{massiv} = 1 \cdot 1 \cdot Höjd \cdot densitet$$

$$Hålrumsvolym \text{ per kvadratmeter} = V_{hål} = \frac{\Delta m}{\rho_{btg,2400}}$$

Med en given hålrumsvolym beräknas betongvolymen enligt:

$$V_{btg} = V_{massiv} - V_{hål} = 1 \cdot 1 \cdot Höjd - \frac{\Delta m}{\rho_{btg,2400}}$$

Typ	Höjd	Kg armering/ton	Kg CO ₂ -e / ton	Håldäck ton/m ² , m_{HDF}	Kg CO ₂ -e/m ²
HDF27	270	12,7	136,3	0,344	46,9
HDF38	380	17,1	140,9	0,446	62,8

Figur 1. Relation mellan armeringsmängd och betong för strängbetongs HDF-bjälklag enligt NEPD-1713-696-SE.

Figur 1 visar antal kg armering per ton bjälklag, vilket räknas om till viktsprocent ($\%_{armering}$) genom att multiplicera med 10^{-1} . För att ta reda på armeringens massa ($m_{armering}$) per kvadratmeter och sedan bjälklagets totala massa per kvadratmeter beräknas följande:

$$\begin{aligned} \text{Betongmassa per kvadratmeter} &= m_{btg} = V_{btg} \cdot \rho_{btg} \\ \%_{btg} &= 1 - \%_{armering} \end{aligned}$$

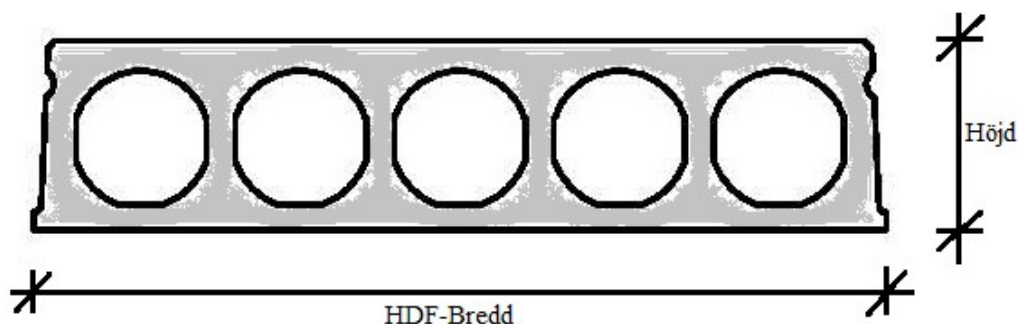
$$m_{armering} = \%_{armering} \cdot \text{total massa} = \%_{armering} \cdot (m_{btg} + m_{armering})$$

Med lite omvandling av formeln:

$$m_{armering} = \frac{m_{bt} \cdot \%armering}{1 - \%armering}$$

$$m_{total} = m_{btg} + m_{armering}$$

När vikten av både betong och armering är känt var för sig kan de läggas in i BM och mappas till respektive material. Det lägre GWP-värdet för endast betongen kompenseras då separat med en armeringspost med högre GWP-värde.



Figur 2. Strukturskiss av ett HDF-bjälklag. Källa: <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/produktredovisning/komponenter-till-hus-och-anlaggning/dackelement>

Bjälklag	Höjd [m]	Kg / m ²	Viktandel armering [%]	Volym betong per m ²
HDF27	0,27	344	1,27	0,143
HDF38	0,38	446	1,71	0,186

Figur 3. Beräknad betongvolym per kvadratmeter HDF-bjälklag

HDF27	Betongdensitet [kg/m ³]	Kg material per m ² HDF-bjälklag
Grön betong – Göteborg Bjälklagsbetong	2412	345,72
Armering		4,45
Grön betong – Stockholm Bjälklagsbetong	2382	341,42
Armering		4,39
Svensk Betong Håldäcksbjälklag	2430	348,3
Armering		4,48
Svensk Betong Bjälklag inomhus klimatförbättrad betong	2350	336,83
Armering		4,33
Sydsten Bjälklag, grund och källarkonstruktioner	2390	342,57
Armering		4,41

HDF38		
Grön betong – Göteborg Bjälklagsbetong	2412	448,23
Armering		7,80
Grön betong – Stockholm Bjälklagsbetong	2382	442,655
Armering		7,70
Svensk Betong Håldäcksbjälklag	2430	451,575
Armering		7,86
Svensk Betong Bjälklag inomhus klimatförbättrad betong	2350	436,71
Armering		7,60
Sydsten Bjälklag, grund och källarkonstruktioner	2390	444,14
Armering		7,69

Figur 4. Beräknad massa per kvadratmeter HDF beroende av vilken betong som används.

1.3 Sammanställning av EPD

	EPD-nummer	Benämning	Ägare av EPD	Utgivningsår	Länk	
Betong	NEPD-1717-700-SE	Grön Betong	Skanska Sverige AB	2019	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1310043-1565679327/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1717-700_Gr--n-betong.pdf	
	NEPD-1298-419-SE	Betong för håldäcksbjälklag (HD/F)	Svensk Betong	2017	https://www.epd-norge.no/getfile.php/131268-1490684157/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1298-419_Betong-f-r-h--ljl--klag.pdf	
	NEPD-1296-419-SE	Betong för bjälklag inomhus, standard	Svensk Betong	2017	https://www.epd-norge.no/getfile.php/131262-1490683923/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1296-419_Betong-f-r-bj--lklag-inomhus--standard.pdf	
	NEPD-1297-419-SE	Betong för bjälklag inomhus, klimatförbättrad	Svensk Betong	2017	https://www.epd-norge.no/getfile.php/131265-1490684061/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1297-419_Betong-f-r-bj--lklag-innomhus--klimatf--rb--ttrad.pdf	
	NEPD-2134-965-SE	Klimatförbättradbetong för husbyggnadsändamål	AB Sydsten	2020	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313171-1587036855/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-2134-965_Klimatforbatttrad-betong-for-husbyggnad.pdf	
	NEDP-1713-696-SE	Håldäcksbjälklag (HD/F)	Strängbetong	2019	https://cdn.strangbetong.se/wp-content/uploads/2019/05/20152337/EPD_H%C3%A5ld%C3%A4ck_21022019.pdf	
	EPD-RW1-20190050	Stone wool thermal insulation	Rockwool	2019	http://media.byggjeneste.no/media/dokument/701178	
Isolering	NEPD-2074-936	Regelisolering, lambda 0,037	Isover Saint-Gobain	2020	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1312605-1583069525/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-2074-936_Regelisolering-lambda-0-037.pdf	
	NEPD-2080-940	InsulSafe	Isover Saint-Gobain	2020	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1312739-1583496199/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-2080-940_Insulsafe%281%29.pdf	
	S-P-01752	Glass mineral wool insulation λ 0.034 - 0.035 W/mK	Knauf Insulation	2020	https://pim.knaufinsulation.com/files/download/s-p-01752_epd_glass_mineral_wool_insulation_0.034_-_0.035_wmk.pdf	
	S-P-01756	Blowing wool insulation λ 0.037 - 0.042 W/mK	Knauf Insulation	2020	https://pim.knaufinsulation.com/files/download/s-p-01756_epd_blowing_wool_insulation_0.037_-_0.042_wmk_.pdf	
	NEPD-2135-966-EN	Norgips Standard type A (STD)	Norgips	2020	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313203-1587452898/EPDer/Byggevarer/Byggningsplater/NEPD-2135-966_Norgips-Standard-type-A--STD-.pdf	
Gips	NEPD-354-246-EN	Knauf Danogips Classic Board	Knauf	2015	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1315642-1468874914/EPDer/Byggevarer/Byggningsplater/NEPD-354-246-EN_Classic-Board.pdf	
	NEPD-1260-406-EN	Gyproc® Normal – Standard Plasterboard	Gyproc Saint Gobain	2017	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1317103-1488124980/EPDer/Byggevarer/Byggningsplater/NEPD-1260-406_Gyproc--Normal---Standard-Plasterboard.pdf	
	NEPD-1928-851-SE	Prefabricerade stålkonstruktioner	Contiga Heidelberg Cement Group	2019	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311591-1573811642/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-1928-851_Prefabricerade-stalkonstruktioner.pdf	
Stål	NEPD-1630-643-EN	Generic EPD steel structures	Nortal steel structur	2018	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1315919-1469037921/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-1630-643_steel-structures.pdf	
	NEPD-00287E	Steel structure	Skonto Prefab	2014	https://www.epd-norge.no/getfile.php/139294-1551176313/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-00287E_Steel-Structure.pdf	
	NEPD-325-205-EN	Welded and coated trusses and beams made of cold-formed structural tubes and sections	Rukki	2015	https://www.epd-norge.no/getfile.php/135390-1468491910/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-325-205_Welded-and-coated-trusses-and-beams-made-of-cold-formed-structural-tubes-and-sections.pdf	
	NEPD-402-281-EN	Steel structures	UPB	2016	https://www.epd-norge.no/getfile.php/135898-1469025396/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-402-281-EN_Steel-structures.pdf	
	EPD-ARM-20170033	Histar Steel Sections	Arcelor Mittal	2017	https://constructalia.arcelormittal.com/files/EPD-ARM-20170033-Sections_in_HISTAR_EN--2464068373d83c012c35ae5bfe4855b1.PDF	
	EPD-BFS-20180116	Structural Steel: Sections and Plates	Bauforum Stahl	2018	https://bauforumstahl.de/fileadmin/user_upload/bauforumstahl.de/wissen/nachhaltigkeit/EPD-BFS-20180116-IBG2-EN.pdf	
	NEPD 00252E	I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections	Norsk Stålforbund	2014	Saknas	
	S-P-00537	Light gauge steel profiles and assembly products	Europrofil	2015	https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/10042/epd537%20Europrofil%20Light%20gauge%20steel%20profiles%20and%20assembly%20products.pdf	
	NEPD-1702-693-NO	Stålprofil til innervegg	Norgips	2019	https://www.epd-norge.no/getfile.php/139904-1550569899/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-1702-693_C70dB-.pdf	
	NEPD-1705-693-NO	Stålprofiler med gummipakning	Norgips	2019	https://norgips.no/assets/planningpdfs/EPD/NEPD-St%C3%A5lprofil-skinne-med-gummipakning-UT.pdf	
	Tegel	MD-16007-EN	Used bricks machine cleaned, handpicked	Gamle Mursten ApS	2017	http://epddanmark.dk/media/1029/md-gamle-mursten-16007-en.pdf
		MD-14003-EN_rev1	Bricks: RT Ultima 150, RT 550 Unika	Randers Tegl A/S	2014	http://www.epddanmark.dk/media/1040/md-randers-tegl-14003-en_rev1.pdf

1.4 GWP-beräkning av Våtrumsmodul

Beräkningen av våtrumsmodulernas klimatpåverkan utgår ifrån PartABs byggvarudeklaration för grundstommen av deras våtrumsmoduler. Ingående material och dess mängder och sammanställs i en lista fördelas över motsvarande BM-resurser med klimatpåverkan. För några material finns inte en motsvarande materialresurs i BMs gratisversion och ett nyckeltal för materialet tas utifrån en redan utförd klimatdeklaration från Skanskas. När flera olika material motsvaras av samma resurs i BM adderas materialens vikt.

Alla ingående material/komponent	Vikt-%	Mapping i BM	Sammalagd vikt-%	GWP [kg CO ₂ e/kg material]	GWP [kg CO ₂ e/kg modul]
Alu/zinkbelagd stålplåt	20,6	plåt detaljer, aluzink (IVL LCR)	20,60	2,427	0,500
Struktur polyesterplåt (galvaniserat stål)	3,5	Konstruktionsstål, galvad (IVL LCR)	3,50	1,795	0,063
Stål	4,4	Rostfritt stål, ospecificerat (IVL LCR)	4,40	2,579	0,113
Armering (98,76 % järn)	1,8	Armering, skrotbaserat (IVL LCR)	1,80	0,521	0,009
Gips	11,1	Gipsskivor, kartonggipsskivor ospecificerat (IVL LCR)*	11,10	0,291	0,032
Lim [sika proline]	0,12	Trällim/vitlim, PVAC (IVL LCR)*			
Lim 2 komp [sika flex-950]	1,73	Trällim/vitlim, PVAC (IVL LCR)*	2,26	1,829	0,041
Lim [casco superflex]	0,08	Trällim/vitlim, PVAC (IVL LCR)*			
Lim 2 komp [Schönox ifix]	0,33	Trällim/vitlim, PVAC (IVL LCR)*			
Fästmassa [Schönox Q4]	2,1	Cement, standard portlandcement (torrbruk)	2,10	0,819	0,017
Fog	0,8	Fogmassa, silikon (IVL LCR)*	0,88	1,829	0,016
Silicon	0,08	Fogmassa, silikon (IVL LCR)*			
Färg	0,08	Fasadfärg utomhus, alkyd (IVL LCR)	0,08	0,255	0,000
Betong [SH Slite Portlandcement]	52,6	Ospecificerat Husbyggnadsbetong (410 kg bindemedel/m3)	52,60	0,141	0,074
Tätstudsduk	0,25	Plastfolier (IVL LCR)			
Plast Polypropylen Brunsmanchett MG	0,02	Plastfolier (IVL LCR)			
Plats Polypropylen Tätband butyl	0,1	Plastfolier (IVL LCR)	0,47	1,809	0,009
Plast Polypropylen inner/ytterhörn	0,05	Plastfolier (IVL LCR)			
Plast Polypropylen rörmanchett MP	0,05	Plastfolier (IVL LCR)			
				Summa:	0,875

Figur 5. Materialsammansättning våtrumsmodul grundstomme.

* Material med GWP-värden tagna från aktuella nyckeltal vid tiden för studien.

Beräkningen för klimatpåverkan per kg våtrumsmodul utförs i Excell och läggs in som en post i BM. Referensbyggnaden innehåller 54 våtrumsmoduler och vardera väger 1212kg.

1.5 Resurssammansättning Referensbyggnad



Klimatredovisning: Klimatkalkyl referensbyggnad

Baserat på metodik enligt EN 15804 och EN 15978

Beräkning utförd med Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg version BM1.0

Generell information

Ägare till deklARATIONEN Christian Mattsson
Deklarationen utförd av Elias Odell
Kontaktperson
Kontaktuppgifter
Deklarationen publicerad

Projekbeskrivning

Projektnamn Klimatkalkyl referensbyggnad Fastighetsbeteckning
Adress Postnummer Ort
Typ av byggnadsverk Vård- och omsorgsbyggnad
Huvudsaklig hustyp Byggnad med både bostad och lokaler
Typ av byggprojekt Nybyggnad Ursprungligt byggnadsår

Projektbeskrivning

Detta är klimatkalkylen som används som grundnivå utan utförda åtgärder

Metodval

Jämförbarhet mellan olika byggnadsvek kräver samma omfattningen, hög datatäckning och att miljöpåverkan från användnings- och slutskedet är likvärdiga.

Systemgränser																
A Byggskedet					B Användningsskedet							C Slutskedet				D Utanför systemgränsen
Produktskedet			Byggproduktionsskedet		Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Ombyggnad	Driftsenergi	Driftens vattenanvändning	Demontering, rivning	Transport	Restprodukthantering	Bortskafning	
Råvaruförskörning	Transport	Tillverkning	Transport	Bygg- och installationsprocessen												
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X			X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

Teckenförklaring: X = modulen ingår, MND = modulen ingår inte

Följande delar ingår i A5:

- X A5.1 Spill, emballage och avfallshantering
- X A5.2 Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater
- X A5.3 Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader
- X A5.4 Byggprocessens övriga energivaror (som gasol och diesel för värmare och dyligt, köpt el, fjärrvärme o.s.v.)
- X A5.5 Övrigt miljöpåverkan från byggprocessen, inkluderar övergödning vid sprängning, markexploatering, kemikalieanvändning o.s.v.

Datatäckning A1-A3 inklusive spill(cut off)

0% Andel av byggresurssammställningens resurser som ingår i miljöberäkningen, kr/kr totalt, givet som kostnads-%.

100% Andel av byggresurssammställningens resurser som ingår i miljöberäkningen, kg/kg totalt, givet som vikt-%

Klimatredovisning: Klimatkalkyl referensbyggnad

Baserat på metodik enligt EN 15804 och EN 15978

EPDer, egna miljödata och specifika transporter som ersätter generella data, A1-5 Bygskedet, eget val

Miljövarudeklaration (EPD)	kg CO ₂ e	Ersatt generiska data	kg CO ₂ e	klimatreduktion, %
Fönsterbänk från nyckeltal rätt	391,6596	Fönsterbänk från nyckeltal rätt	391,6596	0
Formolja från nyckeltal	2,9958	Formolja från nyckeltal	2,9958	0
Formolja från nyckeltal	3,755	Formolja från nyckeltal	3,755	0
Formolja från nyckeltal	0,1949	Formolja från nyckeltal	0,1949	0
Formolja från nyckeltal	0,041	Formolja från nyckeltal	0,041	0
Kakel för exjobb	730,0593	Kakel för exjobb	730,0862	0
Kakel för exjobb	730,0862	Kakel för exjobb	730,0862	0
Klinker från nyckeltal	44,8867	Klinker från nyckeltal	44,8585	0
Klinker från nyckeltal	44,8585	Klinker från nyckeltal	44,8585	0
Klinker från nyckeltal	535,388	Klinker från nyckeltal	535,4077	0
Klinker från nyckeltal	535,4077	Klinker från nyckeltal	535,4077	0
Klinker från nyckeltal	217,0572	Klinker från nyckeltal	217,0572	0
Klinker från nyckeltal	217,0572	Klinker från nyckeltal	217,0572	0
Klinker från nyckeltal	32,5586	Klinker från nyckeltal	32,5586	0
Klinker från nyckeltal	21,7057	Klinker från nyckeltal	21,7057	0
Klinker från nyckeltal	10,8529	Klinker från nyckeltal	10,8529	0
Klinker från nyckeltal	10,8529	Klinker från nyckeltal	10,8529	0
Plastmatta Tarkett Safe T	39572,9902	Plastmatta Tarkett Safe T	39460,0818	0
Plastmatta Tarkett Safe T	2992,6228	Plastmatta Tarkett Safe T	2984,0843	0
Ståltrappa från nyckeltal	3893,1266	Ståltrappa från nyckeltal	3881,7056	0
Takplåt, förzinkad	367,3019	Takplåt, förzinkad	366,2606	0
träd, buskar och växter	34,4081	träd, buskar och växter	49,8828	31
träd, buskar och växter	946,2229	träd, buskar och växter	1371,7763	31
Våtrummodul EPD	66635,0034	Våtrummodul EPD	60424,9028	-10

Eget transportsenario	kg CO ₂ e	Transport kopplat till generisk resurs	kg CO ₂ e	klimatreduktion, %
Våtrummodul EPD	9336,1572		3112,0524	-200
Betong SKB C28/35 vct= < 0.60	1511,0059		5828,1655	74
Betong C20/25 S4 vct=0.79 stenmax 16n	1036,0955		3996,3683	74
Avjämningsmassa TM Express K tj= 8mm	791,4793		633,1834	-25
Plastmatta Tarkett Safe T	677,4506		564,5421	-20
träd, buskar och växter	425,5535		851,107	50
Betong C25/30 S4 vct=0.68	103,8492		400,5612	74
Ståltrappa från nyckeltal	97,011		85,59	-13
Betong C25/30 S4 vct=0.68	58,4751		225,5468	74
Plastmatta Tarkett Safe T	51,2308		42,6923	-20
Betong C25/30 S4 vct=0.68 stenmax 16n	26,3617		101,6809	74
Armeringstillbehör stål Ø 8mm	21,1122		14,0748	-50
träd, buskar och växter	15,4747		30,9493	50
Armeringstillbehör stål Ø 12mm	13,1238		9,8429	-33
Betong C28/35 S4 vct=0.60	11,5033		44,3699	74
Takplåt, förzinkad	9,1535		8,0759	-13
Formvirke platta h= 200mm	5,8297		2,429	-140
Komplettering till trappa tillägg Handled.	4,9146		1,3652	-260
Ståldörr Daloc S 20/30 tgg fasad anslags	3,9312		2,457	-60
Betong SKB C28/35 vct= < 0.60	3,3551		12,9412	74
Betong C20/25 S4 vct=0.79	3,2752		12,6331	74
Armeringstillbehör stål Ø 8mm	2,2824		1,5216	-50
Armeringstillbehör stål Ø 12mm	1,7118		1,5216	-12
Formvirke platta h= 200mm	1,2631		0,5263	-140
Betong C25/30 S4 vct=0.68	0,7988		3,0812	74
Ståldörr Daloc S 20/30 tgg fasad anslags	0,1986		0,1241	-60
Betongelement trappa tillägg smide räck	0,1712		0,0951	-80
Ståldörr Daloc S 20/30 tgg fasad anslags	0,1191		0,0745	-60
Ståldörr Daloc S 20/30 tgg fasad anslags	0,1191		0,0745	-60

Egna resurser	kg CO ₂ e	(resursens miljöprestandas används även i det egna branschscenariot vid jämförelse)
---------------	----------------------	---

Bygg och installationprocessen, A5.2-A5.5

Kalkylresurs eget namn	Kalkylresursens SBE namn	Vikt, kg	Klimatpåverkan, kg CO ₂ e
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		2918,16
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2575,9
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2575,9
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2575,9
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2575,9
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2575,9
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2491,07
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2491,07
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2491,07
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2329,11
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		2320,63
Tillfällig elförbrukning arbetsplats	Tillfällig elförbrukning arbetsplats		2120,88
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		2084,4
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		1931,54
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		1764,79
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		1611,94
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		1389,6
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		1167,26
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		1019,97
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		541,94
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		516,93
Fjärrvärme omvandling Hbg	Fjärrvärme omvandling Hbg		514,15
Tillfällig vattenförbrukning	Tillfällig vattenförbrukning	3860	183,54
Armeringsmaskiner	Armeringsmaskiner	3860	0
Armeringsmaskiner	Armeringsmaskiner	3860	0
Bearbetningsmaskiner	Bearbetningsmaskiner	3860	0
Belysningsmast stativ höjd <5m	Belysningsmast stativ höjd <5m	396	0
Betongbehandlingsmaskiner	Betongbehandlingsmaskiner	3860	0
Betongpump M42 grundavgift	Betongpump M42 grundavgift	11,7	0
Betongpump M42 timdebitering	Betongpump M42 timdebitering	58,5	0
Betongpump M42per pumpad m ³	Betongpump M42per pumpad m ³	585	0
Betongpump Rot-pump grundavgift	Betongpump Rot-pump grundavgift	0,08	0
Betongpump Rot-pump per pumpad m ³	Betongpump Rot-pump per pumpad m ³	4	0
Betongpump Rot-pump timdebitering	Betongpump Rot-pump timdebitering	0,4	0
Blandarstation	Blandarstation	165,6	0
Bygghiss dubbelkorg lyfthöjdtillägg 1,5m	Bygghiss dubbelkorg lyfthöjdtillägg 1,5m	303	0
Bygghiss dubbelkorg nyttolast < 3200kg	Bygghiss dubbelkorg nyttolast < 3200kg	303	0
Bygghiss dubbelkorg tillägg betongfunda	Bygghiss dubbelkorg tillägg betongfundament	303	0
Bygghiss kuggstång etablering och aveta	Bygghiss kuggstång etablering och avetablering	2	0
Bygghiss kuggstång service	Bygghiss kuggstång service	13,98	0
Glättningsmaskin 600mm	Glättningsmaskin 600mm	1	0
Glättningsmaskin planskiva	Glättningsmaskin planskiva	1	0
Grm band 1,10m3, 24,6 ton	Grm band 1,10m3, 24,6 ton	200	0
Grm band 1,10m3, 24,6 ton	Grm band 1,10m3, 24,6 ton	200	0
Hetvattenaerotemper 35kW	Hetvattenaerotemper 35kW	396	0
Hetvattenstamledning (tur och retur) he	Hetvattenstamledning (tur och retur) hetvattenslang, koppling	6415,2	0
Hjullastare 1,00m3, 5,50 ton	Hjullastare 1,00m3, 5,50 ton	57	0
Huvudcentral 25/32A	Huvudcentral 25/32A	1512	0
Huvudcentral 630A	Huvudcentral 630A	378	0
Huvudcentral 63A	Huvudcentral 63A	378	0
Luftrenare med joniseringsteknik 400m ³	Luftrenare med joniseringsteknik 400m ³	756	0
Maskiner, redskap och utrustning för los	Maskiner, redskap och utrustning för lossning	15440	0
Mil-kostnad Installationer , reparation o	Mil-kostnad Installationer , reparation och underhåll	25	0
Mil-kostnad Installationer , reparation o	Mil-kostnad Installationer , reparation och underhåll	40	0
Mobilkran 70ton etablering	Mobilkran 70ton etablering	4	0
Mobilkran 70ton hyra 1-49tim	Mobilkran 70ton hyra 1-49tim	193	0
Skyltbelysning	Skyltbelysning	756	0
Skyltbelysning	Skyltbelysning	756	0
Stavvibrator valv l= 0,9-1,2m omformare	Stavvibrator valv l= 0,9-1,2m omformare	1	0
Teleskoptruck höjd 7-13m	Teleskoptruck höjd 7-13m	900	0
Tillfällig EI- och VA-utrustning	Tillfällig EI- och VA-utrustning	3860	0
Tillfällig EI- och VA-utrustning	Tillfällig EI- och VA-utrustning	50	0
Tillfällig EI- och VA-utrustning	Tillfällig EI- och VA-utrustning	3860	0
Tillfällig EI- och VA-utrustning	Tillfällig EI- och VA-utrustning	3860	0
Tillfällig vattenförbrukning depositionsav	Tillfällig vattenförbrukning depositionsavgift	1	0
Tillverknings- och sorteringsmaskiner	Tillverknings- och sorteringsmaskiner	3860	0
Tim-kostnad Installationer , reparation o	Tim-kostnad Installationer , reparation och underhåll	1,75	0
Tim-kostnad Installationer , reparation o	Tim-kostnad Installationer , reparation och underhåll	80	0
Tornkran stationär r=45m h=15m	Tornkran stationär r=45m h=15m	195,03	0
Tornkran stationär tillägg mast-höjd	Tornkran stationär tillägg mast-höjd	6045,93	0

Tornkranförare	Tornkranförare	1560,24	0
Torrbruksbehållare TB 10	Torrbruksbehållare TB 10	165,6	0
Torrbruksbehållare TB 10 säcktömmare	Torrbruksbehållare TB 10 säcktömmare	165,6	0
Torrbruksbehållare TB 10 stativ	Torrbruksbehållare TB 10 stativ	165,6	0
Undercentral 16A utan skåp	Undercentral 16A utan skåp	1512	0
Undercentral 250A	Undercentral 250A	756	0
Undercentral 63A	Undercentral 63A	378	0
Undercentral 63A	Undercentral 63A	378	0
Utrustning för länshållning	Utrustning för länshållning	7720	0

Klimatredovisning: Klimatkalkyl referensbyggnad

Baserat på metodik enligt EN 15804 och EN 15978

Resurssammanställning (exklusive transporter inklusive spill), A1-5.1

Kalkylresurs eget namn	Kalkylresursen	Spill, %	Eget spill, %	Vikt, kg	Energi, MJ	Klimatpåverkan, kg CO2e
Håldäck HDF 120/27	HD/F hålbjälklag (IVL LCR)		2	1101489,6		201572,6
UE- Stålstomme	Konstruktionsstål, obelagd (t)		5	106150		181728,8
Betongelement lägenhetsskiljande vägg	Ospecificerad husbyggnadsbetong		5	648480		91435,68
Våtrumsmodul EPD	Våtrumsmodul	5	0	65448		57298,85
Betong SKB C28/35 vct= < 0.60	Husbyggnadsbetong (vct 0,6)		10,71	453960		50389,56
Plastmatta Tarkett Safe T	Plastmatta Tar	5	5	11872,6		38893
Undertak 40mm Sonar Activity A24 600x600	Ljudabsorbent, bullerskiva, a		4,76	22209,6		37201,08
Fasadtegel Rött slätt 250x120x62mm	Mark och-murtegel (IVL LCR)		4,76	169453,44		36432,49
Slitsad regel CY 195-1,0	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	14032,86		34057,76
Betong C20/25 S4 vct=0.79 stenmax 16mm	Husbyggnadsbetong (vct 0,7)		10,71	311280		30505,44
Håldäck HDF 120/38	HD/F hålbjälklag (IVL LCR)		2	162027,36		29651,01
Mur & Putsbruk B	Fasadputs (IVL LCR)		4,76	144540		28897,34
Ståldörr Daloc S20 A60/30dB 1800x2100	Ståldörrar, brandklassad (IVL LCR)		0	7920		25977,6
100mm cellplast Rak kant 60 kPa / 0,041	Cellplast, expanderad polystyren		6,54	6431,1		25081,29
Träfönster alum 3-glas horisontal 1500x1500	Fönster, trä, tre glas (IVL LCR)		5	26937		22357,71
Träfönster alum 3-glas horisontal tgg U 1500x1500	Fönster, trä, tre glas (IVL LCR)		5	26937		22357,71
UE- Kompletteringssmide	Konstruktionsstål, obelagd (t)		5	12738		21807,46
Betongelement bjälklag massivbjälklag tj=120mm	Ospecificerad husbyggnadsbetong		5	117189,6		16523,73
Gipsskiva 12,5mm standard 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivor		13,04	53239,68		14464,09
Mineralull 195mm stålregelsskiva 1390-00	Stenull (IVL RR)		6,54	11957,4		14229,31
Mineralull 30mm underskiva 134-00	Stenull (IVL RR)		6,54	7392,6		8797,19
Undertaksplatta direktlimmad inkl skugg	Ljudabsorbent, bullerskiva, a		5	4997,16		8370,24
Slitsad skena UY 195/60-1,0	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	3409,28		8274,33
Mineralull 45mm klimatskiva 600 1326-00	Stenull (IVL RR)		6,54	6898,5		8209,22
Ljudregel CSP+ 70-0,5	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	3293,35		7992,97
Armeringsnät FS8100	Armeringsnät mm (IVL LCR)		5,66	11361,61		6583,52
Slitsad regel CY 195-1,5	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	2506,46		6083,17
Fibercementskiva Normal tj= 12mm 1200x600	Fibercementskivor (IVL LCR)		13,04	14520		5999,85
Tätskikt 2-lag Icopal Top & Base KL yta 1000x1000	Ytpapp, ospecificerat (IVL LCR)		5	8898,5		5743,58
Gipsskiva 12,5mm standard 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivor		13,04	20498,4		5568,98
Undertak foglist T 8555 vit l= 3600mm	Ståltreppor (IVL LCR)		4,76	2022,66		4909
Gipsskiva 12,5mm standard 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivor		13,04	17409,6		4729,82
Ståltreppor påsalningsprofil PZ 45-0,7	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	1752		4252,1
Gipsskiva 9.5mm vindsydd 1200mm	Gipsskivor, kartonggipsskivor		13,04	14979,6		4069,64
Regel C 45-0,5	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	1590,3		3859,66
Ståltreppor från nyckeltal	Ståltreppor från	5	5	1800		3795,73
Avjämningsmassa TM Express K tj= 8mm	Golvavjämning, flytspckel		5	16645,2		3661,94
Bistål 37R rostfritt stegarmering	Rostfritt stål, ospecificerat (IVL LCR)		4,76	1379,7		3558,25
Gipsskiva 12,5mm standard 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivor		16,67	12767,04		3468,53
Mineralull 45mm stålregelsskiva 1390-00	Stenull (IVL RR)		6,54	2759,4		3283,69
Betong C25/30 S4 vct=0.68	Husbyggnadsbetong (vct 0,6)		10,71	31200		3244,8
Gipsskiva 15,5mm brandgips 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivor		16,67	10843,2		2945,87
Plastmatta Tarkett Safe T	Plastmatta Tar	5	5	897,84		2941,2
Tvåloppstrappa inkl ytskikt	Trappor och balkonger (IVL LCR)		2	14000		2926
Regel C 70-0,5	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	1201		2914,83
Rostfritt hörnlist 50x50x1000	Rostfritt stål, ospecificerat (IVL LCR)		10	1022,58		2637,23
Aluminiumpartier Skjutpartier 4200x2400mm.						
Kontorshus	Aluminiumdörrar, -glaspartier		0	452		2566,91
Undertak akustiklim	Plastfolier (IVL LCR)		4,76	1308,78		2368
Undertak kantprofil U 8556 vit l= 2400mm	Ståltreppor (IVL LCR)		4,76	892,35		2165,73
Regel C 70-0,5	Ståltreppor (IVL LCR)		10,71	884,02		2145,52
Mineralull 45mm stålregelsskiva 1390-00	Stenull (IVL RR)		6,54	1791,72		2132,15
Klädskåp 1x2st dubbel KLS 321 stål	Plåt detaljer, målad (IVL LCR)		10	960		2005,91
Distansvinkel DV 20 tj= 200mm	Plastfolier (IVL LCR)		5	1095		1981,2
Smygbräda 16x125mm målad MDF inkl papp	Skivmaterial övrigt, MDF (IVL LCR)		4,76	3153,6		1949,62
Byggpapp klisterkant YEP 2200	Underlagspapp bitumen (IVL LCR)		13,79	3011,8		1943,98
Formvirke platta h> 400mm	Furu/gran, hyvlad & sågad, 4		10	34529		1899,1
Betong C25/30 S4 vct=0.68	Husbyggnadsbetong (vct 0,6)		10,71	17568		1827,07

Mineralull 70mm väggskiva 1308-00	Glasull (IVL LCR)		6,54	1384,46		1730,58
Plåtbeslag fz lack plåtlist kb= 100mm	Plåt detaljer, målad (IVL LCR)		10	777,23		1624,02
Skena torr fogtätning UT-4 70/55-0,5 h=	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	636,84		1545,62
Sakvaror	Elförzinkad spik, skruv och b		5	1003,6		1477,58
Mineralull 45mm stålregelskiva 1390-00	Stenull (IVL RR)		6,54	1171,8		1394,44
Ståldörr Daloc S 60 A60 1000x2100mm	Ståldörrar, brandklassad (IVL)		0	400		1312
Ståldörr Daloc S20 A60/30dB 1000x2100	Ståldörrar, brandklassad (IVL)		0	400		1312
Undertak 40mm Sonar Activity A24 600x	Ljudabsorbent, bullerskiva, a		4,76	772,8		1294,44
Plåtbeslag fz lack fönsterbleck kb= 200m	Plåt detaljer, målad (IVL LCR)		10	597,87		1249,24
Regel C 70-0,5	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	484,28		1175,34
Nock- takfotsräcke räckerör Ø 27mm l=	Rostfritt stål, ospecificerat (I		10	412,5		1063,84
Stålreglar påsalningsprofil PU 45-0,7	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	438		1063,03
Lagningsmassa fin sten 0.25mm	Fasadputs (IVL LCR)		9,09	4439		887,47
Betong C25/30 S4 vct=0.68 stenmax 16n	Husbyggnadsbetong (vct 0,6		10,71	7920		823,68
Råspontlucka 23x540mm	Furu/gran, hyvlad & sågad, 4		10,71	14893,35		819,13
Skena U 45/55-0,5 h= 52mm	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	332,48		806,92
Ståldörr Daloc S20 A60/30dB 1000x2100	Ståldörrar, brandklassad (IVL)		0	240		787,2
Ståldörr Daloc S33 A60/35dB 1000x2100	Ståldörrar, brandklassad (IVL)		0	240		787,2
Virke råspontlucka gran tgg grundmålning	Furu/gran, hyvlad & sågad, 4		10,71	14245,81		783,52
Plastfolie åldersbeständig tj= 0.20mm	Plastfolier (IVL LCR)		16,67	414,35		749,69
Skyddstäckning träfiberskivor tj= 3.0mm	Träfiberskivor, HDF, hård bo		10	2214		659,49
Tätningslist 175mm s-list XSS 001	Tätningslist, allmänt (EPDM)		9,09	168,19		649,16
Skena U 70/55-0,5 h= 52mm	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	265,98		645,53
Kakel för exjobb	Kakel för exjob	5	4,76	2625		604,71
Kakel för exjobb	Kakel för exjob	5	5	2625		604,71
Överkantstege höjd = 40mm	Armering, galvad (IVL LCR)		5,66	617,86		571,28
Inspektionslucka TS-EI30 400x400mm	Plåt detaljer, målad (IVL LCR)		10	270,6		565,42
Butyl- & Bitumenprimer för tätning	Tätningslist, allmänt (EPDM)		5	142,17		548,72
Butylband Fiber 1,5x150mm	Tätningslist, allmänt (EPDM)		4,76	141,99		548,05
U-element 1200x550/500/300mm	Cellplast, expanderad polyst		2,91	134,24		523,55
träd, buskar och växter	träd, buskar oc	5	5	17899,2		516,84
Skena U 70/55-0,5 h= 52mm	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	195,78		475,16
Plastfolie åldersbeständig tj= 0.20mm	Plastfolier (IVL LCR)		16,67	259,01		468,64
Klinker från nyckeltal	Klinker från ny	5	4,76	1924		443,51
Klinker från nyckeltal	Klinker från ny	5	5	1924		443,51
Dörrstängare Dorma 92 inkl glidskena st	Elförzinkad spik, skruv och b		5	275		404,88
Armeringstillbehör stål Ø 12mm	Konstruktionsstål, obelagd (I		5	230		393,76
Betong C28/35 S4 vct=0.60	Husbyggnadsbetong (vct 0,6		10,71	3456		383,62
Markkloss 8-16/40-50mm	Plastfolier (IVL LCR)		5	201,76		365,05
Takplåt, förzinkad	Takplåt, förzin	5	0	169,84		358,15
Fibercementskiva Normal tj= 12mm 120	Fibercementskivor (IVL LCR)		13,04	858		354,54
Plastisk fogmassa b= 0-15mm 55B	Plastfolier (IVL LCR)		5	189,22		342,35
Plåtbeslag fz lack fotplåt kb= 200	Plåt detaljer, målad (IVL LCR)		10	163,8		342,26
Murkramla Ø 5mm b= 80mm	Galvad spik, skruv och beslag		5	219		322,43
Armeringsnät 8100 standardnät	Armeringsnät mm (IVL LCR)		5,66	551,07		319,32
Mineralull 220mm snedtaksskiva 1310-0	Glasull (IVL LCR)		6,54	255,2		319
Ståldörr Daloc S 60 A60 1200x2100mm	Ståldörrar, brandklassad (IVL)		0	96		314,88
Tappspik vfz 2.5x25mm	Galvad spik, skruv och beslag		5	205,35		302,33
Undertaksplatta direktlimmad	Ljudabsorbent, bullerskiva, a		5	173,88		291,25
Utsättningsmaterial stakkäppar	Furu/gran, hyvlad & sågad, 4		10	5281,14		290,46
Skyddstäckning plastfolie tj= 0,20mm	Plastfolier (IVL LCR)		5	155,14		280,7
Stålreglar isolerhållare IH-130/30-0,5	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	113,76		276,1
Ståldörr Daloc S 60 A60 1000x2100mm	Ståldörrar, brandklassad (IVL)		0	80		262,4
Skena U 70/55-0,5 h= 52mm	Stålreglar (IVL LCR)		10,71	107,25		260,3
Mineralull 120mm väggskiva 1308-00	Stenull (IVL RR)		6,54	218,4		259,9
Expanderskruv HSAF M6x65mm	Galvad spik, skruv och beslag		5	175,2		257,94
Inspektionslucka TS-EI30 200x300mm	Plåt detaljer, målad (IVL LCR)		10	118		246,56
Speditionstranporter ytterväggsgaller	Rostfritt stål, ospecificerat (I		10	90		232,11
Fästelement	Galvad spik, skruv och beslag		5	154,4		227,32
Armeringsnät FS9100	Armeringsnät mm (IVL LCR)		5,66	386,43		223,92
Badrumsskåp Byggbeslag Kungsör Focus	Tunnplåt, aluzinkbelagd (IVL		10	88		213,58
Fönsterbänk från nyckeltal rätt	Fönsterbänk fr	5	5	3956,6		202,68
Armeringstillbehör stål Ø 10mm	Armering, skrotbaserat (IVL		10	370		192,89
Armeringstillbehör stål Ø 8mm	Armering, skrotbaserat (IVL		10	370		192,89
Armeringsstål ILF Ø 10-32mm 25-150ton	Armering, skrotbaserat (IVL		8,26	366		190,81
Armeringsstål ILF Ø 8mm 25-150ton	Armering, skrotbaserat (IVL		8,26	366		190,81
Klinker från nyckeltal	Klinker från ny	5	5	780		179,8

Klinker från nyckeltal	Klinker från ny	5	5	780	179,8
Fibercementskiva Fasad tj= 8mm 2500m	Fibercementskivor (IVL LCR)	13,04	431,2		178,18
Gipsskruv stålregel 5+15st	Galvad spik, skruv och beslag	5	113,76		167,49
Fogband Sika NOQ 22 b= 225mm	Tätningstätt, allmänt (EPDM)	4,76	43,2		166,74
Torkställning Byggbeslag 1	Rostfritt stål, ospecificerat (I	10	64		165,06
Plastfolie tätningstejp t-flex b= 50mm	Plastfolier (IVL LCR)	2,91	87,6		158,5
U-element ytterhörn 550/500/300mm	Cellplast, expanderad polyst	2,91	32,72		127,62
Drevning 80mm remsa XSI 003	Glasull (IVL LCR)	9,09	100,6		125,75
Armeringsstål ILF Ø 10-32mm 25-150ton	Armering, skrotbaserat (IVL	8,26	230,88		120,37
Tätskikt 1-lag Icopal Membrane yta 1000	Ytpapp, ospecificerat (IVL LC	5	180		116,18
Gipsskiva 9mm vindskydd 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivo	13,04	421,2		114,43
Utrymningsbehör Assa 179 vänster förni	Rostfritt stål, ospecificerat (I	10	44		113,48
Betong SKB C28/35 vct= < 0.60	Husbyggnadsbetong (vct 0,6	10,71	1008		111,89
Träfönster handtag utåtgående fönster	Elförzinkad spik, skruv och b	5	73		107,48
UE- Brandskyddsmålning	Plåt- och stålfärg utomhus, a	5	416,88		106,3
Ståldörr Daloc S33, S43, S52, S53 o S54 t	Rostfritt stål, ospecificerat (I	10	40,29		103,91
Gipsskiva 12,5mm standard 900mm	Gipsskivor, kartonggipsskivo	13,04	374,4		101,72
Elnischlucka omålad par 1500x2100mm	Skivmaterial övrigt, MDF (IVL	5	163,8		101,26
Formplywood tj= 12mm 1200x1200mm	Formplywoodskivor (IVL LCR	9,09	481,8		98,4
Träfönster alum 3-glas fast 800x700mm	Fönster, trä, tre glas (IVL LCR	0	117,6		97,61
Elnischlucka omålad 900x2100mm karm	Skivmaterial övrigt, MDF (IVL	5	157,25		97,21
Plåtskruv 4.2x13mm förzinkad	Galvad spik, skruv och beslag	10,71	65,7		96,73
Skruv 3.5x25mm	Elförzinkad spik, skruv och b	5	65,7		96,73
Betong C20/25 S4 vct=0.79	Husbyggnadsbetong (vct 0,7	9,09	984		96,43
Tätskikt intäckning fotplåt	Underlagspapp bitumen (IVL	5	139,64		90,13
Tätskikt mekanisk infästning vid >2st/m2	Ytpapp, ospecificerat (IVL LC	5	136,9		88,36
Undertak akustiklim	Plastfolier (IVL LCR)	4,76	45,54		82,4
Elastisk fogmassa b= 0-15mm 58A	Plastfolier (IVL LCR)	5	41,18		74,51
Innerdörr trä laminerad Daloc T16 skjut	Ytterdörrar, trä (IVL LCR), ca	0	252,59		58,6
Gipsskruv stålregel 5+15st	Galvad spik, skruv och beslag	5	37,2		54,77

Klimatredovisning: Klimatkalkyl referens

Baserat på metodik enligt EN 15804 och EN 15978

Resurssammställningens omfattning av byggdelar A1-5

Indikatorerna omfattar byggprojektindel enligt nedan:

0 Sammansatta byggdelar

- 00 Sammansatta
- 01 Demontering
- 02 Rivning av inredning/utrustning
- 03 Rivning av vägg/bjälklag/tak
- 04 Rivning övrigt
- 05 Rivning för hiss/trappa
- 06 Hålltagning/förstärkning
- 07 (vakant)
- 08 Provisorier
- 09 (vakant)

X 3 Stomme

- X 30 Stomme sammansatta
- X 31 Väggar
- X 32 Pelare
- X 33 (vakant)
- X 34 Bjälklag/balkar
- X 35 (vakant)
- X 36 Trappor/hiss-schakt
- X 37 Samverkan takstomme
- X 38 Huskomplettering stomme
- X 39 Stomme övrigt

X 6 Stomkomplettering/rumsbildning

- X 60 Stomkomplettering sammansatta
- X 61 Inside yttervägg
- X 62 Undergolv
- X 63 Innerväggar
- X 64 Innertak
- X 65 Invändiga dörrar/glaspartier
- X 66 Invändiga trappor
- X 67 (vakant)
- X 68 Stomkomplettering övrigt
- X 69 Rumsbildning övrigt

1 Mark

- 10 Mark sammansatta
- 11 Röjning mm tomtyta
- 12 Schakt / fyllning
- 13 Markförstärkning/dränering
- 14 (vakant)
- 15 Ledning/kulvert/tunnlar
- 16 Vagar/planer
- 17 Trädgård
- 18 Markutrustning/stödmurar
- 19 Mark övrigt

X 4 Yttertak

- X 40 Yttertak sammansatta
- X 41 Takstomme
- X 42 Taklagskomplettering
- X 43 Taktäckning
- X 44 Takfot och gavlar
- X 45 Öppningskomplettering/takluckor
- X 46 Yttertak övrigt
- X 47 Terrasser/altaner (på yttertak)
- X 48 Huskomplettering tak
- X 49 Plåtarbeten

X 7 Invändiga ytskikt/rumskomplettering

- X 70 Ytskikt sammansatta
- X 71 (vakant)
- X 72 Ytskikt golv/trappor
- X 73 Ytskikt vägg
- X 74 Ytskikt tak/undertak
- X 75 (vakant)
- X 76 Vitvaror
- X 77 Skåp och inredningsnickerier
- X 78 Rumskomplettering övrigt
- X 79 Rumskomplettering övrigt

sbyggnad

2 Husunderbyggnad	X	9 Gemensamma arbeten/tillfälliga fabriken
X 20 Husunderbyggnad sammansatta	X	90 Gemensamma arbeten sammansatta
21 (vakant)	X	91 Gemensamma arbeten
22 Schakt/fyllning hus	X	92 (vakant)
23 Markförstärkning/dränering	X	93 (vakant)
24 Grundkonstruktioner	X	94 (vakant)
25 Kulvert/tunnlar	X	95 (vakant)
26 Garage (som en del av huset)	X	96 (vakant)
X 27 Platta på mark	X	97 (vakant)
X 28 Huskomplettering grund	X	98 (vakant)
X 29 Husunderbyggnad övrigt	X	99 (vakant)
X 5 Fasader	X	102 A5.2: Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater (energi till drivmedel m.m.)
X 50 Fasader sammansatta	X	103 A5.3: Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader (energi till uppvärmning m.m.)
X 51 Stomkomplettering/utfackning	X	104 A5.4: Byggprocessens övriga energivaror (som gasol och diesel för värmare och dyligt, köpt el, fjärrvärme o.s.v.)
X 52 (vakant)	X	105 A5.5: Övrig miljöpåverkan från byggprocessen, inklusive övergödning vid sprängning, markexploatering, kemikalieanvändning o.s.v.
X 53 Fasadbeklädnad/ytskikt		
X 54 (vakant)		
X 55 Fönster/dörrar/partier/portar		
X 56 (vakant)		
X 57 (vakant)		
X 58 Huskomplettering fasader		
X 59 Ytterväggar övrigt		
X 8 Installationer		
80 Installationer sammansatta		
81 (vakant)		
82 Process		
83 (vakant)		
84 Sanitet/värme		
85 Kyla/luft		
86 El		
87 Transport		
88 Styr/regler		
89 Installationer övrigt		