

# CHALMERS



## Vad bidrar mest till hållbar bebyggelse; småhus i trä eller betong?

En jämförelse av byggmaterialen ur ett livscykel- och  
hållbarhetsperspektiv

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

**ANDREA INGEMARSSON/KRISTINE LISLE**

Institutionen för energi och miljö  
*Miljösystemanalys*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2012  
Examensarbete 2012:06



# Vad bidrar mest till hållbar bebyggelse; småhus i trä eller betong?

En jämförelse av byggmaterialen ur ett livscykel- och hållbarhetsperspektiv

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

ANDREA INGEMARSSON/KRISTINE LISLE



Vad bidrar mest till hållbar bebyggelse;  
småhus i trä eller betong?

En jämförelse av byggmaterialen ur ett livscykel- och hållbarhetsperspektiv

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

**ANDREA INGEMARSSON/KRISTINE LISLE**

© ANDREA INGEMARSSON/KRISTINE LISLE, 2012

Examensarbete / Institutionen för Energi och Miljö,  
Chalmers tekniska högskola 2012:06

Institutionen för Energi och Miljö  
Miljösystemanalys  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Omslagsbilden till vänster är en hög med stockar hämtad från:  
<http://logfurniturehowto.com/wp-content/uploads/2012/03/logpile.jpg>

Omslagsbilden till höger är en skulptur av radhus i betong, hämtad från:  
<http://www.kristinaberggren.com/bilder/radhus2.jpg>

Institutionen för energi och miljö  
Göteborg 2012

Vad bidrar mest till hållbar bebyggelse;  
småhus i trä eller betong?

En jämförelse av byggmaterialen ur ett livscykel- och hållbarhetsperspektiv

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

## ANDREA INGEMARSSON/KRISTINE LISLE

Institutionen för Energi och Miljö

Miljösystemanalys

Chalmers tekniska högskola

### SAMMANFATTNING

Att miljöcertifiera ett bostadsområde förutsätter systemtänkande dels ur ett samhällsplaneringsperspektiv och dels ur ett materialvalsperspektiv. I planeringen av bostadsområden ligger ofta fokus på att jämföra byggmaterial ur ett livscykelperspektiv, dvs. utvinning av material till färdigt hus samt transporter, rivning och avfallshantering. Göteborgs Stads program för miljöanpassat byggande lägger stor vikt vid valen av material men mindre vikt på livsstilsrelaterade frågor.

Företaget Derome är specialiserade på trä och delaktiga i hela produktionen av trä, från skog till färdigt hus<sup>1</sup>. De är verksamma främst i Halland och Västra Götaland och fokuserar på lokal produktion, då en av deras viktigaste frågor är miljön. Området Hulan, i Billdal, skall inte bebyggas före 2020, men Derome kan få tillgång till marken tidigare av kommunen för utveckling av bebyggelse i trä om det går att visa att trä är det fördelaktigaste materialet. Om förslaget blir godkänt och genomfört kommer det att vara det första området i Sverige med miljöcertifiering av ett helt bostadsområde där konstruktionerna består av trä.

Syftet med rapporten är att undersöka hur stor andel valet av material bidrar till bebyggelsens klimatpåverkan. Det görs genom en jämförelse av miljöbelastningen i trä- och betongväggar i livscykelperspektivet vagma-grind med den hållbara bebyggelsens klimatpåverkan. Jämförelsen utvärderas mot transporter av byggnadsmaterial, möjligheterna till återanvändning av materialen samt i relation till individens livsstil. Resultaten som tas fram i studien ska kunna användas i praktiken och som stöd i planeringsfasen.

Med hjälp av livscykelanalyser beräknas materialens koldioxidutsläpp för en m<sup>2</sup> yttervägg i perspektivet vagma-grind. Resultaten anpassas till Hulan med hjälp av Göteborgs stads miljöprogram och principerna från ecodesign och hållbart samhällsbyggande. Vidare sätts dessa i ett större perspektiv genom en jämförelse med individens livsstil.

Slutsatsen är att tillverkning och transporter för en betongvägg i ett vagma-grind perspektiv ger upphov till tre gånger så stora koldioxidutsläpp jämfört med träväggen. Med en vidare systemgräns, dvs. huset och individen, har materialvalet en ytterst liten betydelse då den boendes livsstil utgör en mycket stor del av de totala koldioxidutsläppen.

Nyckelord: Trä, Betong, Prefabricerad, Livscykel, Livscykelanalys, Koldioxidutsläpp, Vagma-grind, Hållbar utveckling, Miljöprogram, Ecodesign, REACH, Avfallshantering, Transporter, Dematerialisering, Livsstil, Konsumtion.

---

<sup>1</sup> Christian Kylin, Derome Hus. [2012-01-31]

What contributes most to sustainable development;

Timber framed or concrete houses?

A comparison of building materials from a lifecycle and sustainable perspective.

*Diploma Thesis in the Engineering Programme*

*Building and Civil Engineering*

**ANDREA INGEMARSSON/KRISTINE LISLE**

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Environmental Systems Analysis

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

To environmentally certify a residential area attention must be given both to community planning issues and to material choices. The planning process for residential areas often focuses on comparing materials from a life cycle perspective, e.g. from raw material, production, use to end-of-life. The City of Gothenburg's programme of environmental building processes is a good example of this as focus is more on material choices and less on issues related to the residents' lifestyle.

Derome is a company that specialises in timber products and takes part in the production chain from forest to built houses. Derome operates mainly in the south west of Sweden and focuses on local production of timber since environmental issues are at the heart of their strategy. The Hulan area, in Billdal south of Gothenburg, has planning permission for a 2020 build start, but Derome may gain access to the area earlier if they can show that timber is the preferable building material. If the Municipality of Gothenburg approves the proposal, the residential area will be the first in Sweden environmentally certified and completely built in timber.

The aim of this report is to examine to what extent the choice of building materials affects the building's total environmental impact. This is achieved by comparing the carbon dioxide emissions released by a timber framed wall and a concrete wall within the lifecycle perspective: cradle to gate. This comparison is then evaluated against transport of building materials, possible reuse of materials and in relation to an individual's lifestyle.

With the help of lifecycle analyses the carbon dioxide emissions were calculated per m<sup>2</sup> of wall from cradle to gate. The results were adapted to the Hulan area with the help of Gothenburg's Environmental Program and the principles of ecodesign and sustainable community planning. The results of the LCA were further processed by considering the results in the context of the geographical area and by taking the lifestyle of residents into consideration.

The conclusion is that the production and transport of concrete walls emit three times as much carbon dioxide as an equivalent timber wall in a cradle to gate perspective. However, the lifestyle of the occupant is a more significant factor for the total carbon dioxide emissions than the choice of building materials.

Key words: Timber, Concrete, Prefabricated, Life-cycle, Life-cycle Analysis, Carbon Dioxide Emission, Cradle-to-gate, Sustainable Development, Environmental Strategies, Ecodesign, REACH, Waste Management, Transport, Dematerialisation, Lifestyle, Consumption.





# Innehåll

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte	1
1.2	Metod	1
1.3	Avgränsningar	2
<b>2</b>	<b>HÅLLBAR SAMHÄLLSPLANERING OCH BYGGBRANSCHEN</b>	<b>3</b>
2.1	Hållbar utveckling	3
2.1.1	Agenda 21	4
2.2	Byggsektorn och hållbar utveckling	4
2.2.1	Byggbranschens förslag till strategi	5
2.2.2	Nationell strategi: Mer trä i byggandet.	5
2.2.3	Kommunal planering och Göteborgs Stads miljöprogram	6
2.3	Hållbar husbyggnad och samhällsplanering	6
2.3.1	Ecodesign	7
2.3.1.1	Dematerialisering i byggprocessen	7
2.3.1.2	Avfallshierarkin i samhället	7
2.3.2	REACH	8
2.3.3	Prefabricering för att optimera material- och energiflöden	8
2.4	Att bygga i trä och betong	9
2.4.1	Trä som byggnadsmaterial	9
2.4.2	Betong som byggnadsmaterial	10
2.4.2.1	Karbonatisering	10
2.5	Byggnadens livscykel	11
2.5.1	Livscykels systemgränser	11
2.5.2	Suboptimering och Reboundeffekter	12
2.5.3	Driftsfasen	12
2.5.4	Återvunnet material och avfallshantering	13
2.5.4.1	Trä	13
2.5.4.2	Betong	13
2.5.5	Transporter	13
<b>3</b>	<b>SAMHÄLLETS ENERGIFLÖDEN</b>	<b>15</b>
3.1	Privat och offentlig konsumtion	16
3.2	Den hållbara familjen	19
3.2.1	Konsumtionens medeltal	19
3.2.2	One Tonne Life	19
<b>4</b>	<b>METOD</b>	<b>21</b>
4.1	Väggarna	21
4.1.1	Systemperspektiv på väggarna	22
4.1.2	Livscykelperspektiv på en trävägg	22

4.1.3	Livscykelperspektiv på en betongvägg	23
4.1.4	Övrigt material i väggarna	23
<b>4.2</b>	<b>Livscykelinformation och litteratursökning</b>	<b>23</b>
4.2.1	Funktionell enhet och avgränsning	23
4.2.2	Inventeringsdata	24
4.2.3	Beräkningsmodell	24
4.2.1	Klimatkontot.se	25
4.2.2	Antaganden	26
<b>4.3</b>	<b>Systemperspektiv på bebyggelse och livsstil</b>	<b>26</b>
4.3.1	Deromes mål för Hulan	27
<b>4.4</b>	<b>Analysstrategi</b>	<b>28</b>
4.4.1	Jämförelse mellan materialen vagma-grind	28
4.4.2	Systemgräns huset	28
4.4.3	Användningsfas och livsstil	29
4.4.4	Hållbar samhällsplanering	29
<b>5</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultat från inventeringsanalysen</b>	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>Utvärdering bebyggelse och användningsfas</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>ANALYS</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Jämförelse mellan materialen vagma-grind</b>	<b>33</b>
6.1.1	Transporter	33
<b>6.2</b>	<b>Systemgräns huset</b>	<b>34</b>
6.2.1	Ecodesign	34
6.2.2	Dematerialisering av väggarna	35
<b>6.3</b>	<b>Användningsfas och livsstil</b>	<b>35</b>
<b>6.4</b>	<b>Hållbar samhällsplanering i Hulan</b>	<b>36</b>
6.4.1	Göteborgs stads miljöprogram	36
6.4.2	Deromes vision för Hulan	37
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>38</b>
<b>7.1</b>	<b>Metod</b>	<b>38</b>
7.1.1	Systemavgränsningar och funktionell enhet	38
7.1.2	Inventeringsdata; LCA-rapporter och BVD	38
7.1.3	Antaganden	38
<b>7.2</b>	<b>Beräkningsverktyg</b>	<b>39</b>
7.2.1	Green Cargos miljökalkylator EcoTransIT	39
7.2.2	Klimatkontot.se	39
<b>7.3</b>	<b>Resultat</b>	<b>39</b>
7.3.1	Materialjämförelse	39
7.3.2	Livsstilen	40

<b>8</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>41</b>
	<b>REFERENSER</b>	<b>42</b>
	<b>BILAGOR</b>	

## Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och är den avslutande delen i byggingenjörutbildningen vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet har skrivits under institutionen Energi och Miljö för handledare och examinator Anna Nyström Claesson.

Tack till Christian Kylin, handledare på från Derome Hus, för all hjälp med information och goda råd.

Tack till Anna Nyström Claesson för alla idéer och givande handledningstillfällen.

Göteborg december 2012

Andrea Ingemarsson  
Kristine Lisle

## Beteckningar

De beteckningar som används i rapporten är dessa:

$\rho$  = densitet

$V$  = volym

$m$  = massa material

$u$  = CO<sub>2</sub>-utsläpp

$t$  = totalt CO<sub>2</sub>-utsläpp

# 1 Inledning

Företaget Derome är specialiserade på trä och delaktiga i hela processen från skog till färdigt hus<sup>2</sup>. De är verksamma främst i Halland och Västra Götaland och fokuserar på lokal produktion, då en av deras viktigaste frågor är miljön.

Tillsammans med WHITE arkitekter ska Derome projektera ett helt bostadsområde som baseras på tidigare arbeten om energisnåla hus, som projektet "One Tonne Life" (A-hus et al, 2011). "One Tonne Life" var ett projekt där Derome tillsammans med Volvo och Vattenfall försökte minska det genomsnittliga koldioxidutsläppet för en barnfamilj från sju ton/år till ett ton/år. Lärdomarna från detta tar Derome med sig i projekteringen av det nya bostadsområdet.

Målet är att hela bostadsområdet ska bli certifierat efter Göteborg Stads "Program för miljöanpassat byggande". Om förslaget blir godkänt och genomfört kommer det att vara det första området i Sverige med miljöcertifiering av ett helt bostadsområde där konstruktionerna består av trä. Området heter Hulan och ligger i Billdal, där marken egentligen inte får bebyggas före 2020. Om Derome kan visa att det ur en miljösynpunkt är en fördel att bygga i trä, och kommunen godkänner förslaget, får de börja bygga redan 2015.

Uppdraget för Derome är att jämföra miljöbelastningen för småhus av trä respektive betong. Genomförandet av detta innebär jämförelser av respektive hus materials livscykel (LCA). Detta innebär utvinning av material till färdigt hus samt transporter, rivning och avfallshantering.

## 1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka hur stor andel valet av material bidrar till bebyggelsens klimatpåverkan. Det kommer att göras genom en jämförelse av miljöbelastningen i trä- och betongväggar i livscykelperspektivet vägga-grind med den hållbara bebyggelsens klimatpåverkan. Jämförelsen kommer att utvärderas mot transporter av byggnadsmaterial, möjligheterna till återanvändning av materialen samt i relation till individens livsstil. Resultaten som tas fram i studien ska kunna användas i praktiken och som stöd i planeringsfasen.

## 1.2 Metod

Beräkningarna på koldioxidutsläpp genomförs med hjälp av livscykelanalyser, där den funktionella enheten är  $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$  yttervägg. Studien görs i perspektivet vägga till grind, dvs. tillverkning och transporter. Siffror för utsläppen från produktion och tillverkning hämtas från livscykelanalyser och byggvarudeklarationer, medan Green Cargos transportkalkylator används för beräkning av utsläpp från transporter.

Resultaten anpassas till Hulan med hjälp av Göteborgs stads miljöprogram och principerna från ecodesign och hållbart samhällsbyggande. Vidare sätts dessa i ett större perspektiv genom en jämförelse med individens livsstil. Till livsstil räknas individens konsumtion och husets användningsfas.

---

<sup>2</sup> Christian Kylin, Derome Hus. [2012-01-31]

### **1.3 Avgränsningar**

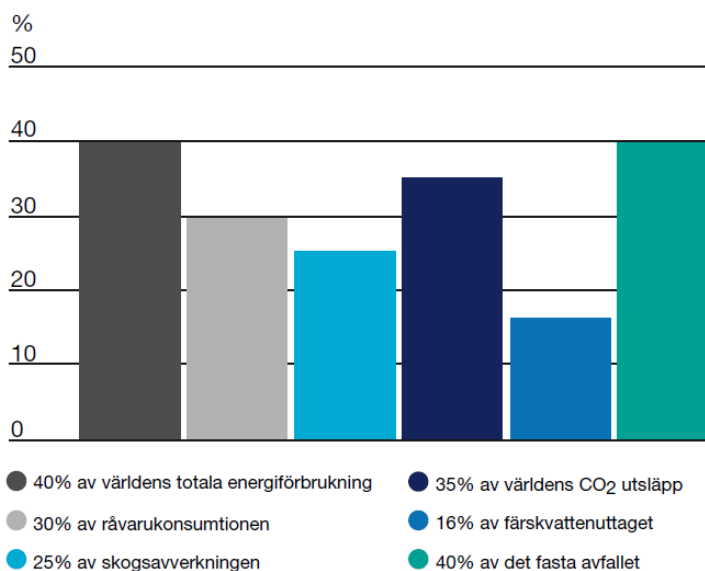
Koldioxidberäkningarna avgränsas till att endast gälla för perspektivet vagga till grind. Vid utvärderingen av bostadsområdet med hjälp av klimatkontot.se är systemgränsen hela bostadsområdet, där trafik och kringliggande natur beaktas.



## 2 Hållbar samhällsplanering och byggbranschen

Koldioxidutsläpp bidrar till förändringar i klimatet vilket leder till ändrade förhållanden för människor, djur och växter. Detta kan vara översvämningar och en höjning av havsnivån då glaciärerna smälter till följd av ökade temperaturer, förändringar i havs- och sötvattenmiljöer, eventuell utslagning av arter osv. (SMHI, 2009). Jordens medeltemperatur har ökat med 0,7°C sedan början av 1900-talet och koldioxidutsläppen fortsätter att öka (Naturvårdsverket, 2008). EU har satt som klimatmål att medeltemperaturen får öka max 1,3°C fram till år 2050. För att nå detta måste koldioxidutsläppen minska med 60%.

Den globala byggsektorn står för ca 40% av världens totala energiförbrukning, se figur 1. I Sverige är över 40% av energianvändningen kopplad till byggsektorn (Björklund, 1999). I Västeuropa står produktionen av byggnadsmaterial för 8-12% av de totala koldioxidemissionerna (Nässén et al, 2011). Enligt Nässén et al. (2011) visar tidigare studier att en ökning av byggnader med trästomme kan minska emissioner av växthusgaser.



Figur 1: Byggnaden bidrar olika miljöproblem (Strängbetong.se).

### 2.1 Hållbar utveckling

Det finns många olika sätt att tolka och beskriva hållbar utveckling (Gröndahl & Svanström, 2010). Enligt Brundtlandrapporten är hållbar utveckling "utveckling som möter nutidens behov utan att riskera möjligheten för kommande generationer att möta sina behov" (WCED, 1987). Ett annat vanligt sätt är att se hållbar utveckling i tre olika områden; ekologiska (ex. naturresurser och biologisk mångfald), ekonomiska (ex. resurser) och sociala faktorer (ex. trivsel).

### 2.1.1 Agenda 21

FN-mötet från 1992 i Rio de Janeiro har kommit att kallas för "The Earth Summit for Sustainable Development" där syftet var att formulera en handlingsplan för 2000-talet (Miljödepartementet, 2011). Handlingsplanen blev Agenda 21, där riktlinjer och mål för hur en hållbar utveckling ska uppnås sammanställdes. Detta skulle ske genom utrotning av fattigdom och genom att hoten mot miljön undanröjs.

I Kyotoprotokollet, från 1997, kom man fram till ett avtal mellan medlemmarna i FN (Miljödepartementet, 2011). Målet var att minska utsläppet av växthusgaser i världen med 5,2% från värdena från 1990 till ca 2008-2012. De växthusgaser vars halter i atmosfären skulle minskas var koldioxid, lustgas, metan, fluorkolväten, perfluorkolväten och svavelhexafluorid.

När Kyotoprotokollet kom att gälla ställde Sverige högre krav på sina industrier än vad EU krävde (Gröndahl & Svanström, 2010). Som ett led i minskningen infördes en koldioxidskatt; ett hjälpmedel för att uppnå målet. De industrier som främst skulle beröras av det nya målet var fabriker som producerade glasfiber, keramik, cement, stål, järn, papper och pappersmassa, dvs. produkter som alla används inom byggindustrin.

## 2.2 Byggsektorn och hållbar utveckling

Som tidigare nämnts kan hållbar utveckling delas upp i tre områden; ekonomiskt, ekologiskt och socialt. Man kan betrakta dessa på olika nivåer, till exempel byggande på samhällsnivå och sedan projektnivå inom byggbranschen (Freilich & Jagrén, 2009).

För ett hållbart samhällsbyggande är det ur ekonomisk synpunkt viktigt att tänka på hur infrastrukturen fungerar och dess möjligheter att utvecklas och förbättras (Freilich & Jagrén, 2009). Detta inkluderar bl.a. bostäder, sjukhus och transporter. Genom bostäder och infrastruktur ger byggsektorn ett viktigt bidrag till den ekonomiska utvecklingen då den är direkt kopplad till näringslivet.

Den sociala välfärden är beroende av bostäder, offentliga lokaler och infrastruktur (Bellander, 2005). Blandstaden innebär en tätare integration av stadens olika funktioner och på så sätt minskar transportbehovet då befolkningen i högre grad förväntas bo, arbeta och utnyttja service inom ett närområde. Detta skapar en levande miljö dygnet runt, där människor med olika livsstil blandas och staden ständigt är i rörelse, vilket ökar känslan av trygghet och gemenskap. Blandade bostäder och gemensamma mötesplatser som torg och andra ytor hjälper till att minska segregering inom staden, då det ger en möjlighet för familjer med olika bakgrunder att bo i samma område. Dock är en negativ effekt av denna planeringsstrategi är att grönområden kan behöva ersättas med bebyggelse.

Det finns fortfarande ett avstånd mellan arbetsgivare och anställda inom byggsektorn (Freilich & Jagrén, 2009). I många andra sektorer har skillnaden mellan dessa två minskat genom förändrade anställningsförhållanden och löneformer. En modern byggarbetsplats måste kunna spegla dagens samhälle, vilket också gäller detta även arbetskraften. Byggsektorn måste öppna sig till flera grupper. Ett exempel är att anpassa produktionssätt och arbetsplatser så att de passar för både kvinnor och män. Detta grundas på att det kommer att finnas ett underskott av kompetent arbetskraft i framtiden. Det som behövs är ett nära samarbete med skolor och utbildningar.

Ur ett ekologiskt perspektiv svarar driftsfasen för en stor del av den totala energianvändningen (Freilich & Jagrén, 2009). För att minska denna kan tekniska system och t.ex. passivhus nyttjas. Även val av material och byggmetoder är viktiga eftersom de påverkar byggnaderna under hela deras livstid.

Inom byggbranschen finns det viktiga områden att arbeta med för att uppnå en hållbar utveckling (Freilich & Jagrén, 2009). Företagen ser byggnadens livscykel främst ur ett vagg till grind-perspektiv, dvs. råvaruutvinning, framställning av material, tillverkning samt transporter, då det ofta endast är den delen som är relevant för dem. Det är också viktigt att återanvända byggmaterial och byggnader för att minska materialflöden. Byggsektorn är belagd med ett frivilligt producentansvar vilket innebär att tillverkare ska samla in och ta hand om produkter som tjänat sitt syfte.

För att företaget ska kunna utvecklas ekologiskt måste ledningen aktivt jobba med och driva kvalitets- och miljöfrågor. Här är det viktigt att alla resurser utnyttjas effektivt, som t.ex. energi, råvaror och material. Med hjälp av t.ex. databaser innehållande information om kemikalier, uppgifter om arbetsmiljö, miljö och kvalitet kan olika miljöfrågor undersökas inom verksamheten. Det är också viktigt att vara tydlig med underentreprenörer gällande miljöfrågor så att de följer samma riktninglinjer.

### 2.2.1 Byggbranschens förslag till strategi

Arbetet för hållbar utveckling måste ske på två plan: branschövergripande och företagsinterna (Freilich & Jagrén, 2009).

Inom branschen måste man ha en helhetssyn på byggandet. Detta innebär utvecklingen av en idé till färdig byggnad samt underhåll och avfallshantering av byggnaden. Alla parter i byggprocessen måste ta hänsyn till varandras behov och samarbeta när det gäller miljöfrågor. Eftersom byggherren är den som har mest makt att påverka är det viktigt att ha ett bra samarbete med denne för att uppnå ett mer hållbart projekt. Det är viktigt att ställa rimliga krav på de olika parterna för att öka hållbarheten.

Byggnaden kommer att stå i ett stort antal år och under den tiden förbrukas energi samtidigt som underhåll och renoveringar måste göras. Därför är det viktigt att tänka på detta redan i planeringsfasen för att minska onödig energianvändning.

Företagsinriktat arbete innebär bland annat att säkerställa att verktygen och förutsättningarna finns för att arbetarna ska kunna följa Byggsektorns Kretsloppsråd miljöprogram. Detta betyder att man måste ta fram miljödatabaser och nyckeltal inom miljön.

### 2.2.2 Nationell strategi: Mer trä i byggandet.

Visionen lyder: *"Om 10-15 år är trä ett självklart alternativ i allt byggande i Sverige – och på sikt i hela Europa"* (Näringsdepartementet, 2004).

För att uppnå visionen har regeringen satt målen att av nyproducerade flerbostadshus ska minst 30% ha en stomme av trä. Vid nya offentliga byggnader skall ett alternativ med trästomme presenteras och konsekvensanalyser av byggandets miljöbelastning och ekonomiska effekter utföras. Av andra byggnadsverk ska t.ex. minst 25% av de broar som byggs varje år vara av trämaterial.

Staten beslöt 2002 att byggsektorn skulle försöka öka användningen av trä och träprodukter i byggande då produktion av träprodukter är mindre energikrävande än andra material som fyller samma funktion. Bakgrunden till beslutet var att andra

byggmaterial, till exempel betong, hade dominerat i byggandet en längre tid. Då Sverige har en tradition av träbyggande och stor tillgång till skog skulle det bland annat stödja skogsindustrin om träbyggandet ökade.

### 2.2.3 Kommunal planering och Göteborgs Stads miljöprogram

Vikten av lokala insatser betonas i EU:s miljöhandlingsprogram, miljöbalken och de nationella miljö kvalitetsmålen, som syftar på att främja hållbar utveckling för nuvarande och kommande generationer (Fastighetsnämnden, 2009).

Syftet med miljöprogrammet för Göteborg Stad är att ge riktlinjer vid projektering och produktion, se bilaga 1. Det ska höja ambitionsnivån vid hållbart byggande och uppmuntra till förbättringar i dessa stadier och kan innebära val av leverantörer, konstruktionsmetoder, val av material och byggområde. Det som inte ingår i programmet är hur markexploatering påverkar miljön i området, eftersom det finns tidigare lagstiftningar som reglerar det. Eftersom kommunen har bättre lokalkännedom än staten görs detaljplanerna av kommunen.

Göteborgs miljöprogram är uppdelat i sju sakområden: beständighet, hälsa och inomhusklimat, miljöpåverkan, resurshushållning, bullerskydd, fuktskydd och energihushållning. Programmet är främst riktat mot;

- Projekteringen: Byggnaden ska uppnå ett bra inomhusklimat, ha en god beständighet samt ha låg miljöpåverkan. Materialval är en väsentlig del i detta.
- Uppförande av byggnad: Minska utsläpp vid montage och uppförande genom alternativa metoder och minskade transporter. Ett exempel är att bygga med prefabricerade element.
- Driftsfasen: Val av tekniska system i byggnaden kan minska energiförbrukningen, till exempel energisåla vitvaror. Viktigt att underlätta för boende att källsortera genom närliggande och lättillgängliga miljöstationer.

## 2.3 Hållbar husbyggnad och samhällsplanering

Sättet vi lever på idag är inte hållbart, då allt fler miljöproblem hotar planeten (Ullstad, 2008). Det är viktigt att reducera koldioxidutsläppen och hantera avfall på så sätt att nästa generation ska ha samma förutsättningar som vi har nu. I ett hållbart samhällsbyggande bör det planeras för framtiden med nya tekniska system och byggnadssätt för att kunna försörja den växande folkmängden både lokalt och globalt. Det är därför viktigt att markytor, råvaror och energi hushålls, men det kan vara svårt att tänka annorlunda och välja rätt med hänsyn till det långsiktliga. Det är lätt att bygga på samma sätt som man gjort de senaste 40 åren men dessa byggnadssätt och materialval har styrts av kortsiktiga lösningar till följd av exempelvis tidsbrist eller ekonomiska faktorer. De system som väljs måste vara relevanta idag men även ha ett sammanhang om 10, 15 eller 20 år.

En förutsättning för ett hållbart samhällsbyggande är att det finns en stark politisk vilja (Ullstad, 2008). Sverige har goda förutsättningar för att uppnå ett hållbart samhällsbyggande jämfört med andra länder; en stabil ekonomi, inte alltför styrande bygglagar och ett starkt miljömedvetande. Utmaningen är att hitta hållbara alternativ och lösningar.

### 2.3.1 Ecodesign

Ecodesign fokuserar på att reducera en produkts miljöpåverkan under hela livscykeln (European Commission, 2012). Det är viktigt att redan i tidigt skede börja planera för att hela huset enkelt ska kunna återvinnas. Genom att i förväg försöka minska mängden material och olika materialtyper samt genom att välja de mest miljövänliga materialen så bildas mindre mängd oanvändbart avfall. Mindre material leder också till mindre svårigheter vid sortering och därmed till ett mer hållbart system.

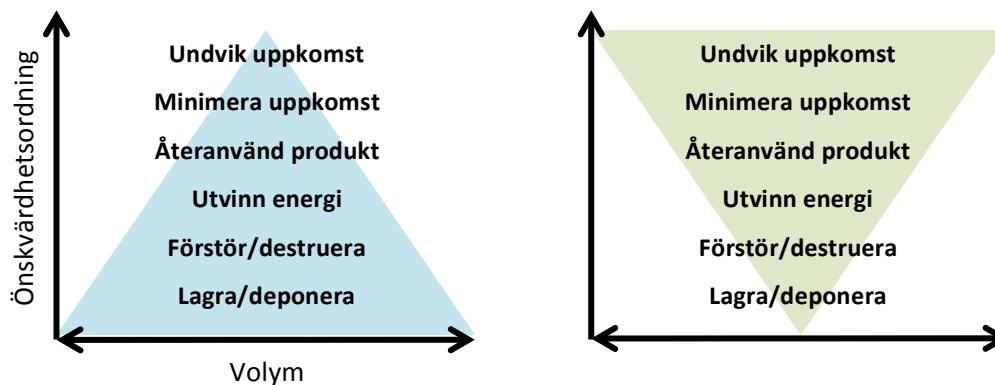
#### 2.3.1.1 Dematerialisering i byggprocessen

Ett steg mot ett mer hållbart samhälle är att försöka minska antalet ingående komponenter i olika material dvs. dematerialisering (Gröndahl & Svanström, 2010). I många byggnadsdelar, exempelvis en vägg, ingår flera olika material vilka alla kräver energi för framställning och transporter. De strategier för dematerialisering som kan användas är:

- Substitution: Skadliga ämnen ersätts till mindre skadliga ämnen.
- Miniaturisering av produkter: Materialanvändningen minskar när produkterna blir mindre men ändå fyller samma funktion. Exempel på detta kan vara nya typer av isolering, som har mindre tjocklek men uppfyller samma krav som standardisolering.
- Energisnålare produkter: När det krävs mindre energi för att produkten ska uppfylla samma funktion, exempelvis vitvaror.
- Återvinning av material: Materialen hålls i omlopp när de återvinns och behovet av nytt material minskar, t.ex. glasull som smälts ner och återanvänds som glas eller lösull.
- Vara ersätts med tjänst: Genom att byta ut produkter mot tjänster, och då helt undvika produkten, kan materialanvändningen också minskas. Exempel på detta kan vara övergång från pappersritningar till datorn.
- Bygga produkter i moduler: När delar i en produkt slits kan dessa enkelt bytas ut, istället för att kassera hela produkten.
- Förlängd användning: Om produkterna kan återanvändas och lagas ökar livslängden och materialflödet minskas.
- Sam-användning: Produkten används mer effektivt när den utnyttjas av flera.
- Flera funktioner i samma produkt: Fler funktioner ger mindre materialåtgång. T.ex. fungerar betongen i väggen som vindskydd, som bärande konstruktion, stabiliserar huset samt lagrar värme.

#### 2.3.1.2 Avfallshierarkin i samhället

I ett samhällssystem finns det många olika avfallsflöden (Gröndahl & Svanström, 2010). Redan vid utvinning av material skapas stora flöden, men även andra områden som industriernas produktion och samhällets konsumtion bidrar till dessa. Genom substitution kan man undvika uppkomst av skadliga ämnen. Vid sam-användning, t.ex. bilpool, och miniaturisering av produkter kan uppkomsten minimeras. För att beskriva avfallshanteringens prioriteringsordning kan man illustrera det i hierarkiform, se figur 2. Den vänstra triangeln beskriver hur prioriteringen idag ligger i de flesta samhällen i världen och den högra visar hur det ur ett hållbart perspektiv borde se ut.



Figur 2: Avfallshierarki, direkt hämtad från Gröndahl & Svanström (2009).

REACH är den europeiska samhällsregleringen av kemikalier som beskriver hur dessa kan användas på ett säkert sätt (European Commission, 2012). REACH står för Registration, Evaluation, Authorisation och Restriction of Chemical substances. Målet är att förbättra skyddet för människans hälsa och miljön genom att identifiera de farliga egenskaperna i kemikalier. Samtidigt vill man stödja konkurrensen i kemikalieindustrin i Europa för att motivera utveckling av alternativa kemikalier, där syftet är att fasa ut farliga ämnen.

REACH lägger ett stort ansvar på industrierna vid riskhantering av kemikalier. Företag skall förse sina kemiska produkter med riskinformation om ingående substanser. Tillverkare och företag som importerar är skyldiga att samla all information (kunskapsprincipen) om egenskaperna av de kemikalier de använder, vilket leder till att de hanteras på rätt sätt. De ska också registrera informationen på en central databas som är driven av the European Chemicals Agency i Helsingfors, dvs. EU:s naturvårdsverk. Detta miljöorgan fungerar som en central punkt i REACH system. Det hanterar databaserna som är nödvändiga för att styra systemet, samordnar utredningar av suspekta kemikalier och håller på att utveckla en databas för allmänheten där konsumenter och yrkesutövare kan hitta information om farliga ämnen.

### 2.3.3 Prefabricering för att optimera material- och energiflöden

Traditionellt byggande, eller lösvirkebyggande, är oftast inte så effektivt (Elwing & Sjögren, 2006). Processerna och metoderna man använder sig av kan vara väderkänsliga vilket leder till en ökad kostnad och en förlängd byggtid.

Genom prefabricering reduceras byggtiden på byggarbetsplatsen och effektiviteten ökar om huselementen levereras i tid (Elwing & Sjögren, 2006). Jämfört med lösvirkebyggande är det lättare att hålla rent på byggarbetsplatsen då behovet av lagrat material minskar. Prefab-elementen är optimerade på så sätt att materialspill och avfallsmängder blir minimalt. Med prefabricerade hus minskar risken för fuktskador då elementen görs i ett kontrollerat klimat. Tätt hus uppnås snabbare när elementen levereras färdiga för montering, vilket också gör det lättare att uppföra byggnader på vintern. Dock är det svårare att få skarvarna mellan elementen täta vilket leder till att fler köldbryggor kan uppstå.

Med prefabricering av hus är det främst byggtiden som minskar, som i sin tur leder till lägre arbetskostnader. Produktiviteten på arbetsplatsen ökar när man bygger med prefabricerade element (Elwing & Sjögren, 2006). Detta är för att arbetarna slipper hämta, sortera, vänta, täcka över, leta mm. Minskat arbete betyder att behovet av arbetskraft inte är lika stort och arbetstiden blir kortare, vilket bidrar till lägre kostnader.

Det är en fördel att designa byggnaden på så sätt att antalet olika element blir så få som möjligt, exempelvis kan fönstren placeras på samma plats för att skapa regelbundenhet (Elwing & Sjögren, 2006). Detta innebär även att standarddimensioner hos tillverkaren används. Med hänsyn till detta kan tillverkningstiden och kostnaderna minskas i produktionen. Däremot begränsas utformningen av byggnaden, då allt byggs i moduler, vilket kan upplevas som fantasilöst.

## 2.4 Att bygga i trä och betong

Trä har länge varit en källa av energi och material. Under de senaste århundradena har trä varit den viktigaste energikällan för matlagning, värme och industri, och en viktig råvara vad gäller konstruktioner och redskap (Sathre & Gustavsson, 2009).

Betong används mer och mer i olika typer av konstruktioner då den med hjälp av armering kan formas för att uppfylla många funktioner. Idag består i princip varje hus av någon del betong, ofta grundplattan<sup>3</sup>.

### 2.4.1 Trä som byggnadsmaterial

Sverige har länge haft en tradition att bygga i trä. Den svenska skogen har alltid varit en stor resurs och trähus passar bra i vårt torra och svala klimat. Eftersom skogsindustrin är stor i Sverige är det viktigt att det inte bara är lönsamt utan också hållbart. Ett exempel på hållbart skogsbruk är när det planteras mer skog än vad som avverkas<sup>4</sup>.

Skogens roll i kolkretsloppet är viktig för koldioxidhalten som finns i vår atmosfär (Sathre & Gustavsson, 2008). I andra delar av världen försvinner skogsarean oroväckande fort, och därför måste de länder som kan kämpa för ett hållbart system. Sathre & Gustavsson (2009) visar i sin studie att träbaserade byggnader generellt resulterar i lägre energiförbrukning och koldioxidutsläpp jämfört med andra byggnadsmaterial, som till exempel betong.

De tre största fördelarna med trä är dess bärförmåga i förhållande till sin vikt, de många produkter det kan omvandlas till och hur hanterbart och lätt det är att jobba med<sup>5</sup>. Andra fördelar är flexibiliteten i trästommar och möjligheten att kunna ändra i byggnaden i efterhand som till exempel genom att sätta in nya fönster. Dessutom kan det vara en fördel att under vintern bygga med trä då träets egenskaper inte ändras vid lägre temperaturer (Skoogh, 2009).

Några nackdelar är att spännvidderna för träbjälklag är begränsade, huset behöver förankras i fundamentet för att klara horisontella laster och risken för brand och brandspridning är högre i trä (Skoogh, 2009). Fuktkvoten i träet kan variera under husets livstid och skapa rörelser i träet samtidigt som det kan ruttna och utsättas för mögel. Därför är ångspärren i trähus viktigt för konstruktionens inomhusklimat och för att undvika fuktskador.

---

<sup>3</sup> Husvillaguiden. *Betongplatta*. [2012-12-10]

<sup>4</sup> Christian Kylin, *Derome Hus*. [2012-01-31]

<sup>5</sup> Träguiden. *Tekniska och ekonomiska skäl*. [2012-03-08]

Medellivslängden för ett trähus räknas vara ca 75år<sup>6</sup> även om många hus står längre. Fasaden bör målas om var tionde år och troligtvis bytas minst en gång under husets livstid beroende på väderförhållanden och underhåll<sup>7</sup>.

## 2.4.2 Betong som byggnadsmaterial

I många prefabricerade hus används betong som stommaterial, då det har en god beständighet, formbarhet och hållfasthet (Blixt & Harmath, 2010).

Betong har en väldigt hög tryckhållfasthet, är brandtålig och har en god beständighet d.v.s. hållbarhet och livslängd (Skoogh, 2009). Den har hög värmelagringskapacitet och en viss ljuddämpningseffekt. Beroende på hur betongen är förstärkt kan man ha längre spännvidder som leder till en ökad frihet vad gäller design och stora, öppna ytor. Betong kan formas till nästan vad som helst med hjälp av formar. Betong tål mycket fukt eftersom det inte innehåller något organiskt material, därmed finns ingen risk för mögel eller röta. Dock kan betongen uppta vatten, vilken armeringen är känslig mot. Om den blir rostskadad försämras betongväggens hållfasthet.

Nackdelar med betong är att det är svårt att bearbeta härdad betong och ändra byggnaden i efterhand (Skoogh, 2009). Betongens höga U-värde kan leda till problem med köldbryggor. Tillverkningen av betong är väldigt energikrävande och torktiden för betong kan påverka byggtiden då betongen måste nå en viss fukthalt innan man kan täcka betongen med annat material.

Medellivslängden för ett betonghus räknas vara ca 100år<sup>8</sup>. Betonghus kräver mindre underhåll än trähus, med en bra putsyta räcker det att under de första 20-30 åren tvätta fasaden från smuts<sup>9</sup>. Senare kan dock sprickor uppkomma och då krävs lagning med putsbruk.

### 2.4.2.1 Karbonatisering

Under hela betongens livscykel absorberas koldioxid av betongen, så kallad karbonatisering (Dodoo, Gustavsson & Sathre, 2008). Detta beror främst på hur stor del som exponeras för luft. Under bruksfasen är hastigheten låg, men blir desto större när byggnaden rivs och materialet krossas efter bruksfasen. Siffrorna skiljer sig mellan olika studier på hur mycket av koldioxiden som avgetts från kalcineringen som tas upp. Enligt Nässén et al tas mindre än 45% av koldioxiden upp. (Nässén et al, 2011). Om ytan på betongen är beklädd, till exempel med färg kommer hastigheten att minska då koldioxiden inte har fri tillgång till betongen. Höga temperaturer ökar karbonatiseringshastigheten, likaså ökar den om betongen är inomhus och ovan mark. Karbonatiseringen är en kolsänka, som kan jämföras med skogens upptagning av kol.

Ett exempel: Om betongväggen är 200mm tjock, karbonatiseringens hastighet är 1mm/år och den sker på båda sidor av väggen kommer den att nå 100% karbonatisering efter ca 100 år (Börjesson & Gustavsson, 2000). Om karbonatiseringshastigheten istället är 0,1 mm/år och den ena sidan är tapetserad med en lufttät tapet kan det ta 2000 år för fullständig karbonatisering (Börjesson & Gustavsson, 2000).

---

<sup>6</sup> Christian Kylin, Derome Hus. [2012-01-31]

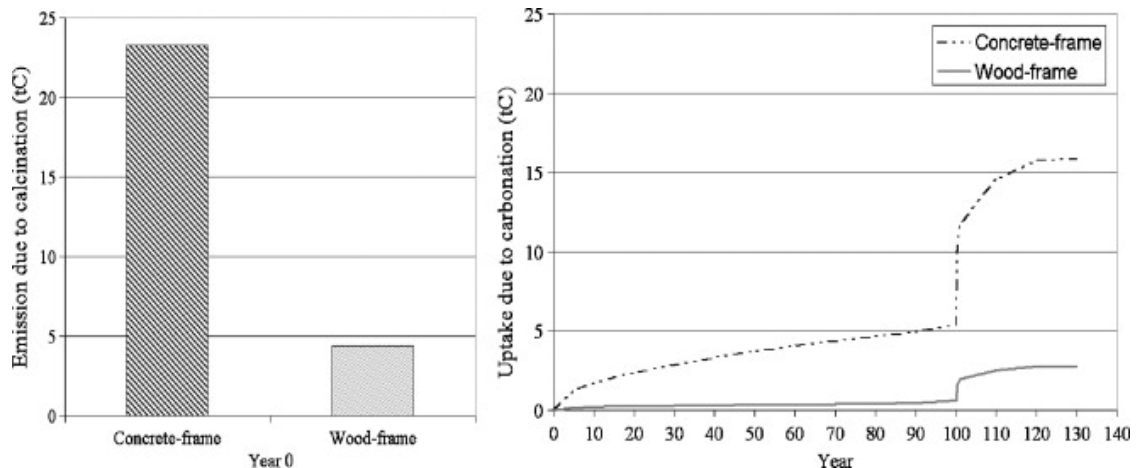
<sup>7</sup> Byggmentor.se, *Så länge håller huset: lista över livslängd*. [2012-06-29]

<sup>8</sup> Svensk Betong. *Livslängd för byggander*. [2012-06-29]

<sup>9</sup> Dinbyggare.se. *Fasadrenovering av putsad fasad*[2012-06-29]



Vestergaard Nielsen & Glavind (2007) skriver att totalt 75% av den koldioxid som avgetts under kalcineringen kan tas upp på grund av karbonatisering. Denna siffra uppnåddes dock inte i studien av Dodoo et al (2008), där huset stod i 100 år och den krossade betongen låg exponerad i 30 år, utan den högsta siffran var 68%. Pade & Guimares (2007) har jämfört karbonatiseringen i de nordiska länderna och kommer fram till att 59% av den koldioxid som släpptes ut vid kalcineringen tas upp under karbonatiseringen. Här har de räknat med att driftsfasen är 70 år där betongen exponeras för luft i 30 år efter rivning. På Island dock var siffran bara 37% vilket beror på att betongen inte krossas. Koldioxidupptaget ökar tydligt efter att huset är rivet och betongen krossad, se figur 3 (Dodoo, Gustavsson & Sathre, 2008).



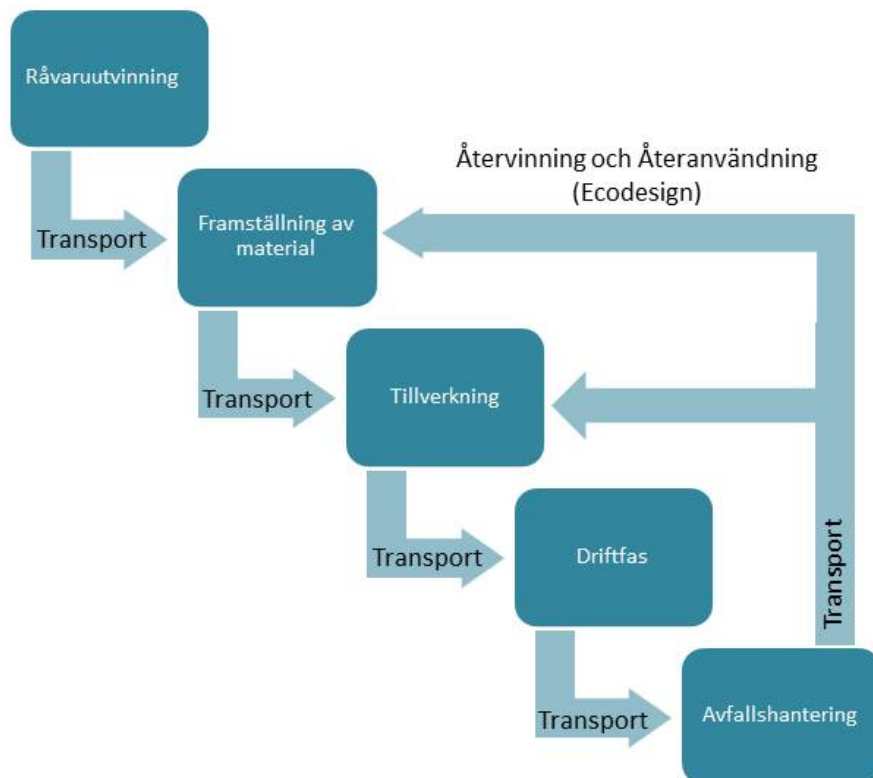
Figur 3: Första diagrammet visar skillnaden i koldioxidutsläpp mellan betong- och trästomme. Andra diagrammet visar skillnaden i koldioxidupptag. Driftsfasen är 100år (Dodoo, Gustavsson & Sathre, 2008).

## 2.5 Byggnadens livscykel

Livscykel innebär en produkts eller tjänsts alla delar; råvaruextraktion, förädling, framställning, användning, avfallshantering och transporter (Gröndahl & Svanström, 2010). Det ger ett helhetsperspektiv genom att betrakta livscykeln från vaggan till graven.

### 2.5.1 Livscykelns systemgränser

För att få en helhetsförståelse krävs att hela livscykeln beaktas, se figur 4. Ett exempel är att utsläpp från fabriken inte är det enda problemet, utan dess produkter som sedan sprids i samhället leder till ytterligare problem. Under och efter användning kan skadliga ämnen släppas ut i ekosystemen.



Figur 4: Livscykel sett från vagg till grav.

Livscykelanalys är ett redskap som används för att jämföra olika varor och tjänster, där materialflöden ofta hanteras. Den kan användas för att indikera vilken del av livscykeln som påverkar miljön mest (Naturvårdsverket, 2008).

### 2.5.2 Suboptimering och Reboundeffekter

För att kunna lösa dagens miljöproblem krävs ett systemtänkande (Gröndahl & Svanström, 2010). Om hänsyn inte tas till helheten, bortses sammanhängande delar i ett system och oväntade effekter kan uppstå. Ibland kan en förändring i ett delsystem avsedd att förbättra, istället försämra hela systemet. Detta kallas suboptimering. Ett exempel kan vara användning av ett renare material som ger mindre avfall vid produktionen, men som istället ger större avfall i någon annan del av livscykeln. Detta betyder att den totala mängden avfall inte minskat utan flyttats.

Reboundeffekter innebär effekter av en förändring som får ett oväntat utfall (Gröndahl & Svanström, 2010). Vid byte till en bränslesnål bil, kanske den används mer och vilket inte resulterar i minskad bränsleförbrukning. Om denna trots allt minskar kommer de sparade pengarna troligtvis att användas till annan konsumtion, därmed ökar energi- och resursanvändningen. Ett exempel inom samhällsplanering är placering av återvinningsstationer. Om dessa inte ligger inom gångavstånd från hemmet försvåras möjligheterna till återvinning. En reboundeffekt kan då vara att återvinningen minskar.

### 2.5.3 Driftfasen

Studier har visat att i byggnader står användningsfasen för 85% av energin som används under hela livscykeln (Brunklaus, 2008). Adalberth (2000) gjorde en studie på energiförbrukningen för ett flerbostadshus av trä respektive betong, där skillnaden blev mindre än 1%. Nybyggda hus av trä och betong förväntas uppnå samma energikrav,

vilket görs genom välbyggda och välisolerade hus (Sathre & Gustavsson, 2009). Idag jobbar byggföretagen mer och mer mot att bygga passivhus.

#### **2.5.4 Återvunnet material och avfallshantering**

Enligt Naturvårdsverket (2011) var byggnads- och rivningsavfallet 3,3 miljoner ton i Sverige 2008. Avfall bildas främst vid rivning av byggnaden, men även vid nybyggnation kan 5-15% av byggmaterialet bli avfall. Andelen avfall som går till deponi har från 1998 till 2004 minskat från 75% till 30%, då återvinningen har ökat (Kretsloppsrådet, 2008).

##### **2.5.4.1 Trä**

Om träprodukterna från rivningen av hus deponeras, kommer koldioxid att produceras under nedbrytningen av träet (Börjesson & Gustavsson, 1999). Mängden producerad koldioxid beror på nedbrytningsförmågan. Vid syrefattiga förhållanden (anaerobiska) så frigörs inte allt kol men under aerobiska förhållanden frigörs all bunden kol.

Återanvändning av trämaterial kan reducera energiförbrukningen och koldioxidutsläpp (Börjesson & Gustavsson, 1999). Om träet återanvänds som virke, plywoodskivor eller pappersprodukter, substitueras behovet av nya träprodukter. Detta leder till att avverkningen av skog minskar och därav utsläppen.

Ett annat sätt att reducera utsläppen av koldioxid till atmosfären är att använda trämaterial från rivningen som biobränsle istället för att använda fossila (Sathre & Gustavsson, 2008). Då består endast koldioxidutsläppet av den koldioxid som träet tagit upp under sin livstid. I träprodukter är energiinnehållet ca 2000kWh/m<sup>3</sup> och i torrt trä ca 4,5 kWh/kg<sup>10</sup>. Energin i träprodukterna kan minska koldioxidutsläppen till atmosfären med ca 1,3kg per kg träprodukter eller med 600kg koldioxid per m<sup>3</sup> träprodukter om det är fossila bränslen som ersätts.

##### **2.5.4.2 Betong**

År 2003 återvanns ungefär 60% av betongen i Sverige (Engelsen et al, 2005). Vid återvinningen måste betongen separeras från armeringen och sedan krossas. Den krossade betongen kan återanvändas som ballast i ny betong eller som fyllnad för nya vägar. När betongen krossas förbättras dess förutsättningar att uppta koldioxid, karbonisering, då ytan som exponeras för luft blir större. Energibehovet vid återanvändning av stål till nya produkter är mindre än vid nyttillverkning av t.ex. armering, då utvinning av järnmalm är energikrävande (Ekvall, 2006).

#### **2.5.5 Transporter**

Godstransporter är den sektorn inom transportindustrin som har störst ökning av koldioxidutsläpp per år, där 75% av godstransporterna i Europa sker via lastbil (Transport & Environment, 2011). Utsläppen kommer att fortsätta öka om inte nya åtgärder sätts in, som t.ex. vägtullar och bränsleskatt.

Lastbilar orsakar större miljöskador och bidrar till mer trängsel än vad som tidigare trots. Lastbilar svarar för 20% av alla trafikstockningar i EU, trots att de endast

---

<sup>10</sup> TräGuiden. Återvinning av träprodukter. [2012-02-07]

motsvarar 3% av vägfordonen. Detta gör att alternativa transportsätt behöver utredas närmare.

Ett bra alternativ i Sverige är tågtransporter där huvudenergikällan är el (Green Cargo, 2008). Transportföretaget Green Cargo använder el från vattenkraft och vindkraft. Detta tillsammans med låg energiförbrukning på grund av tågens låga rullmotstånd mot rälsen resulterar i att mindre föroreningar släpps ut i jämförelse med andra transportsätt. Cirka 90% av transportererna sker med eltåg men ofta krävs lastbilstransporter till sista sträckan.

### 3 Samhällets energiflöden

För att lättare hantera världens utsläpp delas dessa ofta upp i två områden; produktionsutsläpp och konsumtionsutsläpp. Produktionsutsläpp innebär utsläpp från energianvändning, jordbruk, industrier etc. och konsumtionsutsläpp innebär utsläpp från användningsfasen av produkterna (Naturvårdsverket, 2008).

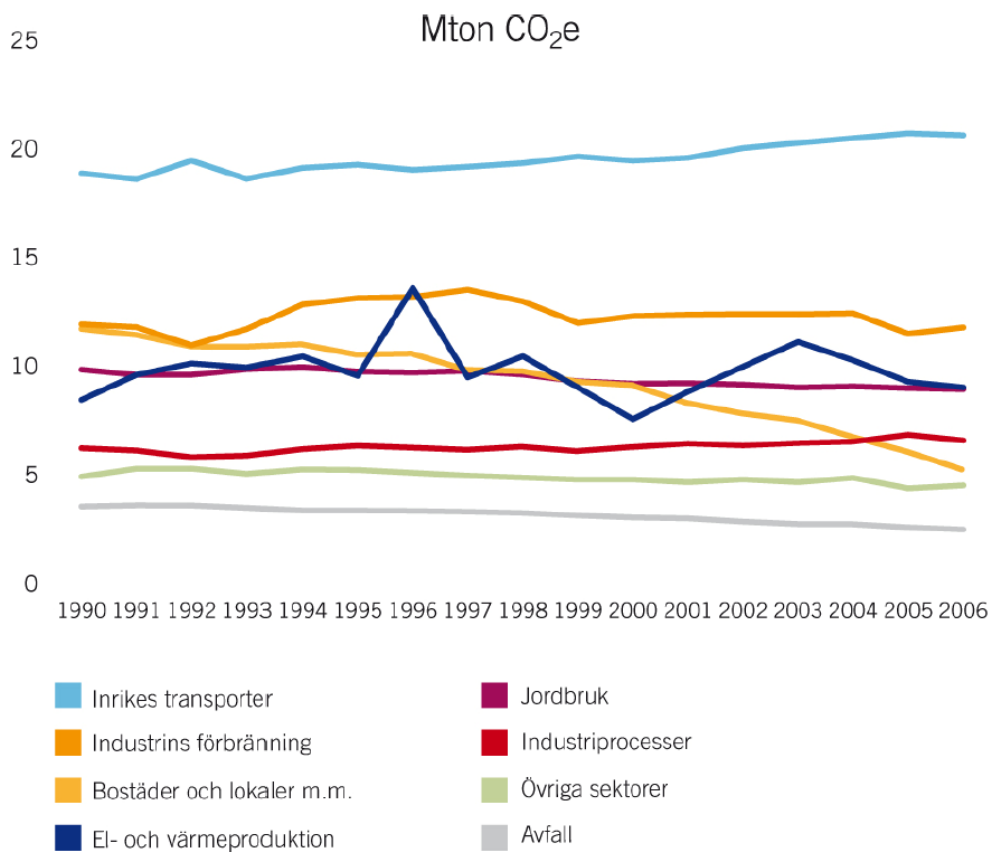
I produktionsutsläpp ingår allt som sker inom ett geografiskt område (Naturvårdsverket, 2008). Även om slutprodukterna inte används på samma plats, räknas utsläppen ihop från processerna vid tillverkningen för just det området. Detta sätt att räkna är grunden för målen i Kyotoprotokollet. Målen är geografiskt anpassade till de problem eller förutsättningen som finns lokalt. Däremot räknas utsläpp från tillverkningen av produkter som exporteras bort från landets utsläpp, då de konsumeras av kunder utanför Sverige. Detta gäller 80 % av stålindustrins, 60 % av skogsindustrins och 50 % av cementindustrins produktion, vilket är en relativt stor del av utsläppen.

I tabell 1 nedan finns skillnaderna mellan olika geografiska områden. Globalt ger energitillförsel och skogsbruk de största utsläppsområdena pga. avverkning av skogar (Naturvårdsverket, 2008). Sverige har inte samma problem, utan här upptar skogarna mer koldioxid än vad skogsbruket bidrar till. Detta gör att andra utsläppsområden blir större som industrier och transporter. De problem som finns globalt speglar inte alltid de som finns nationellt eller lokalt.

Tabell 1: Tabellen visar skillnaderna mellan utsläppsområdena geografiskt sett. De största utsläppsområdena är kursiverade och understrukna (Naturvårdsverket, 2008).

Sektor	Globalt	EU 15	Sverige
Energitillförsel	<u>25 %</u>	<u>25 %</u>	13 %
Transport	13 %	21 %	<u>31 %</u>
Bostäder och lokaler	8 %	16 %	8 %
Industrier	14 %	<u>26 %</u>	<u>32 %</u>
Jordbruk	14 %	9 %	13 %
Skogsbruk	17 %	Upptag	Upptag
Avfall	3 %	3 %	3 %

Figur 5 beskriver utsläppen av koldioxidekvivalenter för olika sektorer i Sverige. Här ser man tydligt att inrikestransporter bidrar mest till de totala utsläppen. Utsläppen för bostäder och lokaler minskar, vilket visar att utvecklingen inom fastigheters energisnålhet går åt rätt håll.



Figur 5: Olika sektorerers koldioxidkvalentutsläpp, (Naturvårdsverket, 2008).

### 3.1 Privat och offentlig konsumtion

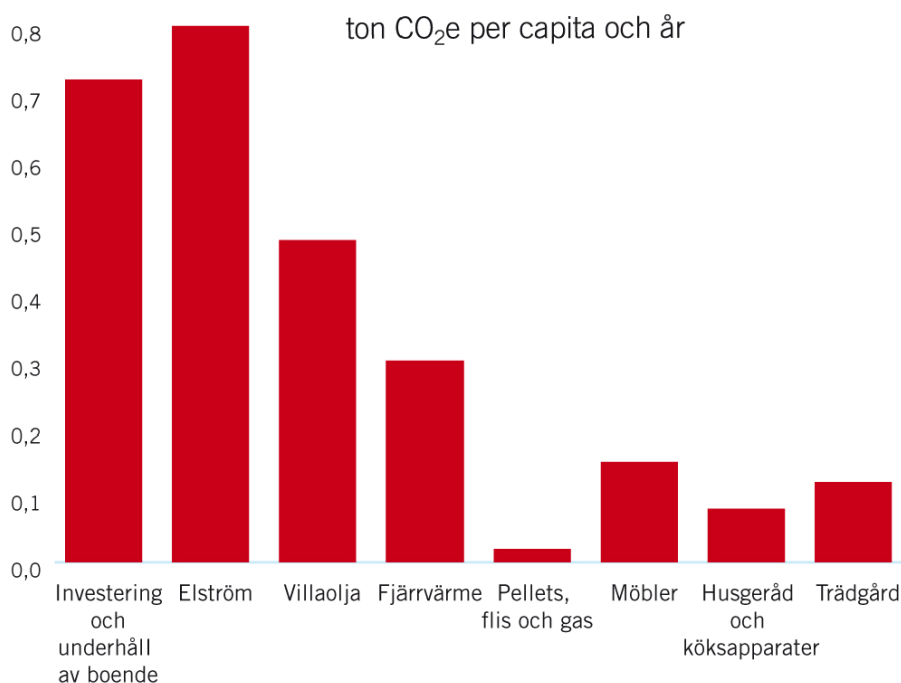
Konsumtion delas upp i privat och offentlig konsumtion (Naturvårdsverket, 2008). Näringslivets varor och tjänster används av privata eller offentliga konsumenter. Privata konsumenter står för 80 % av de totala utsläppen, vilken brukar delas in i fyra områden; bo, resa, äta och shoppa, se figur 6.



Figur 6: Utsläppen av växthusgaser från den privata konsumtionen uppdelad på aktiviteterna äta, bo, resa och shoppa. Den privata konsumtionen stod 2003 för knappt 80 Mton CO<sub>2</sub>e (SCB (2008) och Naturvårdsverket (2008b)).

Till kategorin *Bo* hör investeringar och underhåll, elanvändning, uppvärmning, husgeråd, möbler och trädgårdsvaror (Naturvårdsverket, 2008). Utsläppet för ett medelhushåll i Sverige år 2003 var drygt 2,5 ton koldioxid per capita. De största posterna är byggnaden, elanvändning och uppvärmning.

Tillgången till fossilfri elproduktion varierar från år till år. Utsläppen från elkonsumention 2003 var 20% högre än genomsnittet för 2000-talet, se figur 7. Detta berodde på den låga tillgången till bl.a. vattenkraft. Eldningsolja används fortfarande för uppvärmning av främst villor, men allt fler väljer att övergå till fjärrvärme. Antal hushåll som använder eldningsolja har halverats från 2003 till 2008.



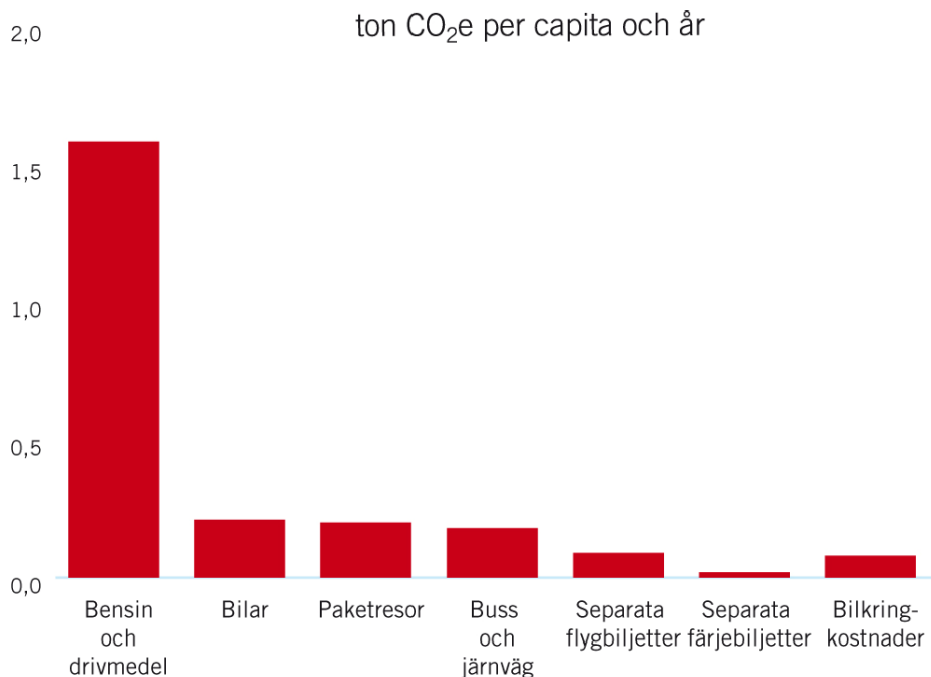
Figur 7: Aktiviteten Bo genererade totalt i snitt drygt 2,5 ton CO<sub>2</sub>e per capita 2003 (SCB (2008) och Naturvårdsverket (2008b)).

De största utsläppen i norra Europa kommer från byggnaders användningsfas sett till hela livscykeln (Naturvårdsverket, 2008). Den näst största källan är byggandet där småhus kräver ca 60% mer energi per kvadratmeter att bygga än ett flerbostadshus. Underhåll, renowing och rivning står för en mindre del.

Som konsument finns flera val vid renowing, byte av utrustning eller beteende och vanor (Naturvårdsverket, 2008). Utsläppen påverkas mest genom en ändring av beteende och vanor t.ex genom sänkt inomhustemperatur, minskad varmvattenanvändning, annan energikälla och effektivare elsystem i huset.

Ytterligare ett sätt är att minska boytan (Naturvårdsverket, 2008). Om t.ex. ett hushåll på tre personer som bor på en area större än 120m<sup>2</sup> flyttar till en lägenhet på ca 60m<sup>2</sup> minskar utsläppen med 0,4-0,5 ton CO<sub>2</sub> per person och år.

I kategorin *Resa* ingår endast personresor då godstransporter räknas in i de andra kategorierna (äta, shoppa och bo). År 2003 beräknades utsläppen vara 2,5 ton koldioxid per capita (Naturvårdsverket, 2008). Den största posten var utsläpp från drivmedel, där merparten bestod av bensin och diesel. I posten bilar ingår tillverkning och skrotning av bilar. Övriga resor som paketresor och kollektivt åkande räknas också med, medan tjänsteresor hör till offentlig konsumtion.



**Figur 8: Aktiviteten Resa genererade totalt i snitt cirka 2,5 ton CO<sub>2</sub>e per capita 2003 (SCB (2008) och Naturvårdsverket (2008b)). Observera att utsläppen från flyget i figuren enbart inkluderar en del av det privata resandet.**

Det som bidrar mest till resornas klimatpåverkan är bilanvändningen och flygresorna, se figur 8 (Naturvårdsverket, 2008). I Sverige görs miljontals bilresor på kortare distanser, dvs. 2,5-5km. 25% är fritidsresor, 25% inköpsresor och drygt hälften är arbetsresor, där de flesta är kortare än 5km. Korta resor kan ofta ersättas med kollektivt åkande, cykel eller gång, vilket är ett sätt att minska utsläppen. Andra sätt kan vara samåkning, hybridbilar och ett mer sparsamt åkande. Tabell 2 redovisar mängden utsläpp från de olika färdstyperna.

**Tabell 2: Koldioxidutsläpp från olika färdstyper (Naturvårdsverket, 2008).**

			Utsläpp per gång, CO <sub>2</sub>	Utsläpp per år, CO <sub>2</sub>
<b>Kort resa</b>	Cykla eller gå		≈0	≈0
	Bila till/från externt köpcentrum, 10km t/r, en gång i veckan		2 kg	0,1 ton
<b>Pendla</b>	Pendla 5 gånger i veckan; med bil 20km t/r	Volvo V70, bensin	25 kg	1 ton
		Ford fokus, E85	8 kg	0,3 ton
<b>Längre resor per person</b>	Göteborg-Stockholm, flyg t/r		160 kg	
	Göteborg-Stockholm, tåg t/r		3 kg	

Till *Shopping* hör resterande varor och tjänster, och till *Äta* räknas utsläppen från jordbruk till butik.

Sammanfattningsvis säger de olika kategorierna att trenderna idag är:

- Användningen av fossila bränslen har halverats från 2003 till 2008.
- Elanvändningen i hushållen har inte förändrats de senaste åren men däremot har elproduktion från koldioxidfria processer ökat i Norden.



- Personbilstransporter har ökat medan utsläppen har minskat. Detta beror på bränslesnåla bilar och mer biodrivmedel i kollektivtrafiken och övriga transporter. Dock kan en bränslesnål bil leda till att den används mer, vilket är en reboundeffekt.
- Utsläpp från godstransporter har ökat.
- Konsumtion av nötkött och mjölk minskar men trots detta ökar konsumtionen av livsmedel.
- Andel utrikesresor ökar.

## 3.2 Den hållbara familjen

För att koldioxidutsläppen ska komma ner till en hållbar nivå, krävs att utsläppen per person endast är 0,7-1,5 ton.

### 3.2.1 Konsumtionens medeltal

Uppskattningen av koldioxidutsläppen är tagna från den totala konsumtionen i hela Sverige och delat på antalet invånare (Naturvårdsverket, 2008). Detta ger ett medelvärde per person. Det finns många olika grupper och uppdelningar som konsumerar på olika sätt och olika mycket. Nedan följer några exempel på uppdelningar i samhället.

*Inkomst:* Ju högre inkomst, desto högre utsläpp.

*Kön:* Män bidrar till mer utsläpp än kvinnor. Detta beror främst på att män åker bil mer än kvinnor och kvinnor åker mer kollektivt.

*Ålder:* Utsläppen varierar från olika livsfaser då bl.a. resande kan variera.

*Tätort eller lansbygd:* Uppvärmningssystem och dagliga resor skiljer sig ofta mellan tätort och lansbygd.

### 3.2.2 One Tonne Life

I projektet One Tonne Life placerades en testfamilj i ett klimatsmart hus och försökte där minska sina utsläpp från 7,3 ton CO<sub>2</sub> per år till 1 ton (A-hus et al, 2011). De bodde sex månader i ett passivhus med energismarta och energisnåla lösningar samtidigt som de minskade sina transporter och åt mer klimatvänlig mat, t.ex. närodlat och säsongsanpassat.

Familjen gjorde störst framsteg inom transporter och elförbrukning. Med hjälp av elbil, samåkande och sparsam användning minskade utsläppen från transporter med 90 %. På huset installerades solceller och när det fanns behov för tillskottsenergi var detta från en förnybar källa.

Utsläppen minskade då till 2,8 ton CO<sub>2</sub> per person. Som lägst lyckades familjen komma ner till 1,5 ton CO<sub>2</sub> per capita, då de främst reducerade sina utsläpp avsevärt inom matkategorin, se tabell 3.

Tabell 3: De viktigaste åtgärderna som ledde till minskade utsläpp (direkt hämtad från One Tonne Life (A-huset et al, 2011)).

	Mat	Boende & Energi	Transport	Övrigt
<b>Familjens komfortnivå (2,8 ton)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mindre kött</li> <li>Mer vegetarisk mat</li> <li>Slänga mindre</li> <li>Säsongsanpassa grönsaker och frukt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energieffektivt hus</li> <li>Energieffektiva vitvaror &amp; apparater</li> <li>Smartare energibeteende (dusch, tvätt, matlagning)</li> <li>Sänkt inomhus-temperatur</li> <li>Egen produktion av solenergi</li> <li>Köpt el från elproduktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En bil istället för två</li> <li>Elbil med koldioxidsnål el</li> <li>Kollektivtrafik</li> <li>Tåg istället för flyg på semestern</li> <li>Samåkning med elbilen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Köpa kvalité med längre livslängd</li> <li>Köpa alternativ med lägre CO<sub>2</sub> avtryck i produktionen</li> <li>Köpt second-hand</li> </ul>
<b>Familjens miniminivå (1,5 ton)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vegankost</li> <li>Matlåda till jobbet/skolan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minska boytan</li> <li>Extremt noggrann packning av tvättmaskin och mycket korta duschar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rigorös samåkning med elbilen</li> <li>Avstå resande för fritid och semester</li> <li>Undvika buss till förmån för tåg eller cykel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dra ner på fritidsintressen</li> <li>Dra ner på klädköp och annan shopping till minimum</li> <li>Inga café- eller restaurangbesök</li> </ul>

Familjen lyckades inte komma ner på ett ton då detta skulle kräva ännu större förändringar. Det hade krävts att familjen blev självförsörjande vad gäller mat och el. Endast transporter med cykel och till fots hade kunnat göras, vilket inte alltid är rimligt med tanke på avstånd till arbete och skola.

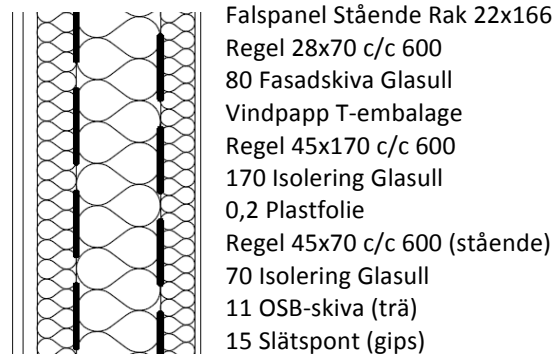
## 4 Metod

Beräkningarna på väggarna ligger till grund för rapporten. Med hjälp av olika LCA-studier sammanställdes väggarnas utsläpp i en tabell. Detta visade vilka material som bidrog mest. Resultaten jämfördes för att se vilken vägg som gav upphov till störst utsläpp. Väggarna utvärderades med hjälp av principerna från hållbart samhällsbyggande, ecodesign och miljöprogrammet för Göteborg. Genom att sätta detta i ett större perspektiv användes klimatkontot.se för att beräkna en familjs genomsnittliga utsläpp. Detta gjorde att materialvalet kunde sättas i relation till livsstilen.

### 4.1 Väggarna

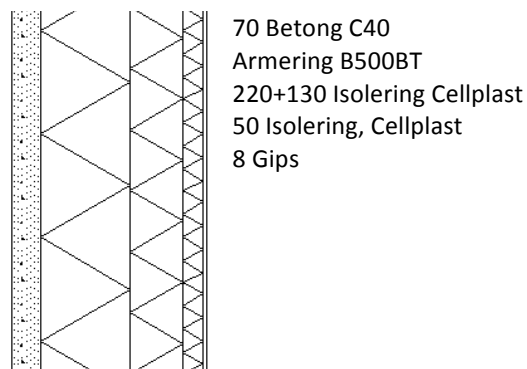
Träväggen är hämtad från Deromes One Tonne-hus, se figur 9. För att jämföra en likvärdig vägg med Deromes trävägg, valdes Klimatväggen från Finja, se figur 10. För att uppnå kraven för en passiv-vägg väljer man att lägga till extra cellplast. Träväggen består av fem olika material; trä, glasull, vindpapp, plastfolie och gips. Betongväggen består av fyra olika material; betong, stål, cellplast och gips.

#### Derome Trävägg



Figur 9: Vägg från Derome, U-värde 0,11 (Derome Hus).

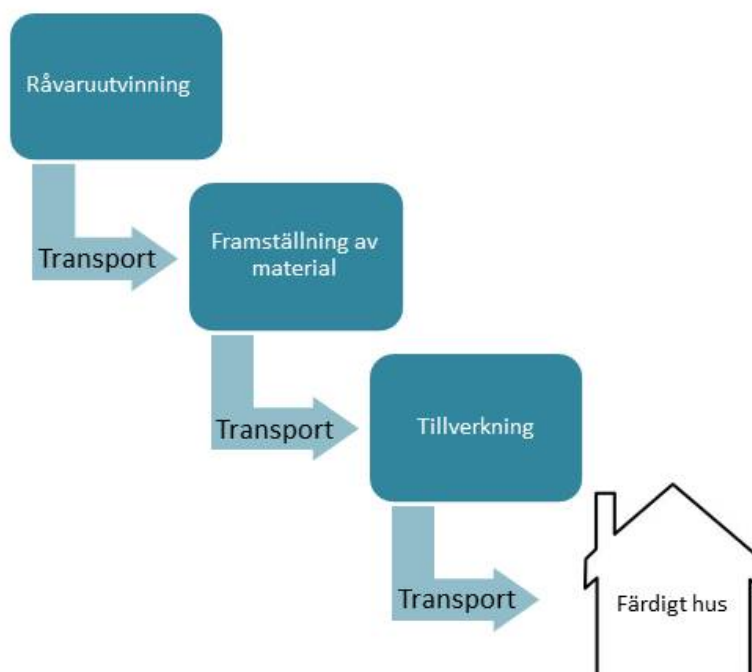
#### Finja Betongvägg



Figur 10: Klimatvägg från Finja, U-värde 0,1 (finja.se).

### 4.1.1 Systemperspektiv på väggarna

I rapporten är beräkningarna genomförda för vägga till grind, dvs. fram till färdigt hus, se figur 11. Driftsfas och avfallshantering behandlas till viss del i analysen men inga beräkningar har gjorts på dessa delar.



Figur 11: Livscykel sett från vagg till grind.

### 4.1.2 Livscykelperspektiv på en trävägg

**Råvaruutvinning** Unga skogar tar upp mer koldioxid än äldre. Detta beror på att i äldre skogar sker nedbrytningen av löv i samma takt som upptagningen av koldioxid, då träden inte växer lika fort och redan lagrat en stor mängd kol. Skogen fungerar som en kolsänka så länge den är oförstörd av människor, bränder och stormar (Börjesson & Gustavsson, 2000). Om skogen avverkas och används som virke eller biobränsle skulle kolet som är bundet i biomassan frigöras i form av koldioxid. Så länge biomassan används i byggnader bevaras kolet i byggnadsmaterialet.

**Framställning av material** Det virke som sågverksindustrin efterfrågar är grovt, rakt, fin- och friskkvistigt timmer med hög densitet, vilket ger virke med god håll- och formfasthet (Trä i Kretsloppet, 1995). Beroende på vilken träprodukt som tillverkas krävs 1,4–2,6 m<sup>3</sup> skog för 1 m<sup>3</sup> färdig produkt (grenar inte medräknade). Produktion av 1m<sup>3</sup> råvirke kräver 2m<sup>3</sup> stam (Börjesson & Gustavsson, 2000).

**Tillverkning** Vid produktion av prefabricerade trärelement krävs mer arbetskraft än för betongelement<sup>11</sup>, då det manuellt måste läggas fram plankor mm. Prefab-hus är dimensionerade så att avfall från produktion blir minimalt.

<sup>11</sup> Christian Kylin, Derome Hus. [2012-01-31]



Då trä är ett lätt material går det åt mindre energi vid transporter av detta jämfört med betong, och ofta är det korta avstånd mellan skog och sågverk (Trä i Kretsloppet, 1995). Sveriges omkring 2500 sågverk gör det enkelt att välja lokalt sågat trä. Vanligast är transporter med lastbil.

### 4.1.3 Livscykelperspektiv på en betongvägg



Cement görs främst av kalksten och lera. Brytningen av kalkstenen är energikrävande liksom brytningen av berg till ballasten (Kikuchi & Kuroda, 2010). Utvinningen av dessa beståndsdelar kräver stora, ofta dieseldrivna maskiner.



Ett av de största bidragen till växthusgasutsläppen är produktionen av cement (Kikuchi & Kuroda, 2010). Produktion av 1 ton cement genererar ungefär 1 ton koldioxid. Ungefär hälften av koldioxidutsläppen från cementproduktionen kommer från kalcineringen av kalksten, processen då kalkstenen bränns och koldioxid släpps till atmosfären.



Vid tillverkning av betongelement är större delen av produktionskedjan maskineri men formen och armeringen måste göras för hand (Gustavsson & Sathre, 2005).



Transporter av betongelement är tyngre än för trä och genererar därmed i högre utsläpp av koldioxid (Björklund & Tillman, 1997). Transporter av cement och färdig betong är också tunga och energikrävande.

### 4.1.4 Övrigt material i väggarna

Fasadskiva och isolering i träväggen utgörs av glasull. Vid tillverkning används både glas och glasull (Byggvarudeklaration Isover Glasull). Enligt Byggvarudeklarationen från T-embalage för vindpappen kan den inte återvinnas eller återanvändas. Plastfolien kan återvinnas men inte återanvändas.

Cellplast från betongväggen kan återanvändas om den är hel och materialåtervinnas om den är ren (Cellplast Direkt, 2005). I övriga fall kan den energiåtervinnas.

## 4.2 Livscykelinformation och litteratursökning

För sammanställningen av livscykelanalyserna genomfördes en litteraturstudie på befintliga LCA-rapporter för trä respektive betong. För att ta fram dessa användes diverse hemsidor och olika sökmotorer, t.ex. Google Scholar och Scirus. För fullständiga sökord och sökfraser, se bilaga 2.

### 4.2.1 Funktionell enhet och avgränsning

Studien jämförde två olika väggar som uppfyller samma isoleringskrav. Materialen som ingår i de olika väggtyperna kvantifierades per m<sup>2</sup>. Genom att granska tidigare livscykelanalyser och byggvarudeklarationer beräknades mängden koldioxidutsläpp per

m<sup>2</sup> som väggarna bidrar med. Utsläpp från materialens transporter lades till i beräkningarna för att få en total mängd koldioxidutsläpp.

Den funktionella enheten är alltså:  $kg\ CO_2/m^2\ yttervägg$ .

I beräkningarna gjordes avgränsning till endast yttervägg. Gipsskivan och ytbehandlingar inkluderades inte i koldioxidberäkningarna, då montering och applicering sker i efterhand.

För att förenkla jämförelsen förutsattes husens prestanda vara lika; både trä- och betongväggen var passivväggar med samma U-värde, det vill säga värmegenomgångskoefficienten som beskriver isoleringsförmågan. Användningsfasen räknades inte med i livscykelanalyserna. Inga beräkningar gjordes på rivning och avfallshantering, men dessa punkter tas upp i diskussionen.

Beräkningarna på individens utsläpp gjordes via klimatkontot.se. Ingen hänsyn till verktygets uppbyggnad och antaganden togs. Här är den funktionella enheten ton CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2 Inventeringsdata

Intervjuer med Christian Kylin på Deromes gjordes och ett studiebesök anordnades på A-hus, som är en del av Deromegruppen, där prefab-produktion av huselement sker. Studiebesökets syfte var att visa processen vid tillverkning av väggelement.

Den livscykelanalys som främst användes i studien var Björklunds: LCA of Building Frame Structures, då den var detaljerad och anpassad till byggindustrin. Datan som hämtades hade enheten kg CO<sub>2</sub>-utsläpp/kg material. Övrig information om hållbar utveckling och livscykelanalyser togs från böcker och artiklar. Den boken som användes mest var Hållbar Utveckling av Gröndahl och Svanström.

Färdiga prefabyttväggar hämtades från Derome och Finja. Byggvarudeklarationer för ingående material hämtades från företagshemsidor, se bilaga 2. På Skogsindustriernas respektive Träguidens hemsida fanns information om trä och återvinning. Strategier inom FN, EU och Sverige hämtades från officiella publicerade dokument.

Ur Miljöanpassat byggande Göteborg valdes relevanta delar ut för studien, t.ex. riktlinjer för val av material, se bilaga 1. Programmet hämtades från Fastighetskontorets hemsida.

#### 4.2.3 Beräkningsmodell

Allt material som ingick i respektive vägg kvantifierades. Koldioxidutsläppet räknades ut med hjälp av tidigare LCA-studier som t.ex. Björklunds Building Frames Structures, och byggvarudeklarationer från olika leverantörer, bl.a. Isover. För beräkningsgång, se exemplet nedan.

För materialet Cellplast:

Massan räknades ut med hjälp av densiteten (känd) och volymen (beräknad från mängd ingående material i väggen).

$$\rho \times V = m$$

$$30 \times 0,4 = 12 \text{ kg}$$

Massan multiplicerades sedan med CO<sub>2</sub>-utsläppen per kg (känd från livscykelanalyser alternativt byggvarudeklarationer) för att få det totala koldioxidutsläppet.

$$m \times u = t$$

$$12 \times 130 = 1,56 \text{ kg}$$

Resultat: Det totala koldioxidutsläppet för 1m<sup>2</sup> cellplast är 1,56kg.

Utsläpp för transporter räknades ut med hjälp av Green Cargos miljökalculator EcoTransIT. Genom att skriva in vikten av materialet som transporteras, de två orterna mellan vilket materialet transporteras samt transportsätt, räknade programmet ut energiåtgång och koldioxidutsläpp, se bilaga 3. I kalkylen räknades även sluttransport av färdigt element till Billdal.

För att sätta väggarna i kontext med ett större system, i det här fallet ett bostadshus i Billdal, räknades arean för ytterväggarna för ett bostadshus på 147kvm ut. Genom att använda klimatkontot.se kunde utsläpp från användningsfasen, beroende av en familjs livsstil, beräknas. Utöver detta gjordes en variationsanalys.

#### 4.2.1 Klimatkontot.se

IVL Svenska Miljöinstitutet AB har sammanställt ett beräkningsverktyg tillsammans med bl.a. Naturvårdsverket, Sveriges Ingenjörers Miljöfond och Naturskyddsföreningen, med syfte att göra det lättare för individen att räkna ut sin personliga miljöpåverkan (IVL, 2009). Det ska också informera och ge förslag till förbättringar för en minskning av utsläppen. Detta görs för att uppmuntra till förändringar i individens livsstil mot en mer hållbar miljö.

För att sätta individens resultat i kontext redovisas både medelsvenskens resultat och en hållbar nivå, dvs. den nivå som en världsmedborgare måste ha för att uppnå EUs klimatmål att jordens medeltemperatur inte ska höjas med mer än 1,3°C till år 2050.

Klimatkontot tar inte hänsyn till andra miljöeffekter, som t.ex. försurning, utan räknar endast på växthusgaser, dvs. utsläpp av koldioxid, metan och lustgas vilka räknas om till koldioxidekvivalenter. Hela livscykeln på de varor som konsumeras tas med i beräkningen; från råvaror till avfall.

Frågorna i verktyget är uppdelade i fyra områden: Bostad, Resor, Mat och Övrigt. Kategorin Bostad innefattar energikällor, användning och uppvärmning. Resor behandlar hur mycket reasande som görs med bil, buss, tåg, flyg, båt och tunnelbana. För båda dessa kategorier har ett livscykelperspektiv används för bränslet. Matvanor spelar också roll i individens utsläpp. Här används ett vagg- till grindperspektiv då utsläpp vid

förvaring och tillagning är svårt att bedöma. Matkategorin har också förenklats då alla livsmedel inte täcks av frågorna. Den sista kategorin Övrigt syftar främst till individens årliga konsumtion av t.ex. kläder, tidningar, djurfoder etc.

För att bestämma utsläppen för en familj under husets livstid gjordes på följande sätt:

Frågorna besvaras på klimatkontot.se. För frågor, svar och motivering se bilaga 4.

Resultatet fås i ton CO<sub>2</sub>/person och år

För uppskattning av utsläpp över husets hela livslängd multipliceras resultatet med 75år.

Därefter multipliceras värdet med 4, då fyra personer antas bo i huset.

#### 4.2.2 Antaganden

Användningsfasen antogs vara lika för både trä- och betonghuset, då husen var passivhus med samma U-värde. Grundplatta och tak antogs vara av samma konstruktion i både trä- och betonghus.

Inga siffror hittades för koldioxidutsläpp vid tillverkning av vindpapp och plastfolie. Då plastfolien kommer från samma företag som glasullsisoleringen och fasadskivan, och då koldioxidutsläppen för dessa låg i ett stort intervall (<500 g CO<sub>2</sub>/kg material) användes samma siffra för denna. För vindpappen användes också samma siffra då 500g CO<sub>2</sub> är en så stor mängd och det ansågs bättre att i det här fallet överdimensionera resultatet.

För betongväggens ingående material gjordes egna antaganden av leverantörer, för träväggen valdes de som Derome använder.

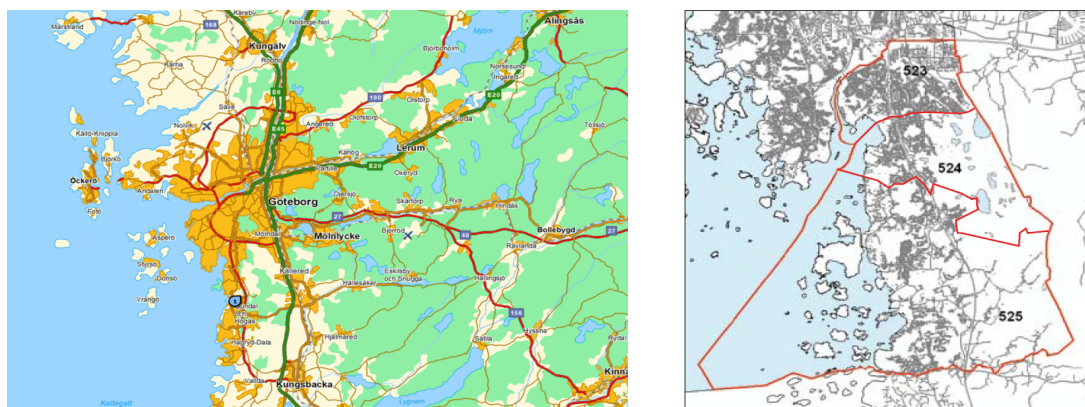
För beräkningarna på klimatkontot.se antogs olika beteenden för tre olika familjer; svenska medelfamiljen, Hulan-familjen och den hållbara familjen. För den svenska och hållbara familjen användes befintlig data. Då Hulan-familjen antas få en miljöutbildning vid inflyttning, baserades svaren på en miljövänligare livsstil. För svar och motiveringar se bilaga 5. För de områden som förmodades påverka utsläppen mest gjordes en variationsanalys, se bilaga 6.

### 4.3 Systemperspektiv på bebyggelse och livsstil

Askim är ett attraktivt område då det är nära till både havet och storstaden. Drygt 75% av bostäderna är friliggande villor eller radhus (Stadsbyggnadskontoret, 2008). I primärområdet Billdal (525 på figur 12) är siffran drygt 85%. Figur 12 visar Askim



placering 525 i förhållande till Göteborg och var i Askim Billdal ligger.



Figur 12: Askim och Billdal i förhållande till Göteborg (hitta.se, Stadsbyggnadskontoret, 2008).

Antalet invånare i Askim är ca 23 000, främst personer i åldrarna 35 och uppåt samt 0-18år (Stadsbyggnadskontoret, 2008). En stor del är höginkomsttagare med en eftergymnasial utbildning.

Säröleden trafikeras dagligen av ca 30 000 fordon, vilka främst ska till Kungälv och centrala Göteborg där arbetsplatserna finns (Stadsbyggnadskontoret, 2008). Askim är den stadsdel i Göteborg med lägst kollektivtrafikanvändande, ca 15% mot Göteborgs 25% (år 2006). Då bebyggelsen är utspridd är ofta avstånden mellan bostad och busshållplats långt.

#### 4.3.1 Deromes mål för Hulan

Hulan är ett område i Billdal, figur 13, som Derome äger och planeras bli ett bostadsområde certifierat efter Göteborg Stads "Program för miljöanpassat byggande" och det svenska systemet Miljöbyggnad (Derome & White, 2012).



Figur 13: Markeringen visar området Hulan (hitta.se).

Deromes energimål för Hulan är att området ska bli självförsörjande genom användning av markvärme, biobränslen samt termiska solfångare (Derome & White, 2012). Syftet är att markvärmerna och energi från solfångarna ska täcka det största energibehovet för tappvarmvattnet från vår till höst. Överskottsvärmen lagras i marken och används till uppvärmning under höst och vinter. När markvärmerna inte räcker till ska biobränsleanläggningen sättas igång. Värme från spillvatten ska kunna återvinnas.

Fördelen med markvärme är att installationen är relativt billig. Dock krävs en stor markyta, men denna kan utnyttjas till annat, exempelvis boskapsmark. Genom att inte utnyttja marken till bebyggelse eller trafiklösningar bevaras grönytorna.

Elen ska komma från förnybara källor. Området kommer att kopplas till Deromes vindkraftverk och varje byggnad kommer att förses med solceller. Husen kommer att förses med elsmarta installationer och styrningssystem. Ett exempel på detta är att det till elsystemet finns en "bortaknapp" som stänger av allt som förbrukar el när huset inte används. Vitvaror och belysning kommer vara av den energisnåla typen. Allt material som används i huset ska vara förnybart, gå att återvinna och orsaka låga CO<sub>2</sub>-utsläpp.

För att minska ingrepp i naturen ställs husen delvis på plintar. Det som uppnås då är minskad sprängning med bortschaktning av sten samtidigt som mängden betong för grundplattan minskar. Derome kommer att prefabricera sina hus för att minska materialspill, transporter och utsläpp.

Bostäderna kommer att byggas i tre delområden, där exploateringen styrs av landskapet. Enligt förslaget kommer det byggas 73 villor, 22 parhus, 28 radhus och 42 hyresrätter/bostadsrätter.

Inflyttade familjer uppmuntras till en mer hållbar livsstil, med bilpooler, gratis årskort på Västtrafik och realtidstavla för energiförbrukning. Det kommer finnas en lättillgänglig återvinningsstation, kompostanläggning och ett återbrukstorg.

## 4.4 Analysstrategi

Analysen är uppdelad i fyra delar. Först jämförs de trä- respektive betongväggen i koldioxidutsläpp från vaggagrind. För att kartlägga för- och nackdelarna med de två väggtyperna med fokus på ecodesign väljs systemgränsen huset. Därefter sätts resultaten i kontext med livsstilen. Slutligen utreds om Deromes vision är realistisk med hänsyn till miljöprogrammets riktlinjer att bygga hållbart.

### 4.4.1 Jämförelse mellan materialen vaggagrind

Genom en sammanställning av data från befintliga rapporter kommer en jämförelse göras. Utsläppen från de olika väggarnas livscyklar kommer att ställas mot varandra i form av tabeller och diagram. Från litteraturstudier kommer för- och nackdelar med de olika materialen att lyftas fram. Vidare kommer valet av perspektivet vaggagrind att analyseras.

Transporter av byggnadsmaterial kommer att diskuteras i form av vilka material som bidrar mest och hur dessa kan minska.

### 4.4.2 Systemgräns huset

Väggarna utvärderas mot dematerialiseringsprinciperna och materialval med hänsyn till REACH. Dematerialiseringsprincipen kommer att tillämpas på exemplet glasull/cellplast. Utifrån avfallshierarkin diskuteras de olika materialens inneboende energi och möjligheter till återvinning och återanvändning.

#### **4.4.3 Användningsfas och livsstil**

Resultatet från klimatkontot.se kommer att användas för att sätta koldioxidutsläppen pga. materialval i relation till husets livslängd. Det kommer att utvärderas hur betydelsefullt utsläppen från husets livscykel jämförelse med de boendes livsstil.

Med hjälp av variationsanalysen syns det tydligare hur olika delar påverkar utsläppen och hur mycket. Detta ger en grund för vilka delar som Derome bör fokusera på i miljöutbildningen för de boende.

#### **4.4.4 Hållbar samhällsplanering**

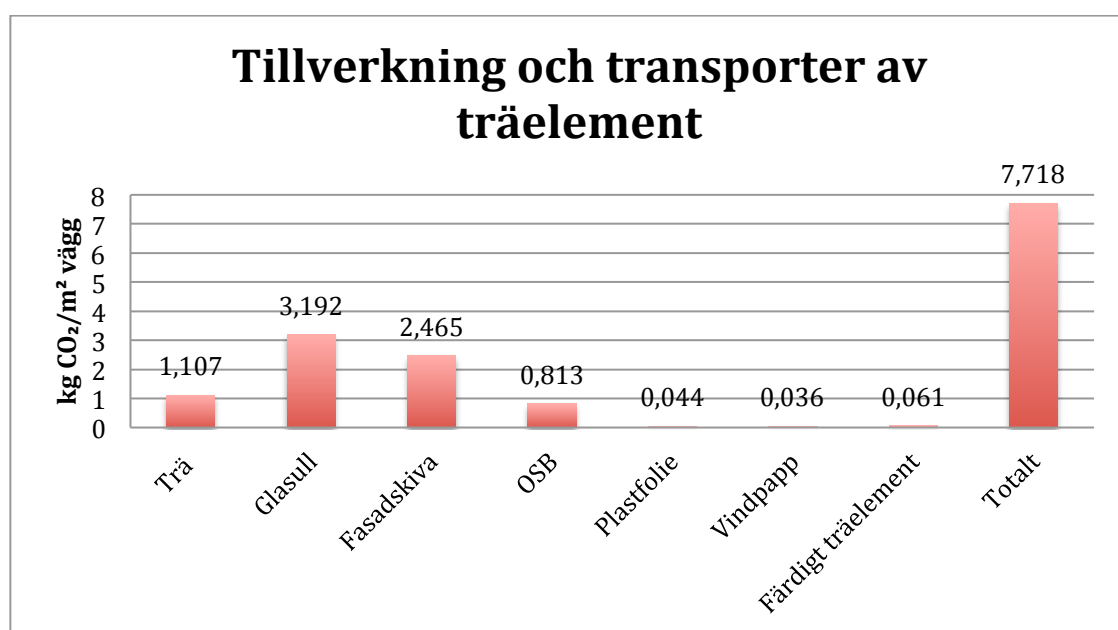
Utformningen av bostadsområdet Hulan utvärderas mot miljöprogrammet. Dessutom undersöks om blandstaden är ett bra koncept för området Hulan och vilka principer som bör beaktas.

## 5 Resultat

Resultaten från livscykelanalyserna visar att träväggen ger upphov till mindre koldioxidutsläpp än betongväggen. Detta beror främst på den energikrävande processen vid tillverkning av betong. Utvärderingen av husets livslängd visar att materialvalet är av mindre betydelse, då individens livsstil står för en stor del av utsläppen.

### 5.1 Resultat från inventeringsanalysen

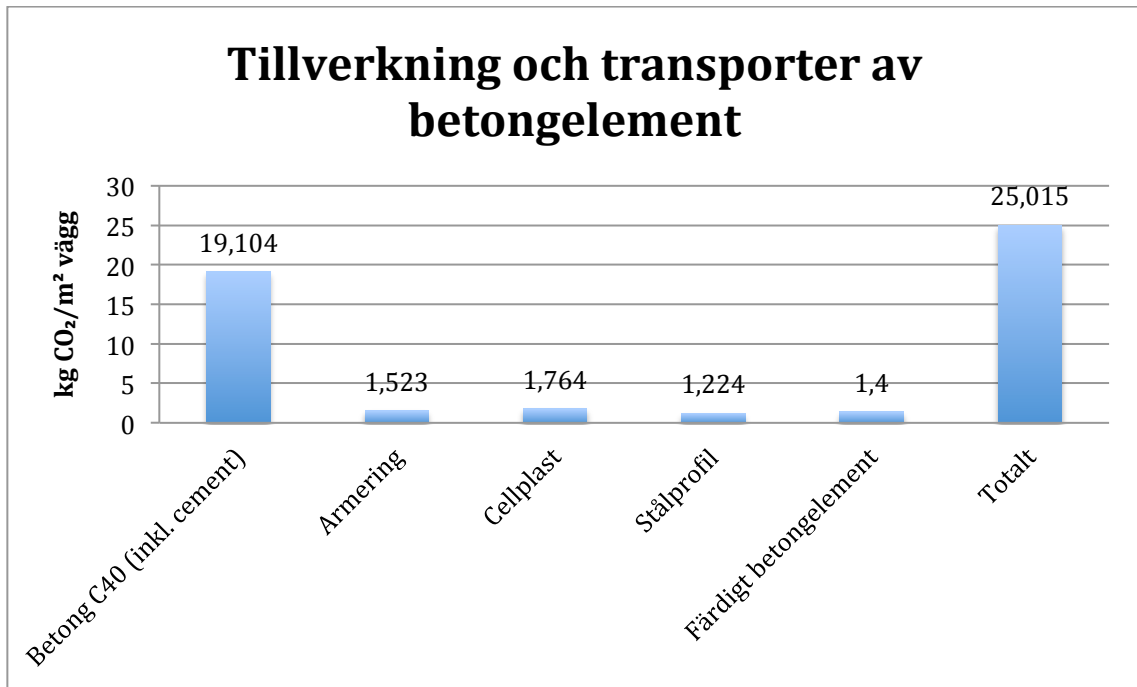
I figur 14 och 15 visas koldioxidutsläppen för tillverkning och transport av en trä- respektive betongvägg. Siffran mäts i kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> vägg. För fullständiga beräkningar se bilaga 3. Tabellerna redovisar utsläppen för varje material.



Figur 14: Tillverkning och transporter av träelement.

För träelementet står glasull och fasadskivan för den största delen av utsläppen, se figur 14. Trots att väggarna uppfyller samma isoleringskrav, är utsläppen för glasull större. Den beräknade volymen är dubbelt så stor för cellplast, vilket innebär att utsläppet för glasullen är drygt tre gånger så stort.

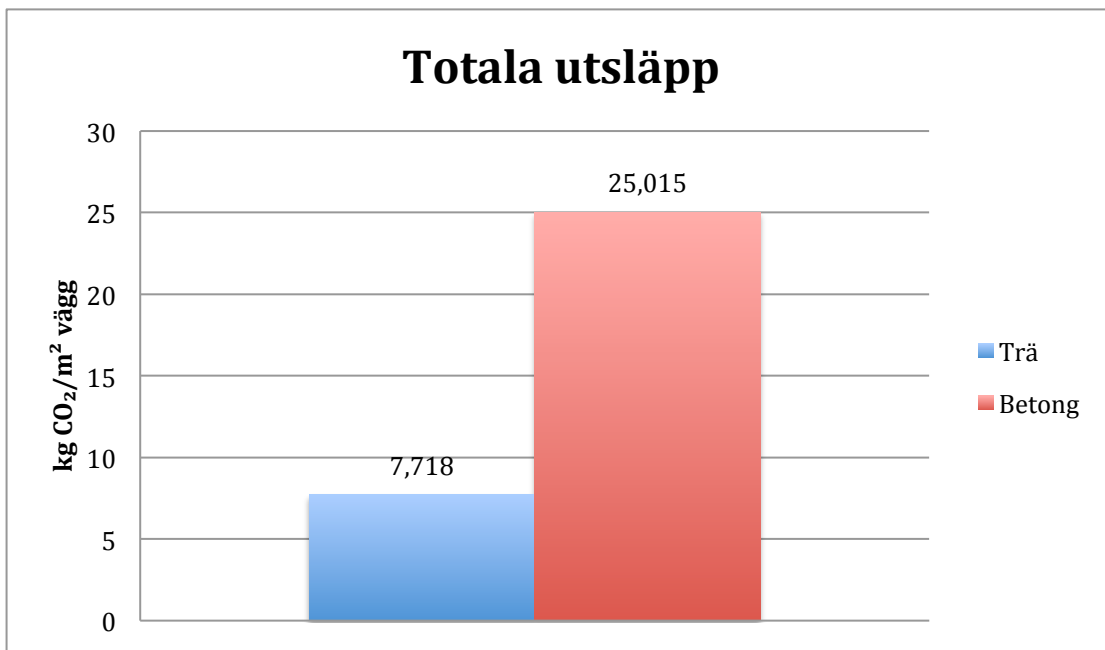
Träet bidrar enbart med 14% av de totala utsläppen och utgör 12% av ingående material, se bilaga 3, vilket är en relativt jämn fördelning.



Figur 15: Tillverkning och transporter av betongelement.

Figur 15 illustrerar hur stor del av utsläppen som tillverkning av betongen står för. Väggen består endast av 15% betong medan 76% av utsläppen orsakas av denna, se bilaga 3. Resterande ingående material står för en mindre del, t.ex. ger cellplasten upphov till 7% av utsläppen trots att den står för 82% av väggen.

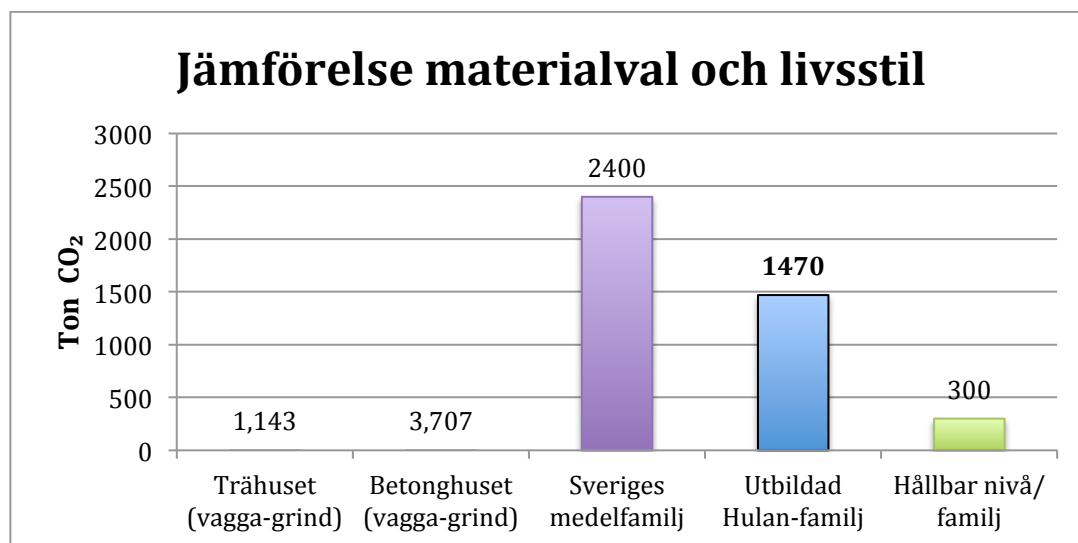
Koldioxidutsläppen för betongelementet utgör tre gånger så mycket som för träelementet. Figur 16 visar den totala skillnaden i ett stapeldiagram.



Figur 16: Beräknade totala koldioxidutsläpp från tillverkning och transporter för betong respektive trä.

## 5.2 Utvärdering bebyggelse och användningsfas

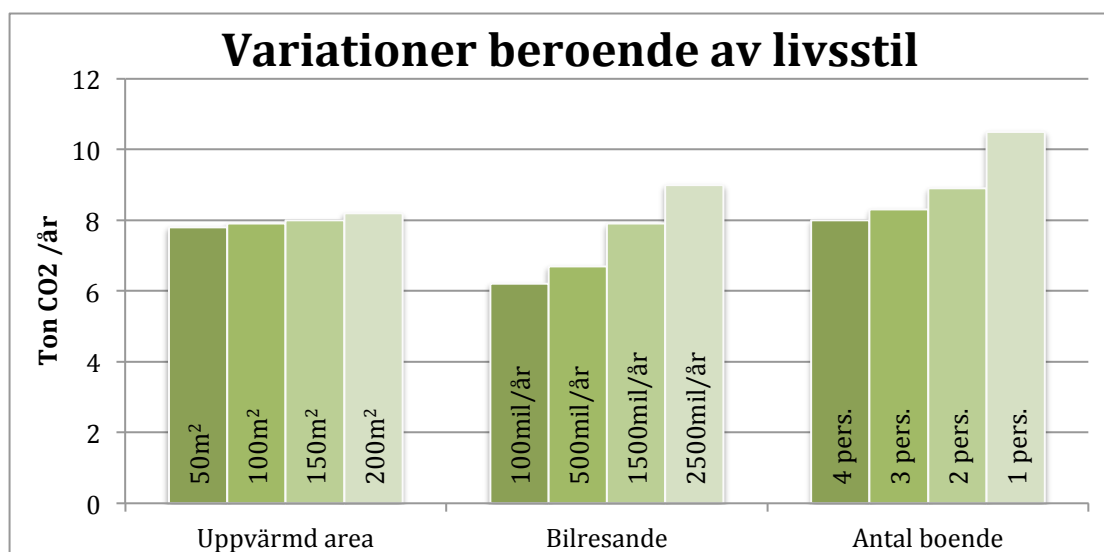
Figur 17 visar hur stor påverkan livsstilen (inkl. driftsfas) har på husets koldioxidutsläpp.



Figur 17: Sammanställning av koldioxidutsläpp för husen jämfört med användningsfasen för en familj (4 personer, 75 år). Notera att värdena för hustyperna är såpass små att staplarna inte syns.

Trots att skillnaden är stor mellan Sveriges medelfamilj och utbildade Hulan-bor är det fortfarande långt kvar till en hållbar nivå. Sett i systemgränsen livsstil är materialvalet näst intill obetydligt, då den står för en mycket liten del av utsläppen. I perspektivet vagga till grind däremot är materialvalet betydande.

Nedan visar figur 18 en variationsanalys med några av de områden som påverkar individens koldioxidutsläpp. Det är många områden och beteenden som tillsammans ger höga koldioxidutsläpp. I figuren syns tydligt hur boarean, bilresande och antal boende påverkar individens utsläpp. Dessa resultat är baserade på normalvärden för en medelsvensk. För fler variationer se bilaga 6.



Figur 18: Variationer i boarea, bilresande och antal boende med utgångspunkt från Klimatkontots medelsvensk.

## 6 Analys

Analysen består av fyra delar. Koldioxidutsläppen för trä- respektive betongväggen jämförs i perspektivet vaggagrind. I systemgränsen huset kartläggs för- och nackdelarna med utgångspunkt i ecodesign. Genom att ställa resultaten mot livsstilen sätts väggarna i ett större perspektiv. Slutligen används miljöprogrammet för att utreda Deromes mål för Hulan.

### 6.1 Jämförelse mellan materialen vaggagrind

Studier har visat att användningen av trä i konstruktioner generellt resulterar i lägre energianvändning och koldioxidemissioner än vad användningen av betong gör i vaggagrind (Gustavsson & Sathre, 2005). Enligt Eriksson (u.å.) kommer en ökad användning av trä i konstruktioner utan tvekan att ha en positiv effekt på den totala energianvändningen och på utsläpp av växthusgaser. Det stöder också resultatet i den här rapporten.

Enligt inventeringsanalysen bidrar träväggen till en tredjedel så mycket koldioxidutsläpp som betongväggen. Trots att materialen trä respektive betong utgör ungefär lika stor del av väggarna, orsakar betongen drygt fem gånger större utsläppen än vad trä gör.

Perspektivet vaggagrind gynnar träet, då livslängd och underhåll inte är medräknat. Eftersom betongen är mer beständig och kräver mindre underhåll så skulle ett vaggavaggaperspektiv var mer rättvist. Skillnaden skulle minska men troligtvis inte så mycket att det skulle vara bättre att bygga i betong sett till koldioxidutsläpp.

Perspektivet vaggavaggagrind skulle gynna betongen med tanke på karbonatisering. Betongens upptagning av koldioxid beror på dess karbonatiseringshastighet och hur mycket av betongens yta som exponeras för koldioxid. I studien av Pade & Guimares (2007) gjordes en beräkningsmodell där betongen låg exponerad för luft i 30 år. Att låta högar med krossad betong ligga så länge anses dock inte vara rimligt då betongen ofta återanvänds direkt. Dessutom skulle betongen vändas för optimal upptagning av koldioxid, vilket även detta verkar orimligt då det skulle kosta pengar och arbetskraft. Undersökningen visade att karbonatisering av betong på Island endast var 37% på grund av att den inte krossades, vilket troligtvis ligger närmare verkligheten. Emellertid är studier om karbonatisering relativt nya och väldigt varierande. Det behövs ytterligare forskning kring detta för att med säkerhet kunna användas i livscykelanalyser.

Genom att begränsa livscykeln till vaggagrind bortses återvinningen. Det flesta av materialen går att återvinna men hur energikrävande detta är framgår inte av rapporten, vilka hade behövts för ett säkrare resultat.

#### 6.1.1 Transporter

Transportsträckan har en viktig inverkan på energi och koldioxidbalanser för både trä- och betongbyggnader (Gustavsson & Sathre, 2005). Detta på grund av att fossila bränslen används vid transporter för råmaterial, tillverkning och färdigt material från fabriker till byggplats. Det är tydligt att lokala fabriker för material kan hjälpa till att minska energianvändningen och koldioxidutsläpp.

Vid transport av färdiga väggelement, kan fler trärelement transporteras samtidigt då de inte är lika tunga och mer lätthanterliga än betongelementen. Detta leder till färre och lättare transporter till byggarbetsplatsen för träväggar. Då betongblandningen består av

flera komponenter som kan komma från olika orter, resulterar detta i många tunga transporter. För armeringen, som också ingår i väggen, krävs ofta långa transporter eftersom de flesta gruvor finns i norr. Här är det mer fördelaktigt med trä eftersom skog finns utspritt över hela landet, vilket gör avstånden till fabriken kortare. I den mån det går är det bättre att transportera material med eldrivna godståg istället för med lastbilar. I vissa fall är detta inte möjligt, t.ex. för sista sträckan till byggarbetsplatsen.

Ett sätt att minska transporter är att i förväg planera vilka transporter som behövs vid en viss tidpunkt och samköra så mycket som möjligt. Att välja en annan metod, som t.ex. att bygga med prefabricerade element, kan vara ett ytterligare sätt.

## 6.2 Systemgräns huset

Vid planering av nya projekt är det viktigt att inte bara se till funktionen idag, utan byggnaden ska fungera i framtiden och tillsammans med sin omgivning. Byggindustrin har ett stort ansvar när det gäller val av leverantörer, material och energikälla. För att minska avfallsflödena och utsläpp av farliga kemikalier föreslås att alla byggföretag använder sig av REACH och att alla byggnader konstrueras med tanke på att de i framtiden ska återvinnas.

### 6.2.1 Ecodesign

Det är viktigt att redan i tidigt skede börja planera för att huset ska återvinnas, så kallad ecodesign. Bra ecodesign leder till en minskad användning av farliga kemikalier och senare till enklare avfallshantering vid rivning.

I teorin går det att återvinna hela byggnaden men i verkligheten sker inte detta då det är tidskrävande och inte alltid lönsamt. Med hjälp av ecodesign kan separeringen vid rivning och avfallshantering av byggnaden effektiviseras. Detta ökar förutsättningarna för återanvändning, då det blir enklare att sortera material. För att ytterligare underlätta för återanvändning är det viktigt att fabriker och byggarbetsplatser förtydligar hur materialavfall ska hanteras och se till att det hamnar på rätt plats.

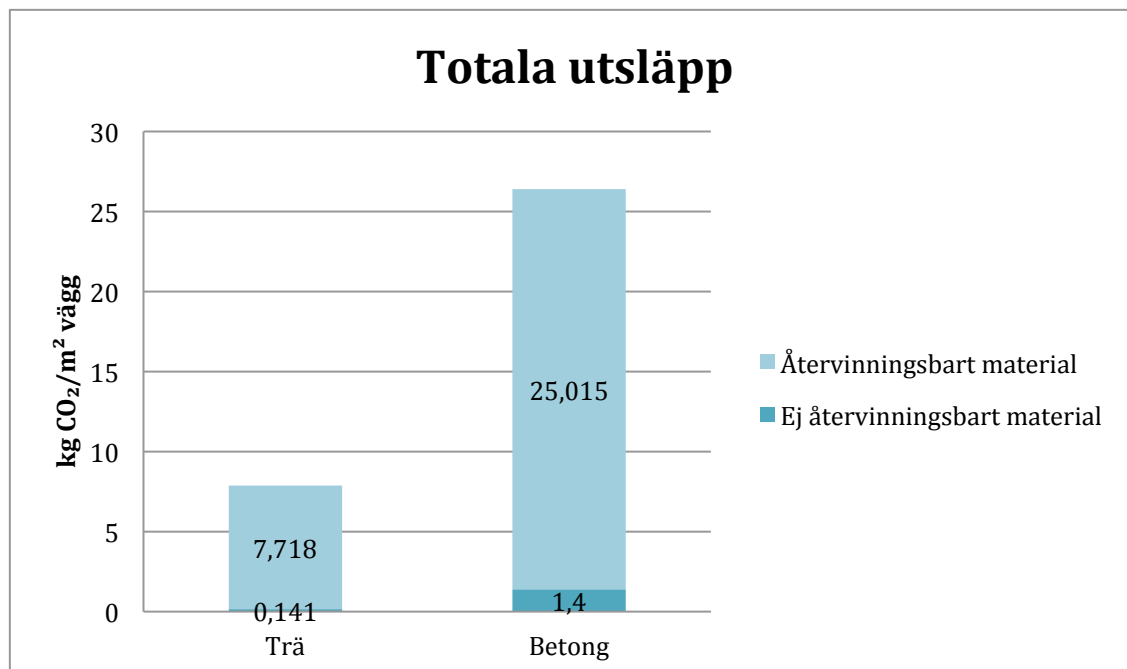
Träelementen är lätta att separera del för del utan att de olika materialen förstörs. Detta gör det lättare att återanvända materialen. Träet i stommaterialet kan användas vid tillverkning av limträbalkar och plywoodskivor. Det är dock inte troligt att det återanvänds som stommaterial eftersom kvalitén på virket inte kan säkerställas när det plockas ned. Den vanligaste återanvändningen är som biobränsle, vilket anses vara bättre än användningen av fossila bränslen. Dock krävs en fortsatt utveckling av energikällor som inte bidrar till stora koldioxidutsläpp. Vindpappen och plastfolien i träväggen är inte lämpliga att återanvända då dessa är svåra att nedmontera hela. Däremot går de att återvinna.

Det är svårt att återanvända hela betongelement eftersom armeringen är dimensionerad för specifika laster. Alla delar i betongelementet går att återanvända med undantag för armeringen som måste smältas ned. För att kunna återanvända betongen måste den krossas och separeras från armeringen. Betongen kan därefter användas till vägar eller som ballast i ny betong.

Genom att materialen kan återanvändas och återvinnas, undviks och minimeras uppkomsten av avfall vilket minskar de totala avfallsflödena i samhället. Då mer material återanvänds minskar också efterfrågan på nytt material.



Enligt livscykelanalyserna för vaggagrind, bidrar betongväggen till tre gånger så stora koldioxidutsläpp som träväggen. Figur 19 visar hur stor andel av väggen som är möjlig att återvinna, dvs. den inneboende energin. Därmed blir andelen koldioxidutsläpp från vaggagrind ännu mindre, vilket gör materialvalet mindre viktigt. Dock kommer det vid återvinning ändå krävas energi vid exempelvis separering av armering från betong.



Figur 19: Andel vägg som inte går att återvinna.

### 6.2.2 Dematerialisering av väggarna

Genom att byta ut material som inte är återanvändningsbara till sådana som förlängs livscykeln för materialen i väggen, vilket medför en mindre miljöbelastning. Genom att försöka ta fram material med flera funktioner minskar antalet material i väggen, dvs. dematerialisering. Detta gör det lättare att sortera vid rivning.

Ett exempel: Enligt koldioxidberäkningarna gav glasull i träväggen upphov till större utsläpp än vad cellplasten i betongväggen gjorde. För att förbättra träväggen skulle glasullen kunna bytas ut mot cellplast. En snabb beräkning visar att mängden cellplast som krävs för samma isolerförmåga blir densamma som för glasullen. Dock kan det uppkomma rebound-effekter. Cellplast är svårt att få tätt, vilket gör att köldbryggor uppkommer lättare och detta i sin tur leder till högre uppvärmningskostnader och energiförbrukning.

## 6.3 Användningsfas och livsstil

Sett ur livscykelperspektivet vaggagrind är trä bättre än betong, men satt i ett större system står dessa endast för en bråkdel av de totala utsläppen under byggnadens livslängd. Resultaten visar att användningsfasen för en Hulan-bo ger upphov till 1470 ton CO<sub>2</sub>. Jämfört med materialens utsläpp på 1,143 ton för trä och 3,707 ton för betong är

detta en mycket stor siffra som kanske t.o.m. ifrågasätter om det verkligen spelar någon roll vilket materialval som görs.

Trots att en Hulan-boende är lever på ett mer miljövänligt sätt än medelsvensken krävs det större förändringar för att komma ner på den hållbara nivån. Dock är det nästintill omöjligt att i Sverige och västvärlden lyckas med detta om inte levnadssättet förändras grundligt. Genom att på klimatkontot.se välja de svar som var bäst miljömässigt blev utsläppen 1,6 ton CO<sub>2</sub>, vilket inte når ner till den hållbara nivån på 0,7-1,5 ton. För att kunna nå den hållbara nivån krävs att man slutar använda bränsle- och eldrivna transportsätt, slutar konsumera och blir självförsörjande vad gäller energikälla och mat. Att genomföra detta i Sverige är svårt, pga. av samhällets uppbyggnad, normer och värderingar. Bilen är nästintill nödvändig idag, då de stora varuhusen ligger utanför innerstaden och samhället strävar efter en hög konsumtion.

Variationsanalysen visar ett par delar som påverkar utsläppen från individens livsstil. Framförallt är det bilresandet som påverkar, och det är troligtvis också denna del som är lättast att förändra, då det finns många alternativ till denna; cykel och tåg i första hand, därefter buss.

Genom att anta att en normal storlek på en villa är mellan 100 och 250m<sup>2</sup> så syns att det skiljer en del i enbart utsläpp p.g.a. uppvärmning. Dock är det inte rimligt att bo i ett småhus på 50m<sup>2</sup>, det är inte heller värt att bygga så pass små hus. Istället är det bättre att bygga flerbostadshus, där det går fler personer på mindre yta. Enligt "Konsumtionens klimatpåverkan, 2008" går det åt ca 60% mer energi för att bygga en kvadratmeter i ett småhus jämfört med i ett flerbostadshus, vilket är ett starkt skäl ur miljösynpunkt att bygga flerbostadshus.

Antalet boende utgör ytterligare en post i variationsanalysen, där utsläppen tydligt minskar med ökande antal personer. Största skillnaden är mellan en och två boende, vilket visar på att minst två personer bör använda bostaden.

## 6.4 Hållbar samhällsplanering i Hulan

För en hållbar samhällsplanering ska hela systemet samhället tas hänsyn till. Detta kan göras med utgång från blandstaden och Göteborgs miljöprogram.

### 6.4.1 Göteborgs stads miljöprogram

Enligt miljöprogrammet bör miljöstationer vara lättillgängliga och placeras på rimligt avstånd från bostaden för att uppmuntra till god resurshushållning. Det är också viktigt att boende informeras om värdet av källsortering.

Gång- och cykelbanor ska placeras i anslutning till skola, butiker och arbetsplatser, då detta ökar trivseln i området samt minskar bilanvändningen. Genom att lägga kollektivtrafiken i närhet till bostaden ökar användningen. Detta är speciellt viktigt vid planeringen av bostadsområdet Hulan, då Askim är den stadsdel i Göteborg med lägst kollektivtrafikanvändande.

Andra aspekter på hållbart byggande är att planera för alternativa energisystem som till exempel solceller, solfångare och markvärme. Dessa tar vara på lokala resurser och omvandlar dessa till energi vilket kan användas av boende i området. Även miljöprogrammet uppmuntrar till användning av förnybar energi. Dessutom

rekommenderar det till installation av instrument för mätning av energiförbrukning. Detta gör att boende själva kan se och uppmuntras till att hålla nere sin förbrukning.

Miljöprogrammet säger ingenting om individens livsstil beträffande konsumtion och levnadssätt, utan ger endast förslag på utformning av byggnader och samhället. En förbättring skulle vara om programmet gav riktlinjer för att nå ett mer hållbart levnadssätt. T.ex. kan schablonvärden göras för antal körda mil/år, andel vegetarisk kost/vecka, avfallsmängd/vecka osv. Ännu bättre hade varit om dessa värden kunde skrivas in i en standard.

#### **6.4.2 Deromes vision för Hulan**

I Hulan kommer det byggas såväl enfamiljshus som flerfamiljshus, vilket ger en bra blandning och ett trevligt område. Dock hade fördelningen kunnat vara annorlunda sedd ur miljösynpunkt. Parhus och radhus är jämförbara med villorna, vilket innebär att flerbostadshusen endast står för en tredjedel av den nya bebyggelsen. Dessa kommer bli max 4 våningar höga för att passa in i området. Detta är givetvis viktigt, men för att minska miljöpåverkan hade det varit bättre med fler och högre flerbostadshus.

En nackdel med området Hulan är dess placering i förhållande till Göteborg, då avståndet är ca 2 mil. Detta innebär en del pendlande för de som arbetar och studerar i Göteborg. Detta följer inte principen för blandstaden där närhet till alla funktioner ska eftersträvas. Kommunen bör lägga större vikt på att utveckla Billdal, så bilpendlandet minskar och därmed utsläppen. Dock kommer bilpendlandet aldrig försvinna helt, då t.ex högskolor och många arbetsplatser finns i Göteborg. Istället är det en väl utbyggd och lättillgänglig kollektivtrafik som bör eftersträvas för att ge ett bra alternativ till bilen.

Ett förslag är att Derome själva utformar ett program för boende i Hulan, med de riktlinjer som saknas i miljöprogrammet, dvs. hur levnadssättet kan bli mer hållbart genom förändrade vanor. Detta kan göras med utgångspunkt från resultaten i One Tonne life-projektet.

Inom hållbar utveckling i byggbranschen är Derome på rätt väg i sitt projekt att miljöcertifiera ett helt bostadsområde, men då är det viktigt att de boende får utbildning och hjälp när det gäller hur de kan minska sina utsläpp. Om det blir lyckat kommer förhoppningsvis fler byggföretag försöka åstadkomma detta i liknande projekt.

## 7 Diskussion

Nedan diskuteras hur metoden kunnat förbättras, val av beräkningsverktyg samt resultatet.

### 7.1 Metod

Valet av systemavgränsningar, funktionell enhet och inventeringsdata diskuteras nedan. Även de antaganden som gjorts förklaras.

#### 7.1.1 Systemavgränsningar och funktionell enhet

Avgränsningar gjordes till att endast jämföra en yttervägg. Det var svårt att hitta en lämplig betongvägg då många av betongföretagen som kontaktades inte tillverkade småhus. Till sist valdes en passivvägg med U-värde  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mot träväggens  $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Skillnaden på  $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$  bedömdes ha liten inverkan på resultatet. Styrkan i detta var att väggarna hade samma uppvärmningsbehov och kunde då jämföras utan driftsfasen i vaggagrind, och samtidigt ha samma förutsättningar vid jämförelsen av användningsfasen och livstilen.

För att förenkla beräkningarna gjordes avgränsningar till att inte medräkna användningsfasen i livscykeln. Om beräkningarna hade gjorts i ett vaggagravperspektiv hade livslängden gynnat betongen. Dock är skillnaden i resultatet så pass stor att träväggen troligtvis bidragit till ett mindre koldioxidutsläpp ändå. Avfallshanteringen vid rivning räknades inte med i livscykelanalysen eftersom inga siffror på utsläpp hittades.

Systemavgränsning gjordes därefter till en villa där individens utsläpp räknades över 75 år, då husen antogs stå så länge. Här gjordes avgränsning till att gälla en medelfamilj på fyra personer, med samma livssituation över de 75 åren. Egentligen skiljer sig denna över olika faser i livet och en familj kan inte förväntas bo i samma hus i 75 år.

Som funktionell enhet användes  $\text{kg CO}_2/\text{m}^2$  yttervägg för livscykelanalysen och ton  $\text{CO}_2$  för utvärderingen av livstilen. Dessa fungerade utmärkt.

#### 7.1.2 Inverteringsdata; LCA-rapporter och BVD

Främst kom siffrorna på koldioxidutsläpp för framställning av olika material från rapporten LCA of Building Frame Structures. Den är från 1997, så det är tveksamt hur korrekta siffrorna är nu då teknik och processer sannolikt blivit energieffektivare. I dessa ingick både framställning av råvaror samt produktion av material, men troligtvis har processerna förbättrats ur energisynpunkt då utvecklingen mot mer energisnåla maskiner hela tiden går framåt. Det hade varit bättre med nyare studier, men det kunde inte hittas någon som var så omfattande som ovan nämnd.

De värden för material som inte fanns i rapporten hämtades från olika byggvarudeklarationer. Dessvärre var dessa ibland otydliga, då det t.ex. stod att koldioxidutsläppen var mindre än  $500\text{g/kg}$  material. Detta gällde fasadskivan och glasullen i träväggen och då  $500\text{g/kg}$  var en hög siffra i jämförelse med andra material gynnade detta betongen. Trots detta är skillnaden mellan väggarna fortfarande stor.

#### 7.1.3 Antaganden

Skillnaderna antogs bli tydliga vid valet av att endast jämföra ytterväggar. För att räkna på en mer komplett byggnad hade även tak, fönster och dörrar kunnat inkluderas, men dessa antogs vara likadana för de olika husen. Användningsfasen antogs vara lika för

både trä och betong, men i verkligheten står betonghus ca 25år längre än trähus beroende på underhåll.

Flera av transportsträckorna är antaganden, då det var oklart var en del av materialen kom ifrån. I de här fallen valdes platser så nära produktionen av respektive vägg som möjligt. T.ex. valdes Skövde framför Slite vid tillverkning av cement eftersom det ligger närmare produktionsplatsen. Betongväggen antogs vara tillverkad på Strängbetong i Herrljunga, då det ligger relativt nära Askim-Billdal trots att väggen inte kommer därifrån ursprungligen. Sträckorna är inte exakta, de är mellan städer och inte mellan fabriksadressen. Eftersom transporterna står för en liten del av utsläppen så påverkar detta inte resultatet nämnvärt.

## 7.2 Beräkningsverktyg

De offentliga beräkningsverktygen EcoTransIT och klimatkontot.se användes i undersökningen.

### 7.2.1 Green Cargos miljökalkylator EcoTransIT

Vid beräkningar av koldioxidutsläppen för transporter användes enheten  $1\text{m}^2$  vägg för att direkt få ut en siffra. Eftersom det aldrig fraktas enbart  $1\text{m}^2$  av ett material är beräkningen egentligen inte verklighetsbaserad. Det framkommer inte om beräkningsverktyget alltid lägger på ett standardvärde för transport av ett tomt fordon och sedan lägger på vikten, eller om den endast räknar på vikten material. I det här fallet hade det varit bättre med det senare alternativet. Green Cargos beräkningsverktyg användes då företaget ansågs vara pålitligt och aktivt arbeta för hållbarare transporter.

### 7.2.2 Klimatkontot.se

Klimatkontot.se användes för beräkning av utsläpp från användningsfas och livsstil, de detta ansågs vara ett pålitligt verktyg från IVL. Verktygets data är baserad på Naturvårdsverkets rapport om konsumtion som förklarade de olika posterna utförligt.

Det borde funnits fler alternativ att välja mellan på vissa frågor, vilket hade gett ett mer noga resultat. Ytterligare en svaghet var att den hållbara nivån endast bestod av en siffra, som baserades på målen från Kyotoprotokollet. Det hade också varit bättre om det framgått tydligare var denna siffra kom ifrån. Då verktyget endast räknade på en vuxen individs miljöpåverkan stämmer inte värdet för medelfamiljen då i denna rapport likställs barnens utsläpp med vuxnas.

## 7.3 Resultat

Resultaten diskuterar de faktorer som kunde ändrat resultaten för utsläpp från väggarna samt hur livsstilen kan förändras.

### 7.3.1 Materialjämförelse

Studien visade att träväggen genererar lägre koldioxidutsläpp under vaggagrind än vad betongväggen gör. Detta kan dock ifrågasättas med tanke på att det inte finns några siffror på rivning och återvinning och då hela livscykeln alltså inte satts till. Troligtvis går det åt mindre energi vid rivning av en träbyggnad, då de olika materialen inte behöver förstöras vid nedmontering. Betongväggen däremot måste krossas för att kunna separeras från armeringen. Då betongväggen är mycket tyngre än träväggen ( $187\text{kg}/\text{m}^2$  respektive  $38\text{kg}/\text{m}^2$ ), kommer mer koldioxid att släppas ut vid transporter av dessa. Dessutom gör vikten att den inte är lika lätthanterlig som träväggen.

Det finns heller inga siffror på hur mycket koldioxid skogen tar upp. Detta skulle göra skillnaden ännu större då träet tar upp koldioxid som lagras under sin livstid i skogen. Koldioxiden kommer att finnas i träet tills det används som bränsle eller bryts ner i naturen.

### 7.3.2 Livsstilen

Trots att utsläppen för tillverkning och transporter för ett betonghus är tre gånger så stort som för ett trähus, visar resultatet från klimatkontot.se att den här delen står för mycket lite av utsläppen under husets livslängd. Fokus borde i större utsträckning läggas på att få människorna i området att verkligen leva miljövänligt genom t.ex. energisnåla maskiner och källsortering, men framför allt är det viktigt att de boende tar till sig vikten av en minskad bilkörning, minskad konsumtion och minskade avfallsmängder.

Som bilaga 6 visar står bilresor för en mycket stor del av hushållets utsläpp. Här är det väldigt viktigt att kollektivtrafiken verkligen fungerar så bilen inte är första alternativet, då man har mycket att spara genom att undvika bilkörningen. För att folk ska välja kollektiva färdmedel är det extra viktigt att man verkligen satsar på bra kollektivtrafiklösningar; det ska vara enkelt att ta sig till hållplatser, det ska gå täta turer, finnas bra anslutningar och gå snabbt att ta sig till slutdestinationen.

Beroende på matvanor kan utsläppen variera. Genom att minska köttkonsumtionen minskar utsläppen av koldioxid. Enligt testprojektet One Tonne Life blev det bästa resultatet när familjen åt vegankost dvs. inga animaliska produkter. Detta kan bli en stor omställning för en svensk familj där kött- och mejeriprodukter är en stor del i den dagliga kosten.

## 8 Slutsatser

I livscykelanalyserna vaggagrind för trä respektive betong bedöms trä bidra till mindre koldioxidutsläpp än betong, där en m<sup>2</sup> trävägg ger upphov till knappt 8kg CO<sub>2</sub> jämfört med 25kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> för en betongvägg. Betongväggen bidrar således till tre gånger så mycket koldioxidutsläpp som träväggen gör.

Ytterligare en slutsats är att det är viktigt att planera huset från vaggagrind till vaggagrind, dvs. för att huset ska kunna återvinnas, då detta underlättar vid rivning och avfallsflödena kan minska.

När utsläppen från de olika väggarna sätts i ett större perspektiv genom att jämföras med utsläppen från husets driftsfas och individens livsstil bidrar materialen med en ytterst liten del, då livsstilen och husets driftsfas står för den största delen. Information och utbildning kan minska dessa utsläpp. Dock är det svårt att i Sverige, med det levnadssätt och den teknik som finns idag, komma ner på den hållbara nivån 1,5 ton koldioxidutsläpp per person och år.

Derome bör i planeringen av Hulan ta in aspekter som saknas i miljöprogrammet och ge tydlig information till boende om hur de kan minska sina utsläpp. Transportsättet är den viktigaste livsstilsförändringen, där det underlättar med en väl utbyggd kollektivtrafik.

## Referenser

- A-hus, Vattenfall & Volvo. (2011) *One Tonne Life*.
- Bellander G & Boverket. 2005. *Blandstaden: ett planeringskoncept för hållbar bebyggelseutveckling?* Boverket
- Björklund, T. (1999) *Environmental Assessment of Building Systems*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Björklund, T. & Tillman, A-M. (1997). *LCA of Building Frame Structures – Environmental Impact over the Life Cycle of Wooden and Concrete Frames*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Blixt, L. & Harmath, L. (2010). *Uttorkning av betong – Mätning samt modellering*. Examensarbete. Halmstad: Högskolan i Halmstad.
- Brandsäkert.se. (2011). *Cellplast – en tickande bomb*.  
<http://www.brandsakert.se/2011/0617/cellplast-en-tickande-bomb> [2012-06-17]
- Brunklaus, B. (2008) *Organising matters for the environment*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Brunklaus, B. & Baumann, H. (2002) *Vad innebär ett ökat träbyggande i Sverige för miljön?* Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola
- Byggmentor.se. (2011) *Så länge håller huset: lista över livslängd*.  
<http://byggmentor.se/renovera/sa-lange-haller-huset-livslangd/> [2012-06-29]
- Börjesson, P. & Gustavsson, L. (1999) Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. *Energy Policy*, nr. 28, ss. 575-588.
- Carlson, P-O. Lilliehorn P. Erlandsson, M. & Kindembe, B. *Uppdatering av Byggsektorns Miljöutredning* (2000). Kretsloppsrådet. (2008-05-07).
- Cellplast Direkt. (2005). *Byggvarudeklaration ESP-cellplast*.
- Derome & White. (2012). *Hulan älskar trä(d)*. [2012-04-02]
- Dinbyggare.se. (2011) *Fasadrenovering av putsad fasad*. [2012-06-29]
- Dodoo, A. Gustavsson, L. & Sathre, R. (2008). Carbon implications of end-of-life management of building materials. *Resources, Conservation and Recycling*, Nr. 53, ss. 276-286.
- Ekvall, T. (2006). *Miljöaspekter på val av stommaterial i byggnader*. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Elwing, C & Sjögren, K. (2006). *Prefabricerade hus – en fråga om kvalitet, ekonomi och byggtid*. Examensarbete. Växjö: Växjö Universitet.
- Eriksson, P-E. *Comparative LCA:s for Wood and Other Construction Methods*.
- European Commission. (2012). *REACH*.  
[http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach\\_intro.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm) [2012-05-02]
- European Commission. (2012). *Energy Efficiency – Eco design of energy using products*.  
[http://ec.europa.eu/energy/efficiency/ecodesign/eco\\_design\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/ecodesign/eco_design_en.htm) [2012-05-10]



- European Commission Climate Action – Energy for a changing world. (2011). *EU Action against climate change*. [http://ec.europa.eu/climateaction/eu\\_action/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/climateaction/eu_action/index_en.htm) [2012-05-02]
- Fastighetsnämnden (2009). *Miljöanpassat byggande Göteborg*.
- Freilich, D. & Jagrén, L. (2009). *Sveriges Byggindustriers program för hållbart byggande*.
- Green Cargo. (2008). *Miljömärkta Transporter*.  
[http://www.freebook.se/UserFiles/SiteVersionId\\_11/File/miljoboken/green\\_cargo\\_08.pdf](http://www.freebook.se/UserFiles/SiteVersionId_11/File/miljoboken/green_cargo_08.pdf) [2012-05-15]
- Grönvall, F. & Svanström, M. (2010). *Hållbar utveckling – en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Stockholm: Liber.
- Gustavsson, L. & Sathre, R. (2005). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, Nr 41, ss. 940-951.
- Husvillaguiden. *Betongplatta*. (2008-2012)  
<http://www.husvillaguiden.se/betongplatta.php> [2012-12-10]
- Isover Glasull. (2007). Byggvarudeklaration. [2012-03-03]
- Isover Glasull. (2012). Säkerhetsdatablad. [2012-03-03]
- Johansson, I. & Rautio, K. (2010). *En jämförelsestudie av koldioxidutsläpp för en byggnad med trä- respektive betongstomme ur ett livscykelerspektiv*. Examensarbete. Gävle: Högskolan i Gävle.
- Miljödepartementet. (2011). *Agenda 21*. Regeringskansliet.
- Miljökontoret. (2004). *Miljökontoret informerar om torra toalettsystem och latrinkompostering*. [2012-05-03]
- Naturvårdsverket. *Bygg- och rivningsavfall* (2011-04-13).  
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Produkter-och-avfall/Avfall/Minska-avfallsmangd-och-farlighet/Bygg--och-rivningsavfall/> [2012-03-26]
- Naturvårdsverket. (2008). *Konsumtionens klimatpåverkan, Rapport 5903*
- Naturvårdsverket. (2008). *Vad händer med klimatet?*
- Naturvårdsverket. (2011). *Producentansvar*. [2012-06-15]
- Näringsdepartementet. (2004). *Mer trä i byggandet*. Regeringskansliet.
- Nässén, J. Hedenus, F. Karlsson, S. & Holmberg, J. (2011). Concrete vs. wood in buildings - An energy system approach. *Building and Environment*, Nr. 51, ss. 361-369.
- Kikuchi, T. & Kuroda, Y. (2010). Carbon Dioxide Uptake in Demolished and Crushed Concrete. *Journal of advanced concrete technology*, Vol. 9, Nr. 1, ss. 115-124.
- Pade, C. & Guimaraes, M. (2007). The CO<sub>2</sub> uptake of concrete in a 100 year perspective. *Cement and concrete research*, Nr. 37, ss. 1348-1356.
- Rahmann, N. & Wannerskog, A. (2011). *Energianvändning vid Cement- och Betongproduktion*. Examensarbete. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Roper, W. (2006). Strategies for building material reuse and recycle. *International Journal Environmental Technology and Management*, Vol. 6, ss. 313-345.

- Sathre, R. & Gustavsson, L. (2009) *A state-of-the-art review of energy and climate effects of wood product substitution*. Östersund: Mittuniversitetet.
- Sathre, R. & Gustavsson, L. (2008) Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change. *Applied Energy*, Nr. 86, ss. 251-257.
- Skogsstyrelsen. *Sverige är ett skogsland*. <http://www.skogsstyrelsen.se/Upptack-skogen/Skog-i-Sverige/Fakta-om-skogen/> [2012-04-16]
- Skoog, M. & Hilding, A. (2009). *Stommateriell för villor – trä eller betong?* Examensarbete. Jönköping: Högskolan i Jönköping
- SMHI. *Klimatförändringar*. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatforandringar-1.7206> [2012-08-16]
- Stadsbyggnadskontoret. (2008). [13]Askim – Beskrivning av stadsdelen.
- Stadsbyggnadskontoret. (2008). *SDN – Särtryck ur stadsdelsvisa beskrivningar*.
- Svensk Betong. *Livslängd för byggander*. [2012-06-29]
- Thormark, C. (2001). Conservation of energy and natural resources by recycling building waste. *Resources Conservation & Recycling*, nr. 33, ss. 113-130.
- Transport & Environment. (2011) *What's the problem?* <http://www.transportenvironment.org/what-we-do/smarter-road-freight/fuel-taxes> [2012-05-15]
- Träguiden. *Tekniska och ekonomiska skäl*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=849> [2012-03-08]
- Träguiden. *Återvinning av träprodukter*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=968> [2012-02-07]
- Ullstad, E. (2008). *Hållbar stadsutveckling – En politisk handbok från Sveriges Arkitekter*. Sveriges Arkitekter.
- Vestergaard Nielsen, C. & Glavind, M. (2007). Danish Experiences with a Decade of Green Concrete. *Journal of advanced concrete technology*, Vol. 5, Nr. 1, ss. 3-12.
- WCED, World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*.

### Figurförteckning:

Figur 1: Byggnaden bidrar olika miljöproblem (Strängbetong.se).....	3
Figur 2: Avfallshierarki, direkt hämtad från Gröndahl & Svanström (2009).....	8
Figur 3: Koldioxidutsläpp och koldioxidupptag. (Dodoo, Gustavsson & Sathre, 2008). ...	11
Figur 4: Livscykel sett från vagga till grav. ....	12
Figur 5: Olika sektorers koldioxidekvivalentutsläpp, (Naturvårdsverket, 2008).....	16
Figur 6: Utsläppen av växthusgaser från den privata konsumtionen .....	16
Figur 7: Aktiviteten Bo .....	17
Figur 8: Aktiviteten Resa.....	18
Figur 9: Väggbild från Derome, U-värde 0,11 (Derome Hus).....	21
Figur 10: Klimatvägg från Finja, U-värde 0,1 (finja.se).....	21
Figur 11: Livscykel sett från vagga till grind. ....	22
Figur 12: Askim och Billdal (hitta.se, Stadsbyggnadskontoret, 2008).....	27
Figur 13: Markeringen visar området Hulan (hitta.se). ....	27
Figur 14: Tillverkning och transporter av träelement.....	30
Figur 15: Tillverkning och transporter av betongelement. ....	31
Figur 16: Beräknade totala koldioxidutsläpp .....	31
Figur 17: Sammanställning av koldioxidutsläpp för husen .....	32
Figur 18: Variationer med utgångspunkt från Klimatkontots medelsvensk. ....	32
Figur 19: Andel vägg som inte går att återvinna.....	35

### Tabellförteckning:

Tabell 1: Skillnaderna mellan utsläppsområdena (Naturvårdsverket, 2008). ....	15
Tabell 2: Koldioxidutsläpp från olika färdstyper (Naturvårdsverket, 2008). ....	18
Tabell 3: De viktigaste åtgärderna som ledde till minskade utsläpp (A-hus et al, 2011).....	20