

Livscykelanalys på passivhus och normalhus m.a.p total CO₂-utsläpp

Arlind Tahiri



LUND
UNIVERSITY

Livscykelanalys på passivhus och normalhus m.a.p total CO₂-utsläpp

Arlind Tahiri

© Arlind Tahiri

ISRN LUTVDG/TVBH-11/5065--SE(77)

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Denna rapport har gjorts i syfte för examensarbete på 30 högskolepoäng vid Lunds Tekniska Högskola, avdelningen byggnadsfysik.

Handledare har varit Stephen Burke, teknisk doktor. Examinator är Mats Dahlblom, teknisk licensierad universitetsadjunkt.

Meningen med arbetet syftar till att poängtera olikheter mellan stommar, samt driftskiljaktigheter med avseende på koldioxidutsläpp.

Jag vill tacka NCC Teknik i Malmö och Göteborg för den kompetens och tid de lagt ner på mig samt för möjligheten att använda beräkningsprogrammet Anavitor för livscykelanalys av byggnader. Viktiga slutsatser har kunnat dras i arbetet efter utnyttjande av era verktyg.

Då jag jämfört olika projekt på NCC kan jag av företagssekretesskäl inte berätta vilket projekt som är vilket, men projekten skiljs tydligt åt genom hustyperna radhus, flervåningshus, samt byggnadssättet passivhus eller normalhus.

Sammanfattning

Klimatförändringar världen över beror mycket på växthuseffekten vilken beror på de ökade koldioxidutsläppen. Bebyggelser har stor betydelse för klimatförändringarna eftersom energi till byggnader står för hälften av allt koldioxidutsläpp. Därför bör vi, med nytt tänkande, nya boendeformer och med så lite miljöpåverkan som möjligt, börja leva sunt och miljövänligt.

I arbetet har det gjorts litteraturstudier för koldioxidutsläpp, klimatdeklarationer för hus och dess byggnadsdelar. Husen som jämförts är passivhus och normalhus. Bland dessa skiljs husen åt genom att antingen vara radhus eller punkthus (flervåningshus).

Klimatdeklarationer har gjorts genom användande av ett koldioxidberäkningsprogram kallat Anavitor. Programmet gör en livscykelanalys genom att särskilja på allt material i huset genom en produktionskalkyl och genom att ha miljödata för dessa. Dock beaktas inte rivning i programmet. Dessutom har energivärden för driften gett en stor påverkan i totala koldioxidutsläppen. Med detta i hand kan olika slutsatser dras för vilken stomme som ger lägst påverkan ur koldioxidaspekt.

Arbetet visar att trästommar ger ett lägre utsläpp av koldioxid gentemot att välja en stomme av betong. Vidare om man tittar på driften ger passivhusen lägre energianvändning än normalhus och detta resulterar i mindre koldioxidutsläpp orsakade av driften.

Av två i princip likadana radhus, varav ett består av betongstomme och ett av träregelstomme (dock inre väggar av betong) blir utsläppen 23 % mindre i produktionen för fallet med träregelstomme. Om man istället tittar på produktionen för ett radhus, som helt består av en trästomme med endast platta på mark av betong, är koldioxidutsläppen 49 % mindre än fallet med betongstomme. Resultatet är att det ur miljösynpunkt är bäst att välja ett hus som har så låg energianvändning som möjligt och samtidigt är byggt av material som ger låga utsläpp av koldioxid. Totala koldioxidutsläppen under livslängden 50 år blir lägst för passivhus med trästommar i studien.

Abstract

Climate change around the world depend much on the greenhouse effect, which is due to increased CO₂ emissions. Settlements are of great importance to climate change because the energy of buildings stand for half of all CO₂ emissions. That's why we should, with new thinking, new housing forms and with as little environmental impact as possible, begin to live a healthy and environmentally friendly life.

In the work it has been done literature studies on CO₂ emissions, climate declarations for the house and its construction parts. The houses are passive houses compared to normal houses. Among these, the houses are either townhouses or apartment buildings.

Climate declarations have been made through the use of a CO₂ calculation program called Anavitor. The program makes a life-cycle analysis by analyzing all materials in the house by a production calculation and comparing them to the associated environmental data for these materials. However demolition is not taken into account in the program. In addition, the operational energy levels for the building had a significant effect on the total CO₂ emissions. With this in mind, different conclusions can be formed for which framework gives the lowest impact from a CO₂ aspect.

The work shows that wood frame construction has lower CO₂ emissions compared to choosing a concrete framed building. Furthermore, if you look at the operation, passive houses have a lower energy use than normal houses, and this results in less carbon dioxide emissions during the operation phase.

Of two virtually identical townhouses, one composed of concrete and another one townhouse of wood frame (however, the internal walls are concrete), the emissions from production is 23 % lower less for wood framed building. If we look at a townhouse with a wood frame construction and slab on the ground foundation, this reduction is 49% in emissions of CO₂ for the production.

The result is that, from an environmental point of view, it is best to choose a house that has as low energy use as possible while at the same time, is built from building materials which give low emissions of carbon dioxide. The study shows that total CO₂ emissions during a lifetime of 50 years are lowest for passive houses with wooden structures.

Ordlista

Anavitor, koldioxidberäkningsprogram. Beräknar koldioxidutsläpp orsakade av tillverkning av olika byggnadsmaterial samt transport och även driftens påverkan på klimatet.

Anisotropt, material har olika egenskaper i olika riktningar. Trä är anisotropt.

BBR 16, Boverkets byggregler handlar om tekniska minimiegenskapskrav på byggnader. Nummer 16 syftar till att avsnitt 9 och 6:412 ändrats den 1 februari 2009.

Biologisk mångfald, variationer bland allt levande i alla miljöer och ekologiska processer som de ingår i. Detta innefattar mångfald inom och mellan arter och hos ekosystem.

Biomassa, produkter bestående av vegetabiliskt material från jord- och skogsbruk som kan användas som bränsle för utvinning av energiinnehållet.

Betong, blandning av cement, ballast, vatten och eventuella tillsatsmedel.

Betong K30, betongtyp med medelkubhållfasthet på 37 MPa

Board, platta av trä, mineralull eller liknande

Bjälklag, horisontellt bärande byggnadsdel som avgränsar våningar.

Burspråk, utbyggt fasadparti, ofta försett med fönster.

Cellplast, värmeisoleringsmaterial bestående av plast med luftporer.

CFC-föreningar, kol-, klorfluorföreningar. Freon från äldre kylskåp tillhör denna gruppen

Destruenter, nedbrytningsmekanismer.

Drevning, utfyllning av spalt med t.ex. mineralull.

Egenvikt, dvs byggnadsdelens egna vikt.

Elmix, är en mängd olika elkällor med en genomsnittlig emission

Emissioner, är utsläpp av miljö- och hälsoskadliga ämnen från industriell verksamhet. Även buller kan räknas som emissioner.

Fasadbeklädnad, utvändigt beklädnad för att uppnå vissa effekter. Exempelvis träpanel för estetikens skull.

Fenolharts, är en sorts mörkbrun hårdplast som fungerar som lim för mineralullsfibrerna. Detta ger fibrerna en bättre sammanhållning

Fossila bränslen, bränslen som bildats i jordens inre under miljontals år, till exempel kol, olja och naturgas.

Fotosyntes, biologisk process där gröna växter byggs upp med hjälp av solljus, vatten, koldioxid och näringsämnen.

Fiberduk, vattengenomsläpplig väv för att förhindra igensättning av dränering.

Funktionell enhet, är en referensenhet till vilken alla flöden relateras till vid en LCA-studie .

Fönsterbåge, ram vari fönsterruta monteras.

Fönsterkarm, ram (fastsatt i vägg) vari fönsterbåge är monterad.

Fönsterluft, del av fönster avgränsad av båge eller karm.

Gipsskiva, skiva bestående av en kärna av gips med papp på båda ytorna

Hygroskopisk egenskap, förmåga att binda vatten vid normal luftfuktighet.

Hållbar utveckling, Begreppet kom i bruk 1987. Grundtanken för hållbar utveckling är att "tillgodose dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov".

Härdplast, är exempelvis polyester och polyuretanplast. Dessa brinner utan smälta.

Koldioxid (CO₂), gas som bildas naturligt genom andning hos levande organismer.

Fotosyntesen omvandlar koldioxid, vatten och solenergi till druvsocker och syre.

Koldioxid är en växthusgas och bildas vid all förbränning. Biogen koldioxid frigörs när biologiskt material förmultnar eller när biobränslen förbränns. Fossil koldioxid frigörs när fossila bränslen som kol, olja eller naturgas förbränns.

Kompositmaterial, material som består av olika delmaterial till en komposit

Konvektion, lufttransport på grund av lufttryckskillnad.

Klimatskal, utgörs av barriär som skiljer inneklimat med uteklimat.

Klinker, keramiskt material framställt genom bränning av lera.

Köldbrygga, del av byggnadsdel med avvikande värmeisoleringsförmåga.

Limträbalk, balk bestående av minst fyra sammanlimmade trälameller.

Linoleum, golvmatta bestående av linolja samt kork-, trä- och stenmjöl.

Livscykel, livslängden för ett material från produktion till rivning.

Lufttätning, skikt som skall förhindra luftflöde genom en byggnadsdel.

Lättklinker, expanderad bränd och sintrad lera.

Masugn, schaktugn för framställning av smält råjärn

Mineralull, värmeisolering med god värmegenomgångsmotstånd.

Mögel, kommer från mögelsvamp som växer ytligt på trä. Dessa ses som missfärgning och luktar illa. Mögelsporer kan spridas med luften och är allergiframkallande.

Passivhus, energisnåla hus med lufttätt klimatskal och mekanisk ventilation.

Passivkylning, innebär att värme sprids från en varmare plats till en kallare, motsats till aktiv kylning där värme pumpas till en kallare plats.

Plywood, skiva bestående av sammanlimmade fanerlager.

Porositet, är kvoten mellan porvolym och den totala volymen. Den beskriver ett materials ihålligheter.

Produktionskalkyl, innehåller varje material, beståndsdel av en byggnad, Där ingår även transport för materialen för vidare beräkning av CO₂-ekvivalent belastning.

Radiator, värmeelement

Roterugn, lutande roterande ugn med brännare i lägre änden.

Röta, svampangrepp på beståndsdelar av trä. Röttsvampens enzymer spjälkar cellulosan i träet och veden spricker, vilket leder till att trä tappar sin bärförmåga.

Sandwichelement, flerskiktat byggelement ofta med värmeisolering i mitten.

Singel, naturligt stenmaterial med kornstorlek större än 8 mm.

Solfångare, är en takinstallation som omvandlar energin från solstrålar till värme.

Specifik energianvändning, den energi som går åt för uppvärmning, kyla, tappvarmvatten, drift av installationer samt fastighetsel. Hushållsel ingår inte.

Spånskiva, skiva av träspån med speciellt bindemedel.

Stomme, bärande och stabiliserande byggnadsdel.

Stomkomplement, icke bärande byggnadsdel, t.ex. trappa.

Taktäckning, avser det översta skiktet på taket. Ex. takpannor, profilerad plåt m.m.

Termoplast, är exempelvis PVC, polystyren, polyeten. Dessa smälter vid höga temperaturer.

Träfiberskiva, skiva av cellulosafiber vilka binds utan bindemedel.

Uppehållstid, innebär tiden något ämne uppehåller sig i exempelvis luften.

U-värdet, är en egenskap som beskriver hur stor värmegenomsläppligheten är genom ett byggnadsmaterial. Ju mindre U-värde desto bättre värmemotstånd.

U_m , är den genomsnittliga U-värdet för huset även kallat effektiv U-värde.

Vagan till graven, syftar på livslängden från produktion av en vara till att det förbrukats och avverkats.

Växthusgaser. Ett samlingsbegrepp för gaser som bidrar till växthuseffekten (koldioxid, metan, lustgas, fluorerade kolväten, perfluorerade kolväten och svavelhexafluorid). (Skogsindustrierna A, 2010)

Ångspärr, skikt som hindrar fukttransport i ångfas.

λ -värde, värmeledningsförmåga för olika material. Ju lägre värde desto mindre värme leds genom detta material.

Förord	1
Sammanfattning	2
Abstract	3
Ordlista	4
1 Introduktion	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte och mål.....	12
1.3 Metod.....	12
1.4 Avgränsning.....	12
2 Teori	13
2.1 Hus	13
2.1.1 Allmänt	13
2.1.2 Material och deras miljöpåverkan	14
2.1.3 Fönster	28
2.1.4 Ventilation.....	30
2.2 Passivhus	35
2.2.1 Historia	35
2.2.2 Passivhus idag	35
2.2.3 Passivhuskrav	36
2.2.4 Byggnadssätt	36
2.3 Skillnader mellan passivhus och normalhus	37
2.4 Miljöpåverkan	38
2.4.1 Globaluppvärmning.....	38
2.4.2 Källor till ökande koldioxidhalt.....	43
2.5 Livscykelperspektiv	44
2.5.1 Livscykelanalys-LCA.....	44
2.5.2 Fördelar och nackdelar med Livscykelanalys, LCA	45
3 Emissioner för passivhus och normalhus	47
3.1.1 Mineralull	47
3.1.2 Cellplast.....	47
3.1.3 Fönster	47

3.1.4	Drift	47
4	Metod.....	49
4.1	Litteraturstudie	49
4.2	Livscykelanalys	49
4.2.1	Målsättning	49
4.2.2	Omfattning	49
4.2.3	Inventeringsanalys	49
4.2.4	Miljöpåverkansbedömning	50
4.3	Fallstudie	52
4.4	Verktyg	52
4.4.1	Anavitor.....	52
4.4.2	Indata	52
4.4.3	VIP+	56
4.5	Jämförelser mellan radhus och punkthus.....	56
4.5.1	Radhus.....	56
4.5.2	Energirapport för radhusen	57
4.5.3	Punkthus	58
4.5.4	Energirapport för punkthusen	58
5	Resultat	59
5.1	CO ₂ -beräkning Anavitor	59
5.1.1	Radhus.....	59
5.1.2	Punkthus	59
6	Analys	61
6.1	Radhus.....	61
6.1.1	Normalhus.....	61
6.1.2	Passivhus med betongstomme	61
6.1.3	Passivhus med trästomme	62
6.1.4	Sammanfattning.....	62
6.2	Punkthus	63
6.2.1	Passivhus med betongstomme	63
6.2.2	Passivhus med trästomme	63

7	Diskussion och slutsats.....	65
8	Litteraturförteckning.....	69
	Bilaga Radhus Normalhus.....	73
	Bilaga Radhus PH BTG	74
	Bilaga Radhus PH TRÄ.....	75
	Bilaga Punkthus PH BTG	76
	Bilaga Punkthus PH TRÄ	77

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Grundstenen för vår överlevnad är energi. Varje dag måste vi erhålla en mängd energi för att må bra, lära och leva gott. Energi finns i många former. Energi omger oss som värme genom ledning, strålning och konvektion. Detta är viktigt att beakta i de hus vi lever i. Är det kallt i huset fryser vi och blir nerkylda. Vi vill ha det behagligt varmt. Dessa funderingar om hur vi ska leva ställer höga krav på vårt boende var det än är beläget på jorden. I Norden där det är kallt om vintrarna och lagom varmt om somrarna ställs krav på ett gott inneklimat. Genom att ha tjock isolering i väggar, grund och tak släpper huset ut mindre energi ut i form av värme, vilket ger mindre behov av uppvärmning av inomhusluften. Finns det ett mindre behov av uppvärmning så blir det också lägre driftsvärden. Lägre driftsvärden ger också mindre utsläpp koldioxid till atmosfären. I boendet ska också produktionen av huset tänkas på. Vilken stomme vi väljer i huset speglar på utsläppen av koldioxid till luft orsakad av produktion, dock inte lika mycket av drift.

Koldioxid, CO₂, är den växthusgas som det ofta pratas om i våra miljömedvetna samhällen. Vi har blivit införstådda genom skola, media, och politik att koldioxid är ett ökande bidrag till växthuseffekten som orsakar klimatförändringar på jorden. Orsaken till ökande bidrag är vår annorlunda och moderna livsstil samt vår exploatering av fossila bränslen. Detta medvetande leder oss till att försöka hitta bättre sätt för vårt uppehålle på jorden genom att bygga smart, leva hälsosamt samt vara vänliga mot vår natur.

Bebyggelsen har stor betydelse för klimatförändringarna då en stor del av koldioxidutsläppen kommer därifrån. Energi till byggnader står nämligen för 50 % av koldioxidutsläppen runt om i världen.¹ I takt med klimatförändringarna kommer smarta hus av typen passivhus att byggas över hela världen. Ökade energikostnader och strävan efter mindre miljöpåverkan kommer göra att marknaden för dessa hus växer snabbt. Dessutom strävar och arbetar EU mot att som lägsta godtagbara standard införa passivhus redan år 2016. Många europeiska länder strävar efter att införa denna byggnorm redan tidigare och Österrike har redan genomfört den. Passivhus kan byggas i alla klimat överallt i världen eftersom både värmeeffekten och kyleffekten minskar².

Frågan är dock hur mycket mindre miljöpåverkan som passivhus ger gentemot en vanlig villa. Då livslängden för ett hus är mellan 50-70 år kommer klimatet under denna tid att förändras. Fördelarna som passivhus kan ge är då viktiga att ta fram och verkligen jämföra med dagens lägsta godtagbara byggnormer.

¹ (Passivhuscentrum B, 2010)

² (Passivhuscentrum A, 2011)

1.2 Syfte och mål

Arbetet syftar till att i bästa mån

- Ta fram ett livscykelperspektiv för passivhus (radhus samt flervåningshus), och normalhus, (radhus), enligt BBR16-standarden med avseende på totala koldioxidutsläppen. Här undersöks hur olikheterna mellan husen kan påverka miljön med avseende på koldioxid, för vidare klimatpåverkan.
- Dessutom görs en studie av klimatpåverkan för olika stommar för att bedöma hur det kan variera mellan byggnadsmaterial .

1.3 Metod

I arbetet görs en litteraturstudie där fakta samlas från internetkällor, rapporter och böcker. En fallstudie görs där passivhus jämförs med normalhus med avseende på totala koldioxidutsläppen. Dessa hus kommer att jämföras i ett program som gör en livscykelanalys. Programmet kallat Anavitor hämtar indata från IVL:s miljödatas och gör en livscykelanalys utifrån en produktionskalkyl och energiberäkningsvärden. Metoden beskrivs närmare i kapitel 4.

1.4 Avgränsning

Arbetet begränsas till att undersöka två olika standarder, passivhus och normalhus enligt BBR16. Bland dessa kommer olika radhus att jämföras med varandra och olika flervåningshus s.k. punkthus med varandra. Olikheten mellan dessa radhus och flervåningshus kommer att vara trästomme kontra betongstomme. Passivhus kontra normalhus skiljer sig genom att ha olika mycket mängd mineralull i förfarandet och kommer att påverka driften genom lägre energiförbrukning ju mer isolering som används. Dock ger användningen av mer isolering även mer utsläpp av koldioxid till luften. Men denna är liten gentemot hur mycket den sparar i utsläpp.

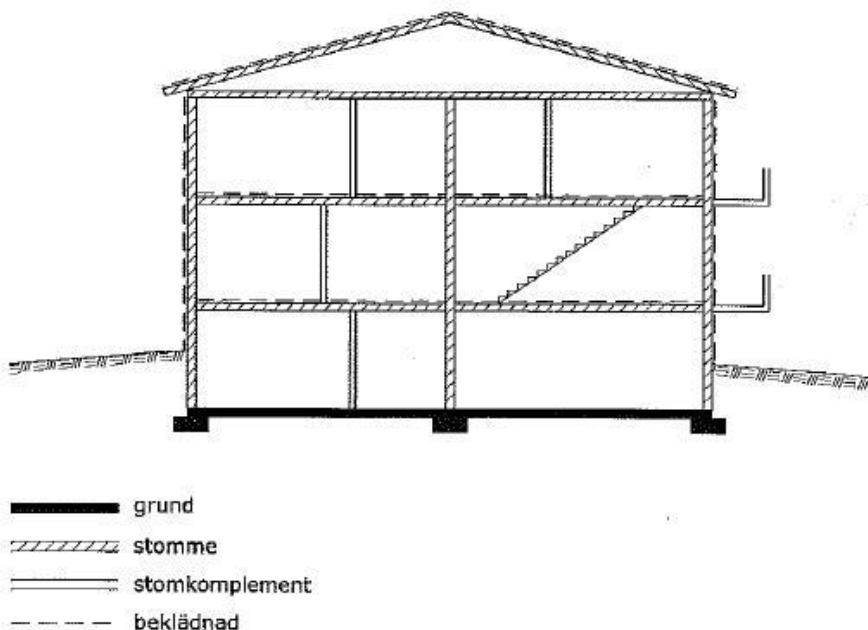
I trästommarna kommer olika träslag att användas, bland annat limträ, sågat virke, plywood och spånskivor precis som i ett vanligt hus. Detta finns med i de olika produktionskalkylerna för projekten. I betongstommarna används betong K30 för vilken klimatdata finns hos IVL. Husen som jämförs är oftast ett dussin hus per projekt i produktionskalkylerna. Dock ska alla utsläpp räknas ned till ett värde per kvadratmeter yta. I beräkning finns utsläpp, orsakad vid framställningen av varje liten byggnadsdel och skruv, medräknat. Där inkluderas även transport av materialen till byggena, men transportresornas längd förutsätts vara samma för alla projekt. Standardtransportlängd för betong anges till 40 km. För övriga byggnadsmaterial motsvarar längden ett medelvärde på 350 km. Begränsningen är att samma projekt ska kunna läggas på ett och samma ställe för en och samma familj, med en och samma hushållsenergiförsörjning. Dock kommer specifik energianvändning att vara olika för de olika projekten.

2 Teori

2.1 Hus

2.1.1 Allmänt

Hur och vad ett hus är uppbyggt av är viktigt att veta ur ett livscykelperspektiv, för både passivhus och normalhus. Alla ingående komponenter har sin delaktighet i husets livscykel och påverkar det totala koldioxidutsläppet. Ett hus består av ett antal huvuddelar vilka inrymmer olika byggnadsdelar. Dessa huvuddelar är **grund, stomme, stomkomplement, beklädnader, installationer, inredning och utrustning**.



Figur 2-1 Definition av byggnadens huvuddelar ³

Grunden är de nedersta bärande delarna som tar laster från stommen och från invändig nyttig last. Här ingår grundplatta, pålar, grundplint, grundmur, grundbalk samt fundament för exempelvis skorsten.

Stommen ska bära upp byggnaden, genom att ta upp och fördela laster ner till grunden. De ingående byggnadsdelarna är grunden, bärande väggar, pelare, bjälklag och takstolar.

Stomkomplement överför inga laster utan ska bära sin egenvikt, vilka de dimensioneras för och ska kunna avlägsnas utan att påverka husets stabilitet.

Byggnadsdelarna är ickebärande väggar, trappor, balkonger och burspråk.

³ (Sandin, 2004) sid 24

Beklädnader används för att klä in klimatskalet med in- och utvändiga ytskikt. Man vill erhålla brand- och fuktskydd, estetiskt tilltalande ytor m.m. Till beklädnader räknas fasadbeklädnad, taktäckning, innertak, invändiga väggskivor och golv.

Installationer är nödvändiga medel i bostaden för vatten- och avloppsförsörjning, uppvärmning, ventilation, belysning, matförsörjning m.m. Till dessa hör ventilationsanläggningen, vatten- och avloppsledningar, rökkanaler, värmeledningar, elledningar, lampor, kyl och frys, spis m.m.

Inredning och utrustning är komponenter som fullbordar huset. Dessa anordningar är permanenta och sitter fast i huset men är dock lätta att byta. Man talar om inredning som köksinredning, dörrar, fönster, garderober etc.⁴

Utifrån det som urskiljer vanliga hus från passivhus lägges fokus på de skiljaktigheter som påverkar det totala koldioxidutsläppet. Där inkluderas stomvalsmaterial, mängden isolering, tätheten i husskalet, fönsterval samt ventilation för gott inneklimat.

2.1.2 Material och deras miljöpåverkan

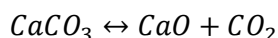
2.1.2.1 Betong

Betong är ett byggnadsmaterial som har använts i bärande konstruktioner i flera tusen år. I dagens konstruktioner förekommer betong i grunder, väggar, bjälklag samt i vägar och broar. Dess enkelhet, formbarhet och beständighet gör den så användbar än idag. Dessutom i härdat tillstånd har den en otrolig tryckhållfasthet. Dessa egenskaper beror mycket på beståndsdelarna i betongen. Beståndsdelar är cement, vatten och ballast (kross, sten, grus, sand) samt tillsatser.

Vattencementtalet är en kvot mellan vatten och cement. Ju mer cement desto lägre vct, och samtidigt mer hållfast betong.⁵

Eftersom betong är ett kompositmaterial är det beståndsdelarna som utgör den direkta påverkan på klimatet.

Cement är en stor bov till koldioxidutsläpp. Vid cementtillverkningen finmals och bränns kalksten i roterugnar vid ca 1450°C. Kalksten (CaCO_3) har bundet koldioxid som avges då det bränns till kalciumoxid (CaO). Reaktionen lyder:

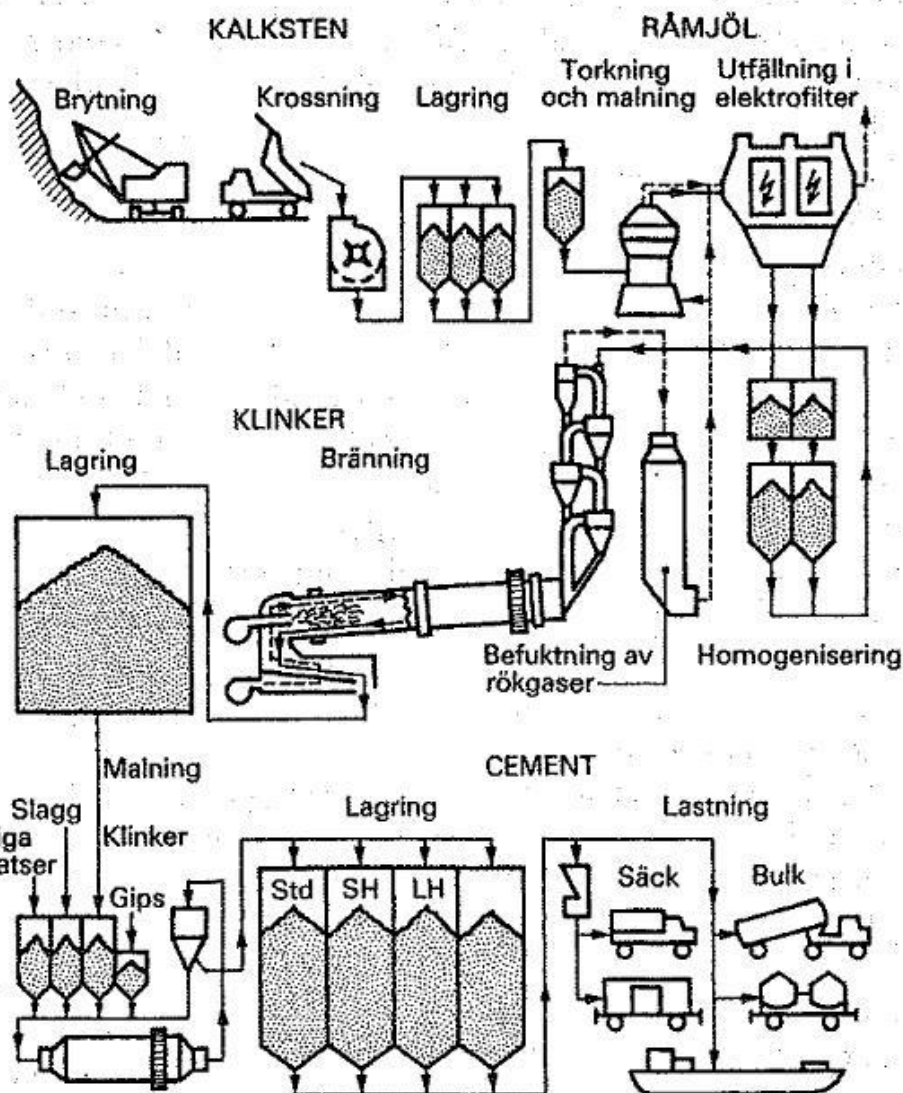


Efter bränningen tappas cementet ut ur ugnen och kyls ned till cementklinker i form av kulor. Cementklinker mals tillsammans med gips för att erhålla en god cement med styrd härdningstid. I Sverige används standard portlandcement sedan lång tid tillbaka. Det innebär att härdningen sker i en standardhastighet, vilken ger den

⁴ (Sandin, 2004) Sid 24

⁵ (Burström, 2007) Sid 204-6

hållfasthet man vill erhålla på 28 dygn. Cementtillverkning enligt torrmetoden illustreras i figur 2.2 nedan.



Figur 2-2 Cementtillverkning enligt torrmetoden ⁶

I blandningen mellan cement och vatten till cementpasta bör normalt vanligt drickbart vatten användas. Man avråds från att använda starkt salthaltigt vatten, som havsvatten medan sötvatten kan användas i spännbetong.⁷

Betong består som tidigare sagt av ballast från olika bergsmaterial. Man skiljer de olika bergsmaterialen genom dess kornstorlekar där kross och sten har(> 8 mm),

⁶ (Burström, 2007) Sid 208

⁷ (Burström, 2007) Sid 211

fingrus ($\leq 8 \text{ mm}$), sand ($\leq 4 \text{ mm}$) samt filler med kornstorlek på ($\leq 0.125 \text{ mm}$). Bland kross och sten brukar man skilja mellan singel och makadam. Singel är okrossat bergsmaterial och runda till formen medan makadam är krossat bergsmaterial med kantig form.⁸

Ballast kan även vara återvunnen krossad betong till krossfraktioner eller grus i mindre fraktioner. Denna ballast räknas med ett värde för $1,465 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ för singel betonggrus med fraktionerna 0 till 8 mm.⁹ Utsläppen kommer från tillverkning av betong och krossning av härdad betong till finfördelade fraktioner.

I lättbetong förekommer det dessutom lättklinker, vilket är lättballastmaterial av expanderad bränd sintrad lera. Framställningen av dessa sker också i en roterugn där den kalkfattiga leran formas till kulor samtidigt som det bränns i 1100°C . Betong med lättklinker erhåller något sämre hållfasthet, men konstruktionen blir lättare och får bättre värmeisolerande egenskaper.¹⁰

I beräkningar som görs för olika projekt enligt IVL:s miljödatabas, refereras ett värde för lättklinker på $0,525 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/kg}$.¹¹

Tillsatsmedel och tillsatsmaterial ser till att påverka en betongs egenskaper i både färskt och hårt tillstånd. Med flyttillsatsmedel fås en lös konsistens som samtidigt har god sammanhållning och ger god hållfasthet. Andra typer är vattenreducerande, luftporbildande, acceleratorer och retarderande tillsatsmedel.

Vanliga tillsatsmaterial i betong är silikastoft, flygaska och mald granulerad masugnsslagg. I Sverige används mest silikastoft, som är en restprodukt och pulver av amorf kiseldioxid. Kornen är väldigt små i jämförelse med cementkornen och reagerar bättre vilket förbättrar betongens sammanhållning och stabilitet. Dock behöver flyttillsatsmedel kombineras med silikastoft för att få bäst effekt.

Kolpulvereldade kraftverk och värmeverk ger restprodukten flygaska bestående av aluminiumsilikat, som också är ett tillsatsmaterial.¹²

Ur värmesynpunkt har betong inte så högt värmemotstånd vilket ger den en dålig isolerande förmåga. Värmetransporten genom en byggnadsdel brukar betecknas med λ i enheten $\text{W}/(\text{m} * \text{K})$ och denna är väldigt hög för betong. Vanligt värde för betong är på $1,7 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$.¹³ $1,7 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$

Betong ger sitt stora utsläpp av koldioxid vid framställningen av cement. Där inkluderas energiåtgång att utvinna råmaterial samt bränsle- och transportbelastning för att framställa cementen. "Cementa" anger ett riktvärde på

⁸ (Burström, 2007) Sid 211-212

⁹ (IVL A)

¹⁰ (Burström, 2007) Sid 280

¹¹ (IVL A)

¹² (Burström, 2007) Sid 213 - 215

¹³ (Burström, 2007) Sid 50

715 kg CO₂/ ton cement, vilken beräknats enligt "CO₂-protokollet" framtaget av WRI (World Resource Institute).¹⁴

IVL har dock tagit fram en sammanställning för koldioxidutsläpp för deras betongtyp kallad K30 vilken all betong utgår ifrån i alla produktionskalkyler. Denna betong kan sedan modifieras beroende på vald hållfasthetsklass. Olika sorters betong ger olika mycket utsläpp. Ju mer cement desto lägre vattencementtal och desto styvare betong. Koldioxidutsläppen blir högre för betong med mer cement, dvs betong med högre hållfasthetsklass

I beräkningen av livscykelanalys av de olika husen kommer ett värde på 0,137 kg CO₂-ekv/kg betong att användas.¹⁵ Då betong används i väggar och grund kommer vikten att utgöra en stor del av totalvikten. Tittar man på hur mycket koldioxidutsläpp betong orsakar per viktenhet är det inte märkvärdigt stort. Men då betong används kommer vikten av betong att utgöra stor del av en byggnads totalvikt. Därför kommer betong helt klart att utgöra den dominanta utsläppskällan av koldioxid då det förekommer i husen.

¹⁴ (Cementa, 2003)

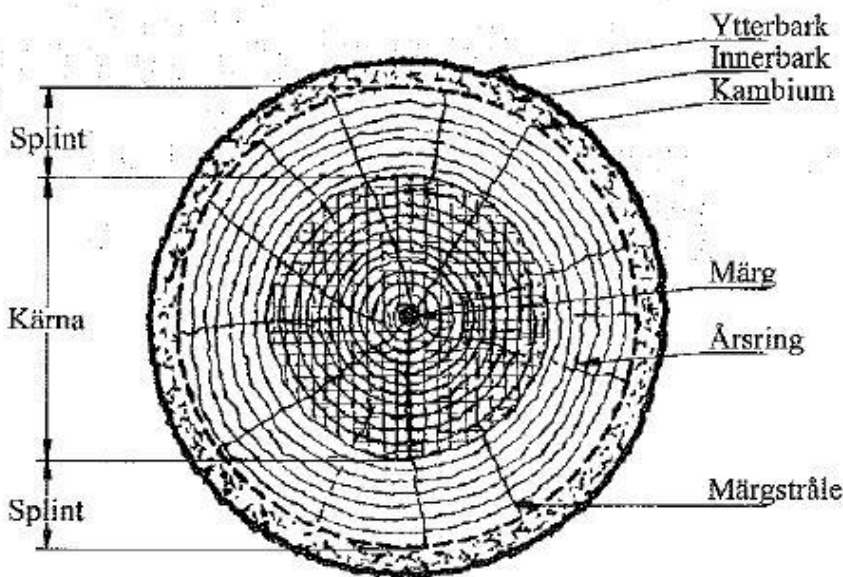
¹⁵ (IVL A)

2.1.2.2 Trä

I Sverige är trä det material som använts tidigast av alla byggnadsmaterial eftersom tillgången funnits och att det kan användas i många byggändamål. Trä är ett naturligt material och likaså påverkas dess egenskaper av naturens lott. Man får en varierande hållfasthet som beror på fuktinnehållet. Trä kan svälla eller krympa beroende på fuktinnehållet. Idag används trä mer genom att nya limningsmetoder tillkommit och resulterat i limträ och fingerskarvat virke.

Ett träd är i ett tvärsnitt uppbyggt av märe, ved och bark. Märgen löper genom hela stammen där den omges av kärnan och splinten vilket tillsammans utgör veden. Mellan veden och barken finns kambium där trädets tillväxt sker. Barken utgörs av inner- och ytterbark. Ytterbarken har en skyddande funktion medan innerbarken tillgodoser näringstransport genom trädets.¹⁶

Trä har mycket bättre värmeisolerande förmåga än exempelvis betong. λ -värdet (lambda) för trä ligger på $0,14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ vilket är 12 gånger lägre än för betong. Ju lägre λ -värde desto mindre värmetransport. Trä är ett anisotropt material vilket förklaras med att värdet för värmegenomgångsmotståndet varierar beroende på om transport sker vinkelrätt mot fiberriktningen eller i fiberriktningen.¹⁷



Figur 2-3 Tvärsnitt genom en trädstam¹⁸

¹⁶ (Burström, 2007) sid 363-365

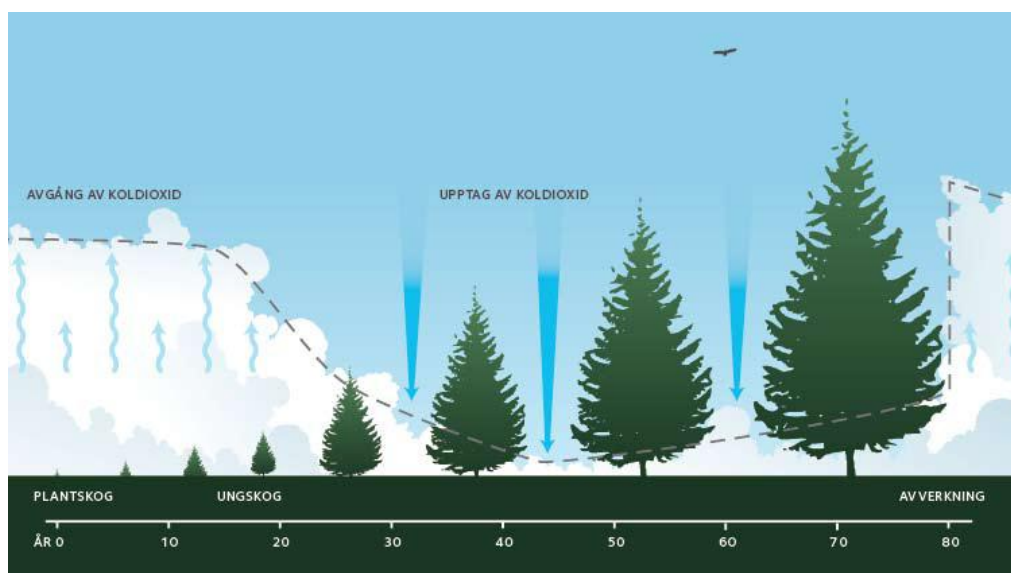
¹⁷ (Burström, 2007) sid 386

¹⁸ (Burström, 2007) sid 365

Träd omvandlar solljus, luftens koldioxid och vatten från marken till druvsocker och syre. Reaktionsformeln lyder: $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{ljusenergi} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Druvsocker lagras i stam och rötter och bildar veden medan syre avges till luften. Alltså konsumerar trä koldioxid istället för att avge. Om trädhuggs ner och används i stommar slutar det att konsumera koldioxid. Alltså blir det mer koldioxid i luften orsakat av att det tar lång tid tills nästa odlade träd kan börja konsumera det nerhuggna trädets förluster. Utsläppen av koldioxid blir det som indirekt inte kan konsumeras. Dessutom fås utsläpp av avverkningen, bearbetning och avsågning till att få fram den färdiga träprodukten. Direkt efter avverkning läcker koldioxid ut, då barr och kvarlämnade grenar förmultnar. Man talar om biogen koldioxid vilken frigörs när träbaserade produkter förmultnar eller bränns. Det som redan konsumerats finns lagrad i veden fram till att trädet blivit uttjänad och förbränns för energiutvinning.¹⁹

I fortsatta beräkningar av utsläpp orsakade av trämaterial i ett hus, kommer ett värde hämtat från IVL:s databas på ca 0,107 kg CO₂-ekv/kg trämaterial att användas. I jämförelse med betong har en träregelvägg inte samma vikt som en betongvägg, eftersom träreglar läggs med visst centrumavstånd. Alltså kommer en m³ betongvägg att släppa ut mer koldioxid till luft.



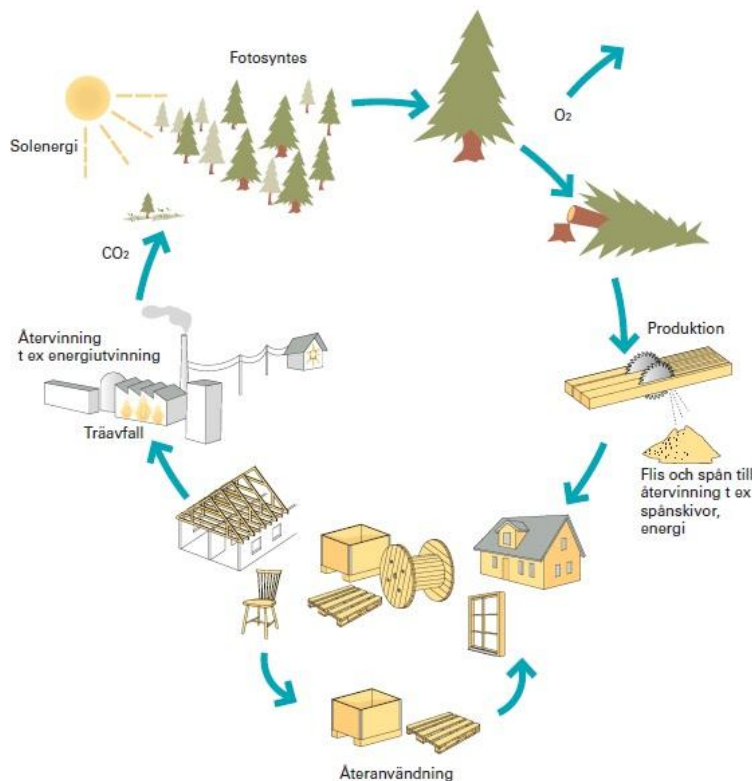
Figur 2-4 Trädets upptag och avtag av koldioxid

Ett trädets livscykel genomlider en hel del processer. Vid plantering kommer träden sakta så småningom att börja uppta koldioxid. Träd växer som snabbast mellan 20 och 90 års ålder och det är här som upptagandet av koldioxid är som störst. Träden

¹⁹ (Skogsindustrierna A, 2010)

växer långsammare när de blir äldre och förmågan att ta upp koldioxid försämras också. Den bundna koldioxiden avges till skogen om träden blivit så pass gamla att de självdött och förmultnat.²⁰

Ett träds kretslopp visas nedan i figuren. Här ingår skeendena avverkning av träd, produktion till färdiga trärelement, återanvändning samt återvinning och energiutvinning under trädets hela livscykel. Trämateriel har den fördelen att de kan återanvändas vilket besparar produktionens koldioxidutsläpp. När trä blir tillräckligt uttjänt kan energi utvinnas av träavfallet. Detta bidrar till koldioxidutsläpp men detta är mycket lägre än vid förbränning av fossila bränslen.



Figur 2-5 Livscykel för trämaterial²¹

²⁰ (Skogsindustrierna A, 2010)

²¹ (Bergs Timber AB, 2009)

2.1.2.3 Stål

Stål är ett material som används i stort sett alla byggnationer. Det har en bärande funktion i väggar, bjälklag, takstolar och tak.

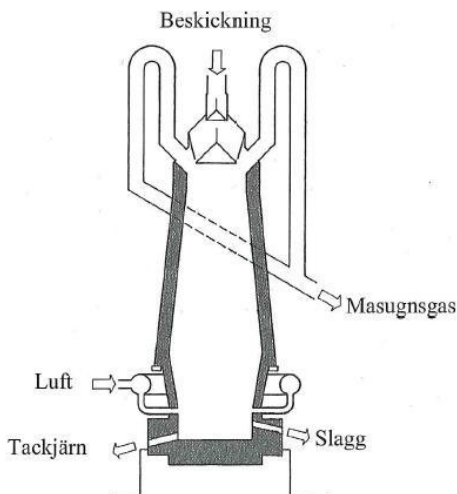
Stål består främst av järn, kol samt några olika metaller. För att benämnas stål ska kolhalten ej överstiga 2,5 viktprocent.

Järn finns i vår jordskorpa och det mesta är bundet i kemiska föreningar. I Sverige utvinns järn från malm, vilka är rika på järn, ibland annat Lappland och Svealand. Där förekommer magnetit och järnglans vilka är kemiska föreningar av järn. I gruvor bryts malm som innehåller järn. Detta krossas och ickejärnhaltiga delar av detta tas bort. Processen kallas att anrika järn. Koncentrationen av råvaran smulas till sand och kallas slig.

Tillverkning av råjärn förekommer på två sätt. Ett sätt är att sintra sanden, värma till 1250 °C, för att smälta sanden till större bitar som lättare kan förädlas i masugnen. Det andra sättet att tillverka råjärn är genom att sintra sligen till små kulor, pellets, till en temperatur på 1250 °C. Under uppvärmning tillsätts bindemedel och tillsatsmedel.

I masugnen kommer sinter eller pellets att matas in tillsammans med kol. Nerifrån tillförs varm luft vilket gör att syret i luften reagerar med kolet och bildar koldioxid. Järnet smälter och löser ca 4 % kol, och rinner ned till botten.

Ut kommer tackjärn, dvs. råjärn, och slaggsprodukter.



Figur 2-6 Masugn²²

Råjärnet kommer senare att användas som råvara för vidareprocesser med önskade egenskaper. Råjärn genomgår färskning, kokill- och stränggjutning. Färskning görs för att icke önskvärda ämnen i råjärnet ska oxideras. Ämnena är kol, mangan och kisel

²² (Burström, 2007) Sid 303

vilka gör råjärnet sprött. Kokill är en gjutjärnsform där råjärn kan få koka samtidigt som desoxidationsmedel tillsätts för att binda syret i råjärnet och erhålla blåsfritt, tätt, stål. Stränggjutning görs för att valsa stålet genom att gjutas kontinuerligt. Processen gör stålet klenare än kokillgjutning.²³

Stål värmebehandlas genom att först uppvärmas och sedan kylas ner. Den plötsliga temperaturskillnaden kommer att påverka stålets egenskaper ytterligare.

Mjukglödning gör stålet mjukt och tänjbart och uppstår vid 700 till ca 720°C för stål med kolhalten mellan 0,5 till 0,9%. Går man ner till under 700°C fås rekristallisationsglödning vilket innebär att stålet återfår ursprunglig kristallstruktur. Vill man erhålla stål med högre slagseghet kan normalisering göras för stål med kolhalt mindre än 1.0%. Grovkornigt stål görs finkornigt här. En mycket viktig egenskap är att stål blir hållfast. Detta görs genom härdning för stål med kolhalt större än 0,3%. Stål upphettas och avkyls sedan i vatten. Vill man erhålla hållfast stål med sega egenskaper kan anlöpning göras för exempelvis armeringsjärn. Svetsning används för att sammanfoga stålpartier, genom att lokalt smälta stålet och låta det kylas ned av luften. I den fogen har stålet omvandlats och fått mycket egenspanningar vilket oftast ger högre hållfasthet. Svetsbart stål ska användas för att förhindra risker med processen. Stål som framställs och används i hus genomgår många processer för att erhålla de egenskaper som man önskar. Kolhalten i stål påverkar dessa egenskaper mest. Härdbarhet är en sådan egenskap som beror på kolhalten.²⁴

Stål är ett material med hög värmeledning. Det har alltså mycket dåligt värmemotstånd. Lambda-värdet ligger på $60 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$. Stål får en kolhalt vid framställningen av olika ståltyper. Kolet i framställningen reagerar med syret i luften och bildar koldioxid. IVL:s miljödatabas har värden för olika ståltyper. Armeringstål ger ett koldioxidutsläpp på 0,82 kg CO₂-ekv/kg armeringsstål. Stångstål ger däremot koldioxidutsläpp på 1,47 kg CO₂-ekv/kg stål. I produktionskalkylen ingår de olika stålmaterialen som används i projekten.

²³ (Burström, 2007) Sid 302-307

²⁴ (Burström, 2007) Sid 312-316

2.1.2.4 Värmeisolering

Det är viktigt att skapa ett gott inneklimat. Värmeisolering har det syftet att reducera värmeflödet genom en vägg, så att inte värme transporteras ut. Isolering har ett högt värmegenomgångsmotstånd, vilket ger mindre uppvärmningsbehov och på så sätt ger lägre driftrelaterat koldioxidutsläpp. Värmeisolering är uppbyggt av ett nätverk av tunna fibertrådar som förhindrar luftkonvektion samtidigt som innehållande luft ger gott värmemotstånd. Ju högre porositet, ihålligheter med luft, ett material har desto bättre värmegenomgångsmotstånd.

Bland de olika värmeisoleringsmaterialen dominerar mineralull och cellplast. Dock finns det träbaserade värmeisoleringsmaterial att nämna samt lättklinker och cellglas.²⁵

Mineralull förekommer som glas- och stenull. Stenull framställs genom att smälta diabas med kol vid ca 1600°C. Smältan rinner sedan över ett roterande spinnhjul som det blåser på och det bildas fibrer. På samma sätt bildas glasull fast då smälter man sand, SiO_2 och glaskross till 1400°C. Roterande spinnaren har många små hål vilka glaslet kan slungas ut genom och stelna till fibrer. Fenolharts tillsätts i liten grad i både glas- och stenull för att göra isoleringen mer hanterlig och lättare att forma. Samtidigt gör detta att glasull blir gul medan stenullen blir mörkbrun. Mineralolja används i små mängder som en tillsats för att minska dammavgivning samt göra den resistent mot vatten. Effektiviteten i isoleringen svarar värmeledningsförmågan för, vilken även är beroende av densiteten. I Burström (2010, s. 469) härleds värmeledningsförmågan vid en optimal densitet på ca 60, 70 kg/m³ till intervallet på 0.030 – 0.039 W/(m * K). Ur diagrammet kan man erhålla att glasull ger lägst värmeledningsförmåga. Eftersom råmaterialet i mineralull är sten, är isoleringen i princip obrännbar. Dock klarar bindemedlet fenolharts inte högre temperatur än 200°C och begränsar användningen till denna temperatur.²⁶

Mineralull ger utsläpp till luft enligt IVL:s miljödata för glasull 0.661 kg CO₂/kg glasull. För stenull ges värdet till 1,186 kg CO₂/kg stenull.²⁷



Figur 2-7 Glasull och Stenull

²⁵ (Burström, 2007 ss. 465-467)

²⁶ (Burström, 2007 ss. 467-470)

²⁷ (IVL A)

Cellplast är isolering av expanderad plast. Med det menas att plast utvidgas och fylls av porer som är slutna eller öppna. De slutna porerna innehåller vanligtvis luft men kan även innehålla koldioxid. Cellplast med slutna porer används som värmeisolering. Cellplast med öppna porer tillåter ljudabsorption och används som ljudisolering.

Cellplasttyperna som är nämnvärda är Polystyrencellplast, Expanderad polystyren (EPS), Extruderad polystyren (XPS), Polyuretancellplast och Karbamidcellplast.



Figur 2-8, Kulstruktur EPS

De tre ovan nämnda styrencellplasterna har god kemisk beständighet men är olämpliga i avseende på brandbeständighet eftersom de smälter och brinner upp. Polystyrencellplast tillhör gruppen termoplast medan de andra cellplasterna tillhör gruppen hårdplast. Den väsentliga skillnaden är att termoplaster mjuknar vid smältning utan att kemiska strukturen bryts ner. Hårdplaster däremot kan inte smältas utan att strukturen förstörs först.²⁸ Polystyrencellplast består till 98 % av innesluten luft. Resterande två procent utgörs av polystyren, som kommer från att styren framställs ur råolja. (Cellplaster.nu, 2010) Polystyrencellplast (hård cellplast) tillverkas på två sätt. Ett sätt för EPS- och ett annat sätt för XPS-cellplast. Man låter små plastkolor med kolvätsket pentan²⁹ upphetas med ånga, att expandera till ihåliga kolor.³⁰ Produkten fås sedan genom att upphetta och fylla stora block med dessa kolor samtidigt som kolvätsket ersätts med luft. Dessa block får ligga under en tid och bilda en skiva.³¹ Kulstrukturen för EPS är mycket tydlig i expanderad polystyren och påvisas i Figur 2-4 ovan. Extruderad polystyren (XPS) tillverkas genom att smälta styrenplast och kolvätsket CO₂ under högt tryck. När trycket har lagt sig expanderas gasen och kolor skapas.³² Cellplasten kan sedan gjutas i önskade dimensioner. Polyuretancellplast är en hårdplast vilket menas att materialet görs hårt. Användningsområdet av denna cellplast är i husvagnar, sandwichelement för hus samt som drevningsmaterial mellan fönsterkarm och yttervägg. En annan hårdplast är karbamidcellplast som oftast används som tilläggsisolering i byggnader och sprutas in i hålrum. Denna plast har en öppen porstruktur med mycket vatten vilket

²⁸ (Burström, 2007) Sid 190, 397

²⁹ (Isover C, 2003)

³⁰ (Burström, 2007) Sid 470

³¹ (Cellplaster.nu, 2010)

³² (Cellplaster.nu, 2010)

också ger den stor krympning och dåliga mekaniska egenskaper.³³ En bra sammanställning av de olika cellplasterna och dess värmegenomgångsmotstånd ges i tabell i Burström (2007, s 472). Där framgår det att cellplast av polystyren samt polyuretan har ett genomgångsmotstånd på $0,035 \text{ W}/(m * K)$ medan karbamidcellplast har ett värde på $0,070 \text{ W}/(m * K)$.

IVL har angivit ett värde för utsläppen av koldioxid för framställningen av cellplasttypen polystyren till $1,910 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/kg cellplast}$. Värdet är det högsta för alla värmeisoleringsstyperna.

Idag domineras värmeisolering av plast- och stenmaterial. Förr utgjordes värmeisolering av typerna sågspån och kutterspån. De goda egenskaperna med trä är att det har låg värmeledningsförmåga och skapar en fuktbuffert på grund av träets hygroskopiska egenskaper³⁴.

De viktiga träbaserade värmeisoleringsmaterialen är pappersmassa, returpapper, kutterspån, träullsplattor samt kork.

Det förstnämnda och det bättre isoleringsmaterialet är pappersmassa med ett värmegenomgångsmotstånd på $0.05 \text{ W}/(m * K)$. Eftersom papper är organiskt måste det behandlas för att kunna användas. Kemikalier tillsätts i massan för att få en brandhämmande egenskap och för att förhindra rötangrepp. Isoleringen läggs på plats genom att spruta det mot väggen så det fastnar. Det är viktigt att arbetsutförandet görs rätt för att få bra isoleringsegenskaper.

Returpapper har ett värmegenomgångsmotstånd på $0.06 \text{ W}/(m * K)$ och tillverkas genom att returpapper mals ner och blandas med borsalter för att få god brandbeständighet. Gips kan blandas i för att ge god brandbeständighet.

Kutterspån är träavfall av olika träslag som blivit till från sågverk av olika fräs- och hyvelmaskiner. Det är ett tidigt isoleringsmaterial som förr användes i hus och byggnader och påträffas idag vid ekologiskt byggande. Dock är brandbeständigheten mycket dålig och användningen bör planeras med omsorg. Dess värmekonduktivitet beräknas till $0.08 \text{ W}/(m * K)$ ³⁵.

Träullsplattor är träspån som blandats med cement och pressats i formar till en hård platta. Här beräknar man vid fuktkvot på 8 % att erhålla ett värmegenomgångsmotstånd till $0.09 \text{ W}/(m * K)$. Materialet är ej känsligt för röta. Den sista nämnvärda träbaserade värmeisoleringen är kork från korkek. Från barken har man tagit kork vilket upphettas så att de slutna cellerna utvidgas och erhåller expanderad kork. Porositeten ökar! Expanderade korken tillverkas i form av plattor

³³ (Burström, 2007) Sid 471

³⁴ (Stener, 2004)

³⁵ (Burström, 2007) Sid 472

med en densitet lägre än vanligt trä. Plywood har exempelvis 500 kg/m^3 ³⁶. Densiteten för kork brukar ligga mellan 125 och 210 kg/m^3 . Värmekonduktiviteten för materialet beräknas ligga, med en densitet på 190 kg/m^3 , på $\lambda = 0.091 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.³⁷

Värmeisolering finns i många typer. Det tas numera ständigt fram förnyade och modifierade isoleringsmaterial. Två viktiga isoleringar att nämna är cellglas och lättklinker.

Cellglas tillverkas av sand och kalksten och är allmänt känd som foamglas. Det består av rent glas och kol innehållande slutna celler fyllda med luft.³⁸ Till utseendet har den en blåsvart kulör och förekommer i block eller board. Cellglas är vatten- och ångtätt, icke brännbart, resistent mot angrepp av skadedjur och röta, har hög tryckhållfasthet samt att det är resistent mot organiska lösningsmedel och nästan alla syror.³⁹ Enligt Foamglas har cellglasblock en värmekonduktivitet mellan $0.038\text{--}0.05 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Lättklinker är expanderad bränd lera. Tillverkningen sker i en roterugn innehållande kalkfattig lera. Leran formas till kulor och bränns till 1100°C varvid gasutveckling sker som blåser upp lerkulorna så att de blir luftfyllda. Lecakulor förekommer i storlekarna 0-32mm. Lättklinkerkulor används som ballast i betong för att erhålla bättre värmeisolerande egenskaper. Till följd fås en lättare betong men med sämre hållfasthet. Lättklinkerkulor kan användas löst till markisolering. Lättklinker förekommer också i block av hålrumsbetong. Av dessa typer framgår det enligt Burström (2007) att lägst värmekonduktivitet fås av lättklinker som är löst utfylld på $0.17 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Cementbunden och hålrumsbetong i block har värmekonduktiviteten 0.22 respektive $0.28 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Sämst egenskaper har lättklinkerbetong på $0.42\text{--}0.80 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ vilket beror på betongens höga värmekonduktivitet.⁴⁰

God isoleringsförmåga fås med material med lägre värmegenomgångsmotstånd. En sammanställning av isoleringsmaterialens värmeledningsförmåga och deras bidrag till utsläpp av koldioxid finns på tabell 1 på nästa sida.

³⁶ (Träguiden, 2010)

³⁷ (Burström, 2007) Sid 472-473

³⁸ (MRD Sälj Bygg AB, 2010)

³⁹ (Foamglas B, 2010)

⁴⁰ (Burström, 2007) sid 474

Tabell 1

Isoleringsmaterial	λ -värde [W/(m*K)] ⁴¹	kg CO ₂ /kg material
Mineralull	0.030	0.691 ⁴²
Cellplast (polystyren)	0.035	1.910 ⁴³
Returpapper	0.060	0,235 ⁴⁴
Kutterspån	0.080	0.108 ⁴⁵
Träullsplattor	0.090	0,235 ⁴⁶
Kork	0.091	0.102 ⁴⁷
Cellglas	0.038	0.030 ⁴⁸
Lättklinker	0.170	0,525 ⁴⁹

⁴¹ (Burström, 2007)

⁴² (IVL A)

⁴³ (IVL A)

⁴⁴ (Termoträ, 2007)

⁴⁵ (IVL A)

⁴⁶ (Termoträ, 2007)

⁴⁷ (Eurokork, 1998)

⁴⁸ (Foamglas A, 2007)

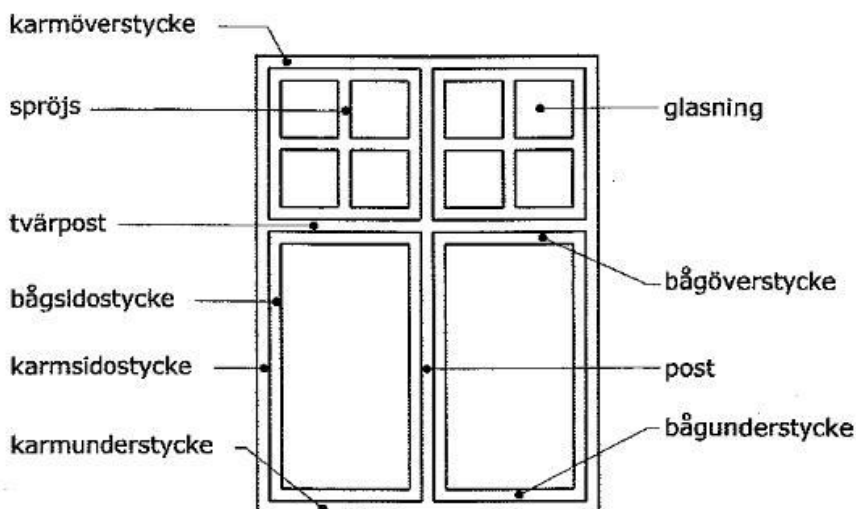
⁴⁹ (IVL A)

2.1.3 Fönster

Fönster i allmänhet har många syften till varför de används. För vår upplevelse ska de ge ljusinsläpp, ge vädringsmöjligheter, möjlighet att se ut. Sedan ställs det krav att ur teknisk synvinkel ge minimala värmeförluster, inga fuktproblem som mögel på trädelar eller lindriga fuktproblem som imma. Fönster ska även utföras så att de kan vara ljudisolerande.

Glas i sig tillverkades först redan under 500-talet i dåtidens Konstantinopel, dagens Istanbul. Sverige började tillverka glas i mitten av 1500-talet som då endast var till dekoration. Det skulle dröja till början av 1700-talet tills att fönsterglas med träbåge framställdes. Kyrkan hade dock lite tidigare börjat använda små fönsterglas för att täcka gluggar (ljusinsläppshålen) och göra det tätt. Fönstren blev vanliga i stugor först på 1800-talet tack vare utveckling av glastillverkningen. Hittills hade man inte haft ljusinsläpp från väggar utan endast från rököppningar i taket. Man upptäckte att man fick stora värmeförluster och utvecklingen gick mot införing av dubbla glastrutor. Under nästkommande två sekel skulle fönstren komma att förändras något oerhört i hänsyn till energiförluster. På 70-talet tog utvecklingen att minimera energiförluster genom fönster fart. Detta innebar ökat antal glastrutor, modifiering av karmar, olika beläggningar på glasytorna och gaser mellan glastrutorna.⁵⁰

Ett vanligt fönster består av karm, båge, post, spröjs och glas enligt figur 2-5 nedan.



Figur 2-9, Fönsteruppbyggnad⁵¹

⁵⁰ (Sandin, 2004) Sid 67

⁵¹ (Sandin, 2004) sid 68

I dagens modernare fönster kan gångjärn och hakar läggas till.⁵² Karmen är en ycket stark ram vars uppgift är att hålla upp fönsterkonstruktionen. Karmen skruvas fast i de regler som omger fönsteröppningen.⁵³ Karm och båge kan bestå av olika material som trä, aluminium och plast⁵⁴. Bågen ser till att hålla glaset på plats och är fäst i karmen. Vissa bågar håller flera glas medan andra består av flera bågar som håller varsitt glas. Glasets tjocklek ligger mellan tre eller fyra millimeter. Det består av glasbildare som kiseldioxid (SiO_2) och boroxid (B_2O_3), flussmedel som natriumoxid (Na_2O) och stabilisatorer i form av kalciumoxid (CaO) och aluminiumoxid (Al_2O_3)⁵⁵.

Fönster brukar indelas efter hur många glas de har. Indelningen görs i 1-, 2-, 3- eller 4-glasfönster. Vidare kan man dela in fönstren efter dess möjlighet att vara öppningsbara eller ej. De öppningsbara fönstren är slagfönster, vridfönster, vikkfönster och skjutfönster. Det är gångjärnen som bär upp fönstret när det öppnas. Beroende på hur fönstren öppnas skiljer det också mellan olika gångjärn.⁵⁶ Indelningen med antalet glasfönster delar även in fönster i hur många fönsterluffer de har. Man talar om enlufts-, tvålufts- och treluftsfönster.⁵⁷

Mellan passivhus och normalhus förekommer det skillnader på just fönstren. Det ställs nämligen andra krav på passivhusfönstren, att de bland annat ska ha ett U-värde på högst $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. För BBR16 gäller ett krav på U-värdet på högst $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Skillnaden mellan fönstertyperna kan möjligtvis vara antalet glasrutor, glasytor med beläggning och innehållet mellan två glas kan utgöras av gasen argon.

Fönster består av karm, båge, post, spröjs och glas. Vanligaste materialet för karm, båge och spröjs är trä. Glaset består av främst kiseldioxid i form av sand och boroxid. Dessa råmaterial genererar en viss mängd utsläpp vid framställningen av delmaterialen till en fönsterkonstruktion. Det utsläpp av koldioxid som sker, räknas med när ett fönster monteras i en vägg.

För fönster ges av (IVL A) ett värde för en fönsterkonstruktion till:

Tabell 2

Fönster (Treglas)	28,648 kg CO_2 -ekv/ m^2
Fönster (Treglas+ 1 Albekl.)	38,597 kg CO_2 -ekv/ m^2

⁵² (Bytafönster.se, 2010)

⁵³ (Bytafönster.se, 2010)

⁵⁴ (Sandin, 2004) Sid 67

⁵⁵ (Burström, 2007) Sid 488 i källan

⁵⁶ (Bytafönster.se, 2010)

⁵⁷ (Sandin, 2004) Sid 70

2.1.4 Ventilation

2.1.4.1 Allmänt

Ventilationens syfte är att dels föra ren luft till ett rum och dels föra bort förorenad luft. Luftflödet i ett hus ska vara behagligt och man ska kunna vistas i huset utan att känna besvär av förorenad luft. Besvären kan vara kortvariga irritationer på slemhinnor och hud eller andra långvariga besvär. Det finns komfortkrav för ett hus såsom att temperaturen inte får vara för låg eller för hög, tilluften inte får orsaka drag och att koldioxidhalten ska hållas under viss gräns, vilka måste följas. Spridning av föroreningar ska förhindras genom att ha god luftomsättning och rätt luftförling. Ventilation kan även fungera som värmesystem genom att tillföra värme i form av varm tilluft eller som ett kylsystem att tillföra undertempererad luft.⁵⁸

De delar som ingår i ett mekaniskt ventilationssystem är:

- Luftbehandlingsaggregat
- Kanalsystem
- Luftdon

Ventilationen sker genom att uteluft tas in och passerar luftbehandlingsaggregatet och tempereras, filtreras och blir tilluft. Tilluften når rumsluft genom tilluftsdonen. Frånluft är luft som sugas ut genom frånluftsdon då denna luft är oren. Med till- och frånluftsdon vill man ha en riktad luftström så att luft kan blåsas in på ett ställe i rummet och sugas ut på ett annat och på så sätt föra med den dåliga luften ut. Frånluften kommer sedan att ledas igenom luftbehandlingsaggregatet. Här kan den varma frånluften utnyttjas till att värma upp uteluften genom en värmeväxlare. Frånluften benämns avluft då den lämnar byggnaden.

Två andra begrepp, överluft och cirkulationsluft, är att luft strömmar från ett rum till ett annat, respektive luftströmlar som bildats då en rumsfläkt står på och blåser.⁵⁹

Det finns olika typer av ventilationssystem

- S, självdrag
- FFS, fläktförstärkt självdrag
- F, frånluftssystem
- FVP, frånluft med värmepump
- FT, från- och tilluftssystem
- FTX, från- och tilluftssystem med återvinning.

⁵⁸ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:1

⁵⁹ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:2

Bland dessa ventilationssystem utnyttjas självdrag och främst frånluft med värmepump i normalhus. Passivhus utnyttjar från- och tilluftssystem med återvinning med hjälp av en värmeväxlare.

2.1.4.2 Självdragsventilation

För självdragventilation kommer uteluft främst in genom uteluftsventiler men också från otätheter. Uteluften strömmar in i vardagsrum och sovrum och ut genom frånluftsdon i badrum, kök, klädkammare, tvättstuga. På så sätt fås en omsättning av luft. Dessa frånluftsdon leder frånluften via kanaler ut genom taket och blir avluft. Termisk drivkraft möjliggör självdrag mellan uteluft och inneluft genom temperaturskillnad, densitetsskillnad och vindförhållande. Drivkraften är proportionell mot temperaturskillnaden. Dagar då temperaturskillnaden är liten finns ingen drivkraft som skapar självdrag, medan dagar då skillnaden är stor sker stor luftväxling. Vindförhållandet förstärker självdrag genom undertryck. Frånluftsdonen driver frånluften till taket genom att den varma luften stiger. Bakdrag är då luft strömmar åt fel håll och det blåser ut från frånluftsdonen. Bakdrag kan uppstå om frånluften kyls ned och strömmar tillbaka. Då är det viktigt att isolera frånluftskanaler för att förhindra nerkyllningen. Dessutom för att förhindra bakdrag bör man bygga vertikala kanaldragningar och inte ha långa horisontella dragningar och riktningsändringar. Självdragsystem är underhållsfria och ingen elförsörjning behövs. Systemet har dock nackdelar av typen att dragproblem kan uppstå vid låg utetemperatur och att buller kan tränga in genom uteluftsventiler. Som tidigare nämnt blir självdrag svagt då det föreligger en liten temperaturskillnad mellan uteluft och inneluft, vilket ofta händer sommartid.⁶⁰

2.1.4.3 Fläktförstärkt självdrag

Denna typen av ventilationssystem är likt ett vanligt självdragsystem men en fläkt startar då självdraget inte är tillräckligt starkt för en luftväxling. Fläkten är ofta placerad i en takhuv och startar då tempskillnaden är låg eller vid ett lågt tryck i frånluftskanalen. På så sätt fås heller inget bakdrag. BBR kräver att luftflödet till en bostad ska vara 0.35 l/s, m^2 . Med fläktförstärkt självdrag görs detta luftflöde möjligt.⁶¹

2.1.4.4 Frånluftssystem

Luften i detta ventilationssystem tillförs såsom tidigare via uteluftsventiler och otätheter, medan den förs bort via frånluftssystem. Självdragsystem kräver stora kanaler för att fungera till skillnad från ett frånluftssystem där en fläkt suger ut luft och kanalerna kan göras mindre. Frånluftssystemet har frånluftsdon i kök och våtutrymmen vilket är där det blir sämst luft. Det är enkelt att få önskat luftflöde

⁶⁰ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:2 till 7:4

⁶¹ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:5

genom att justera fläktens varvtal. Beroende på önskat luftflöde kan frånluftsdonen justeras individuellt. Trots stor temperaturskillnad mellan ute- och inneluft påverkas inte luftflödet. Nackdelar med denna typ av ventilation är att kanalsystemet och fläkten kan behöva rensas och att den kan vara bullrig. Dessutom kan fläktens sugkraft orsaka undertryck vilket kan förorsaka läckage av förorenad luft från mark, grund, avlopp. Då uteluft tas in genom uteluftsventilerna kan dragproblem uppstå vid låg utetemperatur. Tilluften styrs inte fullt med detta system. Fördelar är att man får god ventilation året om och att det nästan är underhållsfritt.⁶²

2.1.4.5 Frånluftsventilation med värmepump

Frånluftsventilationen är identisk med den föregående. Dålig luft förs bort via frånluften och frånluftskanaler. I en värmepump finns en förångardel som överför värmen från frånluften till tappvarmvatten eller till vattenburet värmesystem. Värmepumpen nyttjar värmen från frånluften och återanvänder det. Frånluften kyles då ned och leds ut av fläkten och förhindrar bakdrag.⁶³

2.1.4.6 Till- och frånluftsventilation

Ventilationssystem av denna typ är vanlig i kontor, sjukhus, laboratorier, köpcentrum m.m. Det innebär att ventilationen tillförs via tilluftskanaler och förs bort via frånluftskanaler. Tilluften filtreras och värms till önskad temperatur, normalt 5 grader lägre än inomhustemperatur, och tillförs genom att en fläkt driver den ut till lokalen. Frånluftskanaler avlägsnar förorenad luft genom en fläkt som suger. Med detta system fås en styrning av luften och luftomväxlingen blir mycket god. Dessutom utformas ventilationssystemet så att frånluftflödet är större än tilluftsflödet för att skapa ett undertryck så att varm, fuktig luft inte tränger ut genom väggar och tak. Det förekommer nackdelar för detta system också. Underhåll görs genom rensning av filter och kontroll av tillufts- och frånluftsfläktarna. Det kan förekomma besvär av drag och buller, men utförs systemet ordentligt undviks problemen.⁶⁴

⁶² (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:5

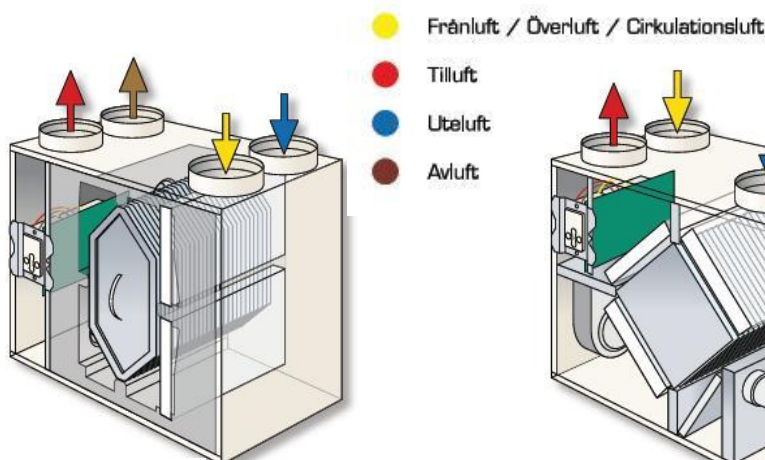
⁶³ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:6

⁶⁴ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:6

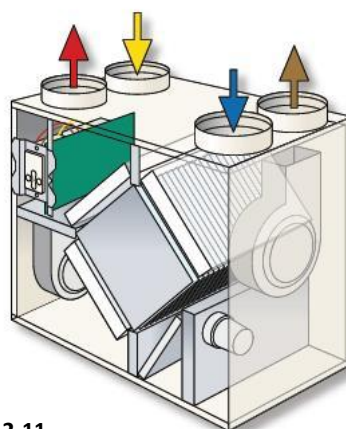
2.1.4.7 Till- och frånluftsventilation med värmeväxlare

En värmeväxlare har till uppgift att återanvända värmen i frånluften till att värma upp luften i tilluftskanalen. Detta är ett sätt att minska värmebehovet. Mycket energi besparas för uppvärmning om värmeväxlare installeras.⁶⁵

Det finns olika typer av värmeväxlare. De mest använda är plattvärmeväxlare, motströmsvärmeväxlare och roterande värmeväxlare. Bäst verkningsgrad ger motströmsvärmeväxlare med upp till 95%. De värmeväxlare nedan från (Fresh, 2008) redogör schemat för hur luft tas in och ut genom en värmeväxlare.



Figur 2-10
Motströmsvärmeväxlare

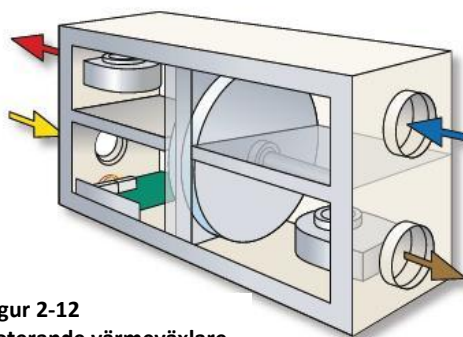


Figur 2-11
Plattvärmeväxlare

Motströmsvärmeväxlare är nämligen uppbyggd av aluminiumplattor där luften strömmar parallellt och motriktat och kontaktytan blir större.

Plattvärmeväxlare är uppbyggd på samma sätt som motströmsvärmeväxlare, men luften passerar vinkelrätt mellan varannan platta. Verkningsgraden är upp till 60 %.

Roterande värmeväxlare är olik de två typerna genom att ha ett rotorhjul med många små kanaler. Varma frånluften lagrar värme och fukt i de roterande kanalerna vilka passerar tilluftskanalen där värmen avges till den kalla tilluften. Temperaturverkningsgraden är upp till 85 %.⁶⁶



Figur 2-12
Roterande värmeväxlare

⁶⁵ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:7

⁶⁶ (Fresh, 2008)

Regenerativ och rekuperativ värmeväxling delar in hur värmeövergången sker mellan från- och tilluft. En rekuperativ värmeväxling är då värmen strömmar genom en värmeväxlande yta. Regenerativ värmeväxling är då växlingen sker ojämnt genom ett material, att det värms och kyls, och på så sätt överför värme. Bland de ovannämnda värmeväxlarna tillhör plattvärmeväxlare och motströmsväxlare rekuperativ typ medan roterande värmeväxlare tillhör regenerativ typ.⁶⁷

Varför det väljs en sorts värmeväxlare och inte en annan kan bero på att man vill välja den med bäst verkningsgrad och med så lite underhållsbehov som möjligt. För passivhus föredras att välja motströmsvärmeväxlare som ger högst verkningsgrad.

⁶⁷ (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 7:27–28

2.2 Passivhus

2.2.1 Historia

Passivhus är ett begrepp som skapades av Professor Bo Adamsson på Institutionen för Byggnadskonstruktionslära på Lunds Universitet. Under sin tid i Kina på sena 80-talet funderade han på att förbättra termisk komfort samtidigt som energibehovet skulle begränsas. Detta gjorde han genom att ta bort värmesystemet i en stor byggnad och istället förbättrade byggnadsfysiken, genom mer isolering, bättre fönster, förbättrad täthet, och detta skulle bespara stora intäkter. Han insåg att ett bra passivt utformat hus var en bra tanke för hus i kallt klimat som också hade mycket solinstrålning. Efter denna undersökning fortsatte Adamson arbetet med passiva hus. Hans kollega Wolfgang Feist anslöt sig till denna forskning och passivhusbegreppet grundades i maj 1988. Första passivhuset blev byggt 1990 i Darmstadt Kranichstein i Tyskland av Wolfgang Feist. Han byggde ett hus som var energisnålt, hade lufttätt klimatskal och mekanisk ventilation med 87 % återvinningsgrad i värmeväxlare. Denna innovativa idé kom att bli nästa steg i att bygga smart.⁶⁸

2.2.2 Passivhus idag

Passivhus är byggnader där värmeförlusterna i huset är så små att det inte behövs värmesystem i form av radiatorsystem eller golvvärme. Energin för uppvärmning är väldigt låg då det finns få köldbryggor. Passivhus har mycket isolering samtidigt som uppvärmningen kommer från personer och utrustning som alstrar värme. Utrustning som belysning, hushållsmaskiner, hemelektronik, spis, datorer ser till att inget annat uppvärmningsbehov behövs.

I passivhus ska ventilationen ha en värmeväxlare vilket innebär att värmen i utgående rumstempererade frånluften utnyttjas för att värma upp den friska kalla tilluften och återvinner då 85 % av energin. Denna verkningsgrad är möjlig eftersom ventilationssystemet görs med små ventilationsförluster och är väldigt lufttätt. Husen byggs också med hög kvalitet och emissioner minimeras. Genom god värmeisolering görs väggen varm, där träreglar har samma temperatur som inneluften vilket minskar risken för mögel. Solinstrålning tas tillvara genom solfångare för uppvärmning av varmvatten. Passivhusens goda kännetecken är att passiv kylning och avskärmning utnyttjas. För att få benämnas passivhus ställs en del krav på byggnader.⁶⁹

⁶⁸ (Janson, 2010)

⁶⁹ (Passivhuscentrum B, 2010)

2.2.3 Passivhuskrav

Dessa grundkrav, utöver de krav som BBR anger, är⁷⁰:

- Dimensionerande inneluftstemperatur ska ligga på 20°C
- Tillförd värmeeffekt ska högst vara 10 W/m² Atemp
- Tillförd spillvärme från apparater och personer får tillgodoräknas med max 4 W/m²
- Energikravet för maximal köpt energi för uppvärmning 15 kWh/m², år
- Luftläckage genom byggnaden får max vara 0.3 l/s m² vid +/- 50 Pa. (En tryckdifferens på 50 Pa, vilken är medelvärde av över och undertryck)
- Fönster och dörrar ska ha U-värde $\leq 0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Golv, tak, väggar ska ha ett U-värde $\approx 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Ljudnivåkravet från ventilation ska vara minst ljudklass B i sovrum

Rekommendationer⁷¹:

- Bygga så att instrålad solenergi och värme från huset kan tillföra ca 1300 kWh/år
- Grunden bör ha minst 300 mm isolering, vägg bör ha minst 400 mm isolering och att tak ska ha minst 500 mm isolering
- Solvärme genom solfångare används för uppvärmning av varmvatten
- Innetemperaturen under april-september bör inte överstiga 26°C mer än högst 10 % av tiden i den mest utsatta delen i byggnaden. (FEBY, 2009)
- Undvika standbyläge i TV-apparater och stereoanläggningar, dra ur laddare som inte används. Använda A-klassade vitvaror och lågenergilampor
- Tilluften ska användas som värmesystem

2.2.4 Byggnadssätt

Trots dessa passivhuskrav kan man ändå bygga mer klimatsmart i syfte att sänka koldioxidutsläpp till vår atmosfär. Man kan, genom att välja rätt stommar sänka produktionsutsläpp av koldioxid. Det går att påverka utsläppen genom att först se över produktionen av ett hus och sedan titta på användningen under hela driftstiden. Drifttidens elanvändning har även det utsläpp man kan räkna med. I Sverige använder vi en nordisk elmix, som inkluderar vattenkraftverk, kärnkraftverk, vindkraftverk samt kolkondensverk från Danmark.⁷² Det är viktigt att bygga lufttäta hus med mycket isolering för att få låga uppvärmningsbehov. Dessutom kan viktiga installationer såsom solfångare användas för att utnyttja gratis solvärme.

⁷⁰ (FEBY, 2009)

⁷¹ (Passivhuscentrum B, 2010)

⁷² (Klimatkompassen, 2010)

2.3 Skillnader mellan passivhus och normalhus

Skillnader i utförandet

- Ett vattenburet värmesystem är vanligt i vanliga hus. Friskluften, kroppsvärme, solstrålning används som värmesystem i passivhus
- Vägg tjockleken är större, ca 400 mm för passivhus. Mer mineralull ger passivhus U-värdet ca $0.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- Grunden i passivhus har isolering av en tjocklek på minst 300 mm. Vanliga hus har minst 200 mm.
- Fönstren i passivhus har lågt U-värde $< 0.9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, fler glas, fler luftspalter, ytbeläggning på glas, argongas i luftspalt.

Andra skillnader

- Hög kvalitet i bygget, minimerar risk för mögel, röta och emissioner
- Vägg har samma temperatur som innertemperaturen
- God ventilation
- Låg ljudnivå
- Passiv kylning, avskärmning utnyttjas

Energikravet för passivhus får högst vara $45 \text{ kWh}/\text{m}^2$ exklusive hushållsel.⁷³

Energikravet för normalhus får däremot inte överstiga $110 \text{ kWh}/\text{m}^2$, år

⁷³ (Energirådgivning, 2010) (FEBY,A, 2009)

2.4 Miljöpåverkan

2.4.1 Globaluppvärmning

2.4.1.1 Växthusgaser

Det finns växthusgaser i vår atmosfär som skapar det fenomen vi kallar växthuseffekten. Dessa gaser har förmågan att delvis absorbera långvågig värmeutstrålning från jorden. Problemet med växthusgaserna är att halterna ökar på grund av mänsklig påverkan vid förbränning av fossila bränslen. Annan källa är metangas från boskap. Dessutom finns stor spannmålsodling i form av risodling som ökar andelen växthusgaser.

Växthuseffekten är dock viktig för oss. Utan den skulle jordens medeltemperatur vara -18°C istället för 15°C . Problemet är att om halterna av växthusgaser ökar, kommer de att skapa ett hölje som inte släpper igenom UV-A strålningen ut till rymden, vilken istället återvänder ner och ökar temperaturen på jorden.

De växthusgaser som absorberar långvågiga strålningen är huvudsakligen vattenånga. Denna svarar för 90 % av växthuseffekten. Den näst största absorberande gasen är koldioxid CO_2 vilket svarar för 5 %. Sedan förekommer andra gaser såsom metan CH_4 , ozon O_3 , dikväveoxid N_2O och CFC-föreningar. Dessa står tillsammans för resterande 5 % av växthuseffekten.

Det är inte mycket vi idag kan påverka växthusgasernas ökning förutom genom koldioxidutsläppen. Men det anses att temperaturökningen beror till 55 % av koldioxiden i atmosfären.

Hur mycket de olika gaserna bidrar till växthuseffekten beror på olika faktorer. Exempel är koncentrationen i atmosfären, förmågan att absorbera energi i ett våglängdsområde, uppehållstid som varierar, dessutom dess effektivitet. CFC-föreningar är tiotusen gånger mer effektiva än koldioxid och metan är 25 gånger effektivare.⁷⁴

2.4.1.2 Kolets kretslopp

Kol förekommer i fyra former; grafit, diamant, kluster och karbynstukturer. I jordskorpan förkommer kol i form av grafit och diamant.⁷⁵

Kol och vatten är de ämnen som utgör grunden för vår existens på jorden.

Kolföreningar utgör ca 95 % av alla kända kemiska föreningar på jorden.⁷⁶

Koldioxid finns bundet i träd och växter genom vår fotosyntes och är grundämnet för allt organiskt liv i naturen. Vatten är viktigt genom dess kretslopp samt nytta i varje organism. Därför utgör dessa de viktigaste gaserna i atmosfären. Koldioxid bildas då kol reagerar med syre i luften. Koldioxid bildas vid all förbränning. Speciellt fossila

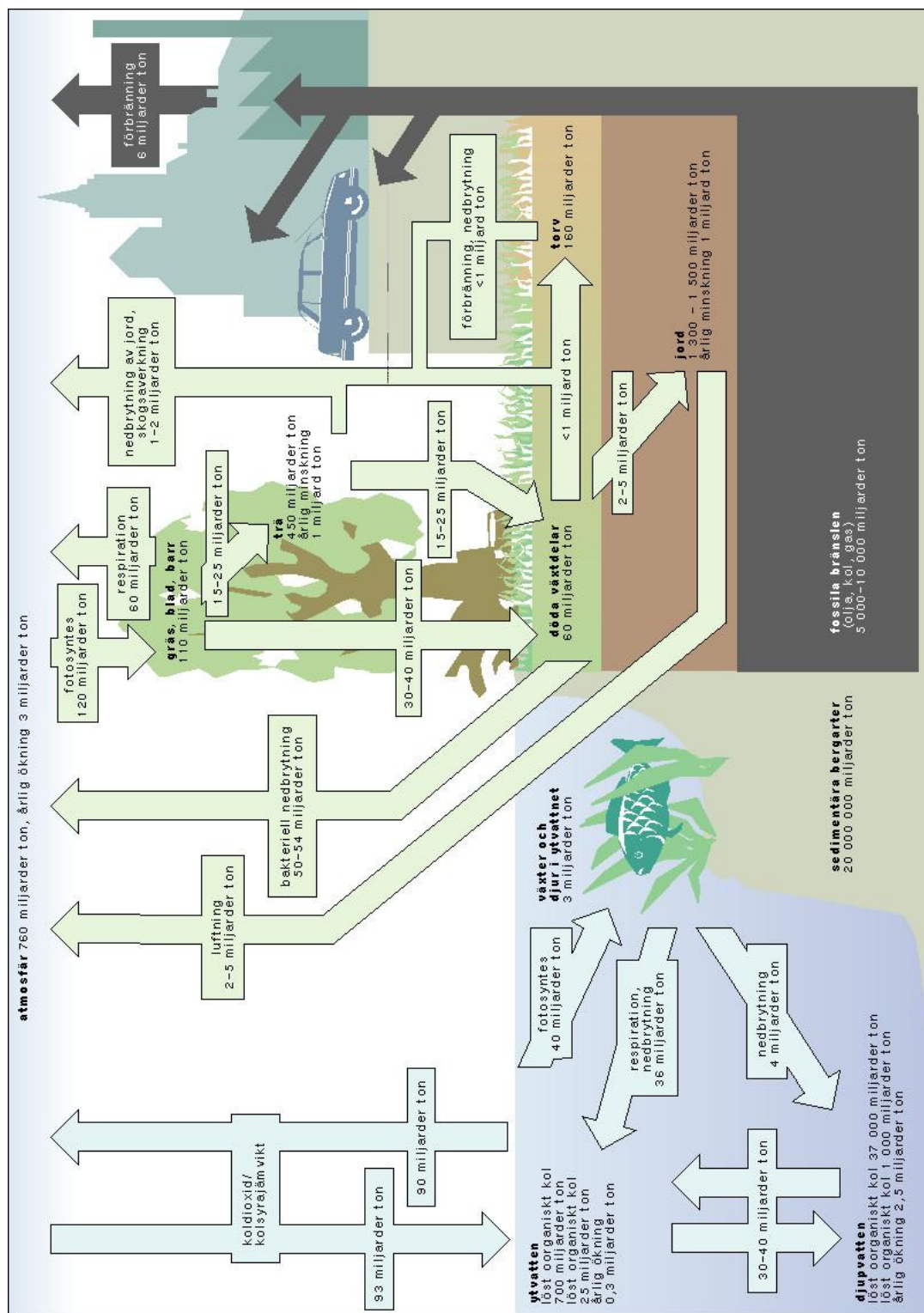
⁷⁴ (Brandt, o.a., 2000) Sid 29

⁷⁵ (Eberson, o.a., 2010)

⁷⁶ (Eberson, 2010)

bränslen har hög halt av kol och ger på så sätt stort bidrag av koldioxidhalter. Kolets kretslopp ansågs förr vara i balans innan människans inblandning startade med förbränning av fossila bränslen.⁷⁷ En bra schematisk bild på kolets kretslopp finns på nästa sida.

⁷⁷ (Brandt, o.a., 2000) Sid 30, (Bolin, 2010)



Figur 2-13 Kolets kretslopp

Man talar om två kretslopp, snabba kretsloppet och långsamma geologiska kolkretsloppet. Ett av de snabba kretsloppen utgörs av att fotosyntesen startar i ytvatten på grund av solstrålning. Koldioxid binds i fotosyntesen. Då döda växt- och djurrester sjunker ned till djupare skikt och bryts ned bildas vätekarbonater och karbonatjoner som antingen förs till ytan eller lägger sig på havsbotten. Kolsyra i sjöar och markvatten kan då lösa ut karbonat- och vätekarbonatjoner från berg och mark och åter föra tillbaka de till havet. Här talar man om en tidsperiod från decennier till årtusenden. Det långsamma geologiska kolkretsloppet har skapat de fossila bränslena. Man talar om kol, olja och gaser som bildats genom att små mängder kol försvunnit från de vanliga kretsloppen och lagrats i sediment. Denna process tar flera miljoner år.⁷⁸

Det sker även utbyte av koldioxid mellan atmosfär, hav och land genom nedbrytning av organiskt material. Växtplankton lever i princip bara några månader vilket gör att kol som lagrats kommer, av bakteriell nedbrytning av dött material, att återgå till luften. Då gräs och trä brinner, samt då växter dör och förmultnar återförs kol tillbaka till luften genom bakteriell nedbrytning.⁷⁹

2.4.1.3 Variation av CO₂-halten

Koldioxidhalterna i atmosfären varierar beroende på årstid. Detta på grund av att fotosyntesen också varierar. Under sensommaren på norra halvklotet är koldioxidhalterna som lägst. Mycket solljus möjliggör stor fotosyntes som binder koldioxid i sin reaktion och halterna av koldioxid sjunker i atmosfären. Nedbrytning av organiskt material dominerar på hösten och vintern. Den koldioxid som bundits i träden och i markens ytskikt bryts ned av svampar och destruerer och återför kolet till atmosfären igen. Därför blir koldioxidhalten som högst tidigt på våren.

Produkter från fotosyntesen binds i stammar och rötter som lignin och cellulosa. På norra halvklotet lagras kol längre tid än i tropisk skog. Det rör sig om lagrad kolmängd på 450 miljarder ton med en uppehållstid på 20-30 år. Kol lagras även i mark. På norra halvklotet rör det sig om 5 miljarder ton kol som anrikas i form av mull med en uppehållstid på ca 300 år. Upphållstiden beror på temperatur. Varmare klimat startar nedbrytning av organiskt material och kolet hinner inte lagras i mark, men i riktigt kalla områden kan kol bli kvar i jorden i tusentals år.⁸⁰

Det uppskattas att atmosfären innehåller 760 miljarder ton kol (i olika former)⁸¹ och att halten av kol ökar i atmosfären med 3 miljarder ton varje år.⁸² Kol finns i havet som oorganiskt och uppskattas till 38 000 miljarder ton. Där finns den som

⁷⁸ (LUSTRA, 2010)

⁷⁹ (Brandt, o.a., 2000) Sid 32 (Bolin, 2010)

⁸⁰ (Brandt, o.a., 2000) Sid 31

⁸¹ (Ribbing, 2010)

⁸² (Brandt, o.a., 2000) Sid 32, (Bolin, 2010)

vätekarbonat- och karbonatjoner. Det sker ett utbyte av koldioxid mellan hav och atmosfär av nästan 100 miljarder ton per år⁸³. Av dessa går 40 miljarder ton åt i fotosyntesen och lika mycket sjunker ned i djupvatten. Ca 4 miljarder ton är lagrat i form av växter och djur. Resterande kol (16 miljarder) finns löst som huvudsakligen oorganiskt och organiskt.⁸⁴

I ytvatten kan kol från nedbrytning av organiskt material snabbt tas upp i atmosfären vilket ger den en kort uppehållstid. I djupvatten finns större mängd kol, oorganiskt, än i ytvatten på grund av långsam omblandning. Växtplanktonens har stor betydelse i ytvattnet genom att deras närvaro förbrukar koldioxid i fotosyntesen. Om växtplanktonen minskar så sker inte transport till djupvatten i samma omfattning utan stannar i ytvattnet. Ett nytt jämviktsläge träder in mellan atmosfär och hav. Detta gör att det blir en högre halt av koldioxid i atmosfären. En sänkning av växtplanktonhalten skulle ge 10 % högre koldioxidhalt i ytvattnet vilket ger en fördubblad halt av koldioxid i atmosfären. På de kalla områdena i världen där djupvatten bildas, tas koldioxid bättre upp än i haven runt ekvatorn, då koldioxid lättare tas upp av kalla hav än av varma. Ifall klimatet blir varmare och haven värms upp skulle detta i sig förstärka koldioxideffekten.⁸⁵

Växthuseffekten är sådan att den ger varmare klimat i överlag men temperaturen förväntas variera på jorden. Ett riktvärde för växthuseffekten är att om koldioxidhalten fördubblas i vår atmosfär förväntas detta ge en ökning i medeltemperatur på 1,5 till 4,5 °C. Denna fördubbling förväntas bli uppnådd mellan 2030-2050 för samma utveckling som idag. Vid polerna förväntas temperaturen öka medan vid ekvatorn kommer den istället att sjunka. Växthuseffekten kommer med varmare temperatur att ytterligare förstärkas på grund av mer avdunstning som ger mer nederbörd. Dessutom gör ökande temperatur att havsvattnet expanderar och vattennivån kommer då att höjas. All avsmältning av glaciäris på Grönland och Arktis kommer att påverka havsvattennivån ytterligare.

I Brandt och Gröndals (2000) tolkning kommer växthuseffekten att ge ett varmare klimat i Skandinavien med ca 4-7 °C. Men en del forskare säger att det istället kan bli kallare och blötare på grund av att djupvattenbildningen utanför östra Grönland upphör och påverkar golfströmmen. Problemet är att när isavsmältning till havet ger en lägre densitet, p.g.a. sötare havsvatten och ökad havstemperatur, kommer vattnet inte att kunna sjunka vilket påverkar golfströmmens drivkraft och vi får kallare klimat.⁸⁶

⁸³ (Brandt, o.a., 2000) Sid 31

⁸⁴ (Bolin, 2010)

⁸⁵ (Brandt, o.a., 2000) Sid 32

⁸⁶ (Brandt, o.a., 2000) Sid 39-41

2.4.2 Källor till ökande koldioxidhalt

Koldioxidhalten i atmosfären har ökat från 200 ppm under senaste istiden till ca 280 ppm på 1800-talet. Idag uppskattas koldioxidhalten till 357 ppm.⁸⁷ Vad dessa ökade halterna beror på är viktigt att ta reda på. Avgörande källor till ökningen är bland annat förbränning av fossila bränslen, tillverkning av kalksten, avskogning och uppodling av mark.⁸⁸

Dessa ökande källor varierar i olika regioner i världen. Exempelvis är koldioxidutsläppen från fossila bränslen/ person störst i Nordamerika med ca 17 ton medan Eurasien kommer tätt inpå med ca 14 ton per person. Europa ligger däremot på ca 9 ton per person.⁸⁹ Den största källan till utsläpp av växthusgaser är förbränning av fossila bränslen. Fossila bränslen kommer från något som fossiliserats, att döda växter och små vattendjur har dött och blivit liggande på botten. Dessa täcktes av tjocka sedimentlager samtidigt som de utsattes för ökande tryck och temperatur vilket skapade dessa lager av sediment eller sedimenterad berggrund.⁹⁰ Där räknas olja, kol och naturgas vilka bildades för 50 till 500 miljoner år sedan.⁹¹

Det skiljer sig åt i luftens kolhalt vilket fossilt bränsle som förbränns. Naturgas har lägst kolhalt av dessa och släpper även ut minst koldioxid. Oljan har högre kolhalt och ger mer koldioxid per energienhet vid förbränning. Högst kommer kol med största kolinnehållet. Dock är en sak tydlig att den mängd koldioxid som släpps ut beror av kolhalten i bränslet. Naturgas används som drivmedel i bland annat bussar av den anledningen att den har hög verkningsgrad och påverkar inte miljön så mycket jämfört med oljebaserade drivmedel, exempel bensin. Dessutom är svavelhalten låg vilken minskar utsläpp av försurande ämnen samt att utsläpp av kväveoxider är låg.⁹²

Koldioxidutsläppen i Sverige är idag inte lika höga som förr från fossila bränslen. Tidigare studier visar att på 80-talet låg koldioxidutsläppen på 80 miljoner ton mot dagens 50 miljoner ton. Förklaringar till denna minskning torde bero på att oljekrisen drabbat världen så att andra alternativ än olja söks. Koldioxidutsläppen innefattar inte utsläpp från eldning av biomassa, vilket är material med kemiskt eller biologiskt ursprung som ej eller i liten grad omvandlats kemiskt.⁹³

⁸⁷ (Brandt, o.a., 2000) Sid 33

⁸⁸ (Brandt, o.a., 2000) Sid 35

⁸⁹ (GMV, 2010)

⁹⁰ (Naturvårdsverket, 2009)

⁹¹ (GMV, 2010)

⁹² (Naturvårdsverket, 2009)

⁹³ (Ekonomifakta, 2010)

2.5 Livscykelperspektiv

De utsläpp som sker av något producerat måste undersökas med en helhetssyn av totala utsläppet. Det ger nämligen inte bättre resultat om utsläppen istället kommer längre fram i processen, att problem bara förflyttats fram. Det kallas suboptimering, att prestandan förbättrats i en del av systemet men systemets prestanda i helhet försämras. Detta är ingen lösning för en produkts livscykel. En produkt genomgår tre stora faser i sin livscykel. Först är råmaterialutvinning och framställningen av produkten. Efter kommer användningsfasen där produkten nyttjas och sista fasen är resthanteringen av den brukade produkten. Hanteringen involverar förbränning, kompostering, deponering eller återvinning.⁹⁴

2.5.1 Livscykelanalys-LCA

Livscykelanalysbegreppet innefattar både livscykelinventering (LCI) och livscykelanalys (LCA). Livscykelinventering innebär att allt som rör framställningen av produkten, material och energi, sammanställs under produktens hela livscykel. Hur dessa material- och energiflöden påverkar miljön tas ej hänsyn till i denna analys. Men i livscykelanalysen tas miljöpåverkan upp.

En livscykelanalys kan genomföras för användning av internt eller externt intresse. Intern användning syftar till att analysen utförs inom ett företag och externt till offentligheten, kunder, och myndigheter. Oftast genomförs en livscykelanalys internt.⁹⁵

Några exempel⁹⁶ då det genomförs internt är för att:

- jämföra olika tillverkningsalternativ för en produkt
- identifiera de steg som svarar för största miljöbelastningen
- ta fram underlag för långsiktig planering i produktutveckling

Exempel på då en livscykelanalys genomförs externt är för att:

- analysera avfallsstrategier, vid materialåtervinning
- ta fram underlag för information och utbildning, till kunder och myndigheter
- identifiera forskningsbehov

⁹⁴ (Rydh, o.a., 2002) Sid 31

⁹⁵ (Rydh, o.a., 2002) Sid 41-42

⁹⁶ (Rydh, o.a., 2002) Sid 43 "Citat"

2.5.2 Fördelar och nackdelar med Livscykelanalys, LCA

Under analysen från vaggan till graven, går man igenom de processer en produkt genomgår, med hänsyn till miljöeffekterna de förorsakar. Det förekommer både för och nackdelar med dessa analyser på grund av dess möjligheter och begränsningar. En generell sammanställning ger följande fördelar och nackdelar.

2.5.2.1 Fördelar⁹⁷

- Avslöjar upp och nedströms material- och energiflöden som annars kanske skulle förblivit dolda
- Ger beslutsunderlag för att kunna generera nya idéer för att tillgodose samma funktion med minskad miljöpåverkan
- Resultatet kan klargöra miljömässiga kontroverser
- Underlag till framtagande av lämpliga tumregler vid miljöanpassad produktutveckling
- Mer kunskap om den egna produkten/produktionen vid diskussioner med till exempel kunder och andra intressenter

2.5.2.2 Nackdelar⁹⁸

- Data saknas ofta och metoden måste baseras på teoretiska beräkningar eller korta mätserier
- Datainsamlingen för att genomföra en livscykelanalys tar lång tid och är resurskrävande vilket försvårar dess användning i produktutvecklingsprocessen
- Kräver mycket utbildning för att kunna användas på rätt sätt
- Att genomföra en livscykelanalys av en ny produkt/process är svårt och dyrt relativt det resultat som erhålls
- Den tillgängliga datakvaliteten är inte alltid tillfredställande vilket medför att en liten ändring i indata kan ge stora variationer i resultatet
- Det saknas tillförlitliga och jämförbara LCA/LCI-data
- Det finns ingen internationellt erkänd viktningsmetod

⁹⁷ (Rydh, o.a., 2002) Sid 44 "Citat"

⁹⁸ (Rydh, o.a., 2002) Sid 44 "Citat"

3 Emissioner för passivhus och normalhus

Bland de olikheter som finns mellan passivhus och normalhus finns det några som har betydande roll för koldioxidutsläppen. Dessa är mängden mineralull, mer cellplast i grunden för passivhus, annan typ av fönster samt olika driftkostnader för uppvärmningsbehov. För isoleringen syftar värdena till totala koldioxidutsläppen till luft för att producera produkten. Där ingår utvinning av råmaterialen, energiåtgång (el, gas) att producera samt transporten för produkten eller dess delar. Värdena för produktionens processer finns i respektive byggvarudeklaration.

3.1.1 Mineralull

Det finns två typer av mineralull, glasull och stenull.

Glasull ger lägre värmeledningsförmåga. Glasull ger utsläpp till luft mindre än 480 g/kg, enhet.⁹⁹ För stenull ges koldioxidutsläppen till 980 g/kg, enhet.¹⁰⁰

3.1.2 Cellplast

Cellplast ger inte lika stort koldioxidutsläpp som mineralull. Utsläppen till luft är 190 g/kg färdig isolering. Värdena avser EPS-cellplast.¹⁰¹

3.1.3 Fönster

Fönster i passivhus har lägre U-värden och ger mindre energiförluster. Detta ger lägre uppvärmningsbehov och mindre koldioxidutsläpp. Fönster som finns för passivhus kan ha fler glas, kan vara fyllda med argon-gas mellan glasen eller så kan glasskiktet vara behandlat med ytskikt/belägg.¹⁰²

Skillnaden är dock liten för produktionsdelen. Större skillnad finns för driften där bättre isolerade fönster ger lägre elförbrukning. Uppskattningsvis gäller att 35 % av energiförlusterna sker genom fönstren. Därför är det viktigt att ha fönster med god prestanda. En måttstock är att varje kilowattimme som kan sparas in, motsvarar ett kilo i minskade koldioxidutsläpp¹⁰³

3.1.4 Drift

I jämförelsen mellan passivhus och ett normalhus måste driften tas med under deras livslängd. Passivhus har inte samma uppvärmningsbehov som ett normalhus har, och med det kommer utsläppen orsakade av driften att vara lägre för passivhus. Driften i Sverige nyttjar svensk elmix och motsvarar koldioxidutsläpp från främst vattenkraftverk och kärnkraftverk. Kärnkraftverk står för större delen av utsläppen på 15-25 g/kWh. För beräkning med nordisk elmix blir koldioxidutsläppen 75-100

⁹⁹ (Isover G, 2007)

¹⁰⁰ (Isover S, 2006)

¹⁰¹ (Isover C, 2003)

¹⁰² (Warfvinge, o.a., 2003) Sid 35

¹⁰³ (Energifönster, 2007)

g/kWh.¹⁰⁴ Alla bostäder har olika mycket energibehov och det gör att koldioxidutsläppen orsakade av driften också kommer att vara olika. Energin till en bostad kan komma från direktverkande el, fjärrvärme, bergsvärme, elpanna, olja, biogas. Detta spelar stor roll för koldioxidutsläppen där köpt el ger mer utsläpp av koldioxid än exempelvis fjärrvärme och bergsvärme. Olja ger mest utsläpp av koldioxid då det används. Hus behöver elförsörjning till hushållet och till fastigheten som till skillnad från uppvärmning och tappvarmvatten inte kan utnyttja fjärrvärme. Istället bör man fundera på vilken typ av el man bör inköpa. Lägst utsläpp ger svensk elmix.¹⁰⁵ Det är inte alltid svensk elmix finns tillgänglig för marknaden. Man talar om marginalet eller basel, vilket är den el du vanligtvis köper. Väljer du att använda svensk elmix kommer utsläppen inte att vara höga av just den elmix, men om efterfrågan är större än tillgången behövs annan källa tas till hänsyn. Man är i akut behov av att införskaffa el, oberoende vilken källa den kommer ifrån. Marginalet i Centraleuropa och likaså i Sverige är kolkondensproducerad el. Det menas att elproduktion som sker vid toppbelastning (stort energibehov) kommer till Sverige direkt från dansk kolkraft. Detta ger utsläpp till luft på motsvarande 1000 g/kWh.¹⁰⁶

Programmet Anavitor har olika elmix att välja mellan. Bland annat finns nordisk elmix, svensk elmix, svensk marginalet, europisk elmix. Ska man täcka över ett års energibehov för ett boende överensstämmer Nordisk elmix bäst. Det innebär att en svensk elmix används med vissa inslag av marginalet vid behov.

Passivhus har den fördelen att dess driftenergi är lägre under hela livslängden. Passivhus har i regel mer isolering, är mer lufttät, har fönster med fler glas eller behandlade glas. Detta gör att byggmaterialen i passivhusen kommer att generera mer utsläpp än ett normalhus av samma storlek. Ju mer isolering som används i väggen, desto mer koldioxid avges till luft vid produktion av isoleringen. Väggens lufttätthet samt ett lågt U-värde minskar däremot transmissionsförluster och den specifika energianvändningen kommer att vara lägre. Med lägre energiförbrukning för drifttiden kommer detta att generera mindre koldioxidutsläpp orsakade av utsläpp från elektricitet.

¹⁰⁴ (Klimatkompassen, 2010)

¹⁰⁵ (Svensk Energi, 2005)

¹⁰⁶ (Energirådgivningen, 2011)

4 Metod

4.1 Litteraturstudie

Fakta samlas från olika källor till sammanställningen av teoridelen. Därav ska fakta hämtas från relevanta böcker samt från tillförlitliga elektroniska källor. Det är viktigt att hitta information som passar in i jämförelsen av passivhus med normalhus med avseende på totala koldioxidutsläppen.

4.2 Livscykelanalys

För att genomföra en livscykelanalys har standardisering av metoder tagits fram för att objektivt jämföra olika produkter. Dessa standardiseringar har tagits fram av International Organisation for Standardization och finns redovisade i ISO 14000-serien.¹⁰⁷

Programmet Anavitor använder en produktionskalkyl som den bygger sin livscykelanalys på. I liknelse med den redovisade livscykelanalysen nedan utgör produktionskalkylen en samling av alla material som ingår i byggnaden. Anavitor kategoriserar dessa efter relevans till koldioxidutsläpp som den sedan gör en miljöpåverkansbedömning. Resultatet som fås är en mängd koldioxid som släpps ut till luft av den redovisade produktionskalkylen.

Livscykelanalys delas generellt in i fyra faser. Först att *definiera målsättning och omfattning*. Därefter görs en *inventeringsanalys*, en *miljöpåverkansbedömning* och sist en *tolkning av resultatet*.

4.2.1 Målsättning

Att **definiera målsättning** ska beskriva varför livscykelanalys ska genomföras och vad resultatet ska användas till.¹⁰⁸

4.2.2 Omfattning

Livscykelanalysens omfattning definierar vad analysen ska fokusera på för att uppfylla målsättningen. Efter att valt ut det som ska studeras, begränsas analysen till de delar som ger den mest framträdande miljöbelastningen.¹⁰⁹

4.2.3 Inventeringsanalys

Inventeringsanalys går ut på att samla information och kategorisera dessa efter dess relevans till miljöpåverkan. Kategoriseringen görs efter resursanvändning, utsläpp till luft och vatten samt markanvändning. Kolet är resursen och koldioxid är utsläpp till luft och asfalterad yta är hur marken används. Då väljs de kategorier som till stor del

¹⁰⁷ Livscykelanalys enligt ISO 14040. Sid 47

¹⁰⁸ (Rydh, o.a., 2002) Sid 49

¹⁰⁹ (Rydh, o.a., 2002) Sid 50

påverkar miljöpåverkansbedömningen¹¹⁰

En inventering är välkonstruerad om den följer detta tillvägagångssätt.

Inventeringen görs i sex steg:¹¹¹

1. "Bestäm produktens eller systemets materialsammansättning. Beräkna mängden material som krävs för att uppfylla den funktionella enheten. Rita ett processträd för systemet och bestäm systemgränserna.
2. Samla in uppgifter om de olika enhetsprocesserna. Inventera data för råvaru- och energibehov, utsläpp och avfall (datakategorier)
3. Normalisera genom att dividera datakategorierna för varje enhetsprocess med referensflödet genom enhetsprocessen.
4. Beräkna materialbalansen för varje enhetsprocess av processträdet relaterad till den funktionella enheten.
5. Beräkna emissioner, energi- och resursanvändning för varje enhetsprocess genom att multiplicera dess massflöde med normaliserade inventeringsdata för enhetsprocessen. Summera därefter miljöbelastningen för samtliga enhetsprocesser.
6. Bedöm rimligheten av resultatet och förbättra vid behov datakvaliteten."

4.2.4 Miljöpåverkansbedömning

Miljöpåverkansbedömning är nästa fas i att göra en livscykelanalys. Efter att inventeringsanalysen gjorts ska det sammanställas och ur det bedöma vilka inventeringsdata som är viktiga ur miljösynpunkt. Inventeringsdata måste förenklas så det lättare kan bedömas. Datakategorier jämföras genom några metoder för att ta fram den möjliga påverkan som kan uppstå. Dessa värderingsmetoder är *klassificering, karakterisering och viktning*.

I *klassificering* indelas datakategorier efter naturvetenskapliga samband/miljöeffekter såsom växthuseffekt, ozonförtunning, marknära ozon, övergödning av hav, sjöar och mark, försurning m.m.

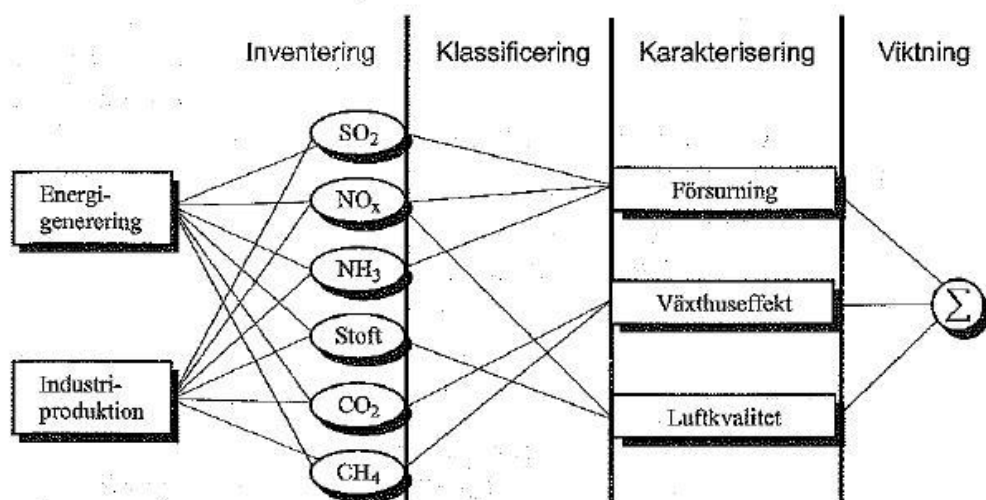
Det förekommer att vissa datakategorier hamnar i flera miljöeffektkategorier och då måste dessa värderas vidare i nästkommande metoder.

Karakterisering görs genom att multiplicera inventeringsdata med en karakteriseringsfaktor för att bedöma vilka emissioner som leder till större miljöpåverkan. Karakteriseringens syfte är att få en miljöeffekt orsakad av förbrukad resurs. Växthuseffekten förstärks genom att förbränna fossila bränslen. Ofta brukar denna karakterisering räcka för att kunna göra en miljöpåverkansbedömning. Det finns dock en till värderingsmetod.

¹¹⁰ (Rydh, o.a., 2002) Sid 63

¹¹¹ (Rydh, o.a., 2002) Sid 64

För att slutligen bedöma bidraget från inventeringsdata görs en *viktning* där resultatet sammanställs till ett tal.¹¹²



Figur 4-1 Miljöpåverkansbedömning¹¹³

Skillnaden mellan Anavitor och denna redovisade livscykelanalys är att sammanställningen av resultatet av Anavitor ger en mängd utsläpp i kilogram av de ingående materialen vilken motsvarar inventeringen ovan.

¹¹² (Rydh, o.a., 2002) Sid 79-80

¹¹³ (Rydh, o.a., 2002) Sid 81

4.3 Fallstudie

Jämförelsen mellan passivhus och normalhus kommer att genomföras som en fallstudie av dels radhus och dels flervåningshus. Hus förekommer som höga punkthus med flera våningar, eller som småhus i form av radhus med högst 2-2,5 våningar.

Radhusen är två radhus som bägge är passivhus medan ett är vanligt radhus. I jämförelserna finns ett passivhus med betongstomme och ett med trästomme. Beräkningar har tagit hänsyn till hela husprojekt, då kalkyler funnits på hela projektens produktionsmaterial och resurser.

Flervåningshusen är punkthus med olika stommar. Det ena passivhuset har betongstomme medan den andra ska ha trästomme. Dessa jämförs med ett punkthus som uppfyller BBR16-kraven för byggnaden med en valfri stomme för att få en bild på skillnaden i koldioxidutsläpp.

Intressant är också hur mycket det skiljer i utsläpp beroende på vilket byggnadssätt som väljs för passivhus och normalhus per kvadratmeter Atemp. Utöver det är det intressant att studera vilket sorts boende, radhus eller flervåningshus, som påverkar miljön minst negativt.

4.4 Verktyg

4.4.1 Anavitor

Programmet som används, Anavitor, är ett verktyg för att göra klimatdeklarationer för koldioxidutsläpp. Miljödata som är indata i programmet levereras av IVL, Svenska Miljöinstitutet. Leverantör av programvaran är ÅKEJ AB. IVL Svenska Miljöinstitut är ett forskningsinstitut som arbetar med uppdrag för ekologiskt, ekonomiskt och socialt hållbar tillväxt inom näringslivet och övriga samhället.¹¹⁴ De levererar klimatdata för alla möjliga byggnadsmaterial. Genom analyser, provtagning och ständig forskning kan de sammanställa miljödata om i princip alla byggnadsmaterial.

4.4.2 Indata

Till Anavitor behöver några saker tas fram. Huset som ska beräknas ska ha värden på BTA och A_{TEMP} . A_{TEMP} är en definierad area för respektive våningsplan som värms upp och befinner sig inom byggnadens klimatskärm och värms upp till mer än 10°C.

Innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt räknas med i A_{TEMP} .¹¹⁵

BTA, bruttoarea är den totala arean av alla våningsplan som begränsas av ytterväggs utsida. Här ingår i princip all invändig area.¹¹⁶ Om inte BTA anges för ett hus kan det

¹¹⁴ (IVL B, 2011)

¹¹⁵ (Boverket 9, 2010)

¹¹⁶ (Betongbanken, 2010)

räknas ut med hjälp av omvandlingsfaktorer. Enligt (Boverket, 2008) är Atemp ca 90 % av BTA. BTA fås alltså genom $Atemp/0.9$

Det ska tas med information om vilken hustyp beräkningen görs för. Projekttypen som väljs är småhus för radhusen och flerbostadshus för flervåningshusen, punkthusen. I beaktningen till koldioxidutsläpp väljs att undersöka produktions- och driftsskedet i en livscykel. I produktionskalkylen ingår varje material, varje beståndsdel samt transport för dessa. Driften syftar till den mängd el (kWh/m^2) som husen slösar på ett årsbasis. Till denna beräkning har olika elmix använts. Här jämförs både nordisk och svensk elmix.

Husens specifika energianvändning behöver tas fram från en gjord energiberäkning så att de av driften orsakade utsläppen kan beräknas. Med VIP+ kan en energiförbrukning för uppvärmning tas fram. I Anavitor behövs värden för hushållsel, uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsel för husets livslängd på 50 år.

De viktigaste indata i programmet är en produktionskalkyl hämtat från programmet MAP-Kalkyl. MAP-Kalkyl används till att skapa tidiga kalkyler för en projektorienterad verksamhet som husbyggnation¹¹⁷. I produktionsskedet skapas en produktionskalkyl för arbetsledare och platschefer för att veta vilka material och mängden material som kommer användas i ett bygge.

Anavitor importerar denna produktionskalkyl och får automatiskt miljödata från IVL om hur mycket dessa material kan orsaka i utsläpp på grund av produktionen och transport till ett bygge. Materialens transportlängder kan man ändra beroende på ursprung för materialen. Det finns framtagna transportlängder nämligen att betongtransporter har transportsträcka på 50 km. För resterande material finns en medeltransportsträcka på 350 km.

¹¹⁷ (MAP, 2010)

Tabell 3 Klimatpåverkan av resurser (IVL A)¹¹⁸

Resurser	[kg CO₂/kg material]	[kg CO₂/X]
Fabriksbetong (K30)	0,137	
Singel (Betonggrus 0-8)		1,465/m ³
Lättklinker (lös 12-20)	0,525	
Cementbaserade skivor	0,413	
Gipsskiva	0,270	
Fönsterbänk (Marmor)	0,032	
Fönster (Treglas)		28,648/m ²
Fönster (Treglas+ 1 Albekl.)		38,597/m ²
Sågat trävirke	0.108	
Klassat trävirke (T)	0,098	
Limträ (L40)	0.107	
Formplywood	0,217	
Byggplywood	0,201	
Skivmaterial (MDF)	0,397	
Board (träfiberskiva)	0,295	
Spånskivor	0,267	
Tryckimpregnerat trävirke	0,107	
Lamellparkettgolv		2,042/m ²
Linoleumgolv		2,605 m ²
Innerdörr (Trä)		19/st
Lister (behandlade)	0,114	
Mineralull (glasull)	0.661	

¹¹⁸ Anavitor har dessa värden hämtade från IVL:s miljödatas. Dessa har räknats ut för hand då en ordentlig sammanställning inte finns för de viktigaste resurserna

Mineralull (stenull)	1,186	
Cellplast (EPS)	1,884	
Cellplast (XPS)	1,910	
Plastfolie (PE)	1,825	
Plastgolv (PVC)	1,149	
Geotextil fiberduk	2,500	
Armeringstål	0,820	
Stångstål	1,470	
Stål ECCS, ÅV	0,857	
Stål och metallvaror	1,546	
Förbehandlat stål	2,090	
Plåt- och regnvattenbeslag	2,089	
Aluminiumprofil (Primär)	13,232	
Koppar (86 % Primär)	0,639	
Torrbruk (murning och puts)	0,200	
Formolja (Formlen)	3,450	
Närvärme (Olja)	3,689	
Teleskoptruck 37-75 kW diesel		18,851 / timme i drift
Hjullastare 200-400 kW diesel		156,964 / timme i drift
Lastbil 130-560 kW diesel		125,625 / timme i drift
Mobilkran 130-560 kW diesel		78,484 / timme i drift
Betongpump 130-560 kW diesel		125,625 / timme i drift
El Miljömärkt el (SNF) 2005-2007		0,00785 / kWh

4.4.3 VIP+

VIP+ är ett energiberäkningsprogram som beräknar förbrukningen av energi i ett hus. Värden fås för uppvärmning, hushållsel, fastighetsel samt tappvarmvatten. I programmet ska indata vara livslängden 50 år, ventilationen består av till- och frånluftssystem med värmeväxlare för passivhus, fläktförstärkt självdrag i normalhus. Bland annat ska U-värdena för vägg, tak, grund finnas. Önskat luftflöde bör finnas med på en halv omsättning per timme.

4.5 Jämförelser mellan radhus och punkthus

4.5.1 Radhus

Verkliga energianvändning har tagits för både normalhus och passivhus efter att husen blivit färdigställda. Hustypen för dessa är radhus. Två passivhus, där ena har betongstomme och det andra har trästomme har jämförts. Dessa jämfördes sedan med ett normalhus som klarar BBR16-kraven. Husens specifika energianvändning togs fram. Här ingår elförbrukning för hushållsel, uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsel för husets livslängd.

Det finns enligt (SVEBY, 2009) ett schablonvärde för hushållsel med ett värde på 30 kWh/m². Förutsättningen är att elkostnader på grund av hushållet hade varit samma oavsett vilket hus som väljs.

4.5.1.1 Normalhus

Isolertjocklek vägg: 240 mm

Isolertjocklek tak: 500 mm

Isolertjocklek bottenbjälklag: 200 mm

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, $U_m = 0.275 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Effektbehov: *uppgift saknas*

Lufttäthet: *uppgift saknas*

Atemp: 320 m²

BTA: 356 m²

4.5.1.2 Passivhus med betongstomme

Isolertjocklek vägg: 270-400 mm (Sandwichvägg, betong och cellplast)

(Gavelvägg har 400 mm medan mellanvägg har 270 mm cellplast.)

Isolertjocklek tak: 550 mm

Isolertjocklek bottenbjälklag: 300 mm

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, $U_m = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (BBR16)

Effektbehov: $9.5 \text{ W/m}^2 < 10 \text{ W/m}^2$

Lufttäthet: 0.3 l/s, m^2

Atemp: 3227 m^2

BTA: 3586 m^2

4.5.1.3 Passivhus med trästomme

Isolertjocklek vägg: 430 mm

Isolertjocklek tak: 500 mm

Isolertjocklek bottenbjälklag: 350 mm

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, $U_m = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (BBR16)

Effektbehov: $9.5 \text{ W/m}^2 < 10 \text{ W/m}^2$

Lufttäthet: 0.2 l/s, m^2

Atemp: 3120 m^2

BTA: 3467 m^2

4.5.2 Energirapport för radhusen

Energiberäkning ger energiförbrukningen för husen:

Tabell 4 Uppmätta värden för energianvändning

Typ av förbrukning	Normalhus [kWh/m ²]	Passivhus, btg [kWh/m ²]	Passivhus, trä [kWh/m ²]
Uppvärmning:	39	21	8
Tappvarmvatten:	9	6	17
Fastighetsel:	9	6	4
	$\Sigma = 57 < 110$	$\Sigma = 33 < 45$	$\Sigma = 29 < 45$
Hushållsel:	30	30	30

Anavitor behöver dessa indata för att kunna beräkna CO₂-utsläppen orsakade av driftskedet.

4.5.3 Punkthus

Hustypen för dessa är flervåningshus av typ punkthus. Två passivhus jämfördes, där ett hade betongstomme och den andra hade trästomme. Husens specifika energianvändning uppmättes efter inflyttning. Här ingår förbrukning av el för hushållsel, uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsel för husets livslängd. Energiförbrukningsvärden finns framtagna för dessa hus. Samma schablonvärde används för hushållsel på 30 kWh/m².

4.5.3.1 Passivhus med betong i vägg och stomme

Isolertjocklek vägg: 315 mm

Isolertjocklek tak: 300-500 mm

Isolertjocklek bottenbjälklag: 70 mm (garage under hus)

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, $U_m = 0.115 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Effektbehov: *uppgift saknas*

Lufttäthet: 0.25 l/s, m²

Atemp: 11616 m²

BTA: 15021 m²

4.5.3.2 Passivhus med alltigenom trästomme (trä B)

Isolertjocklek vägg: 385 mm

Isolertjocklek tak: 550 mm

Isolertjocklek bottenbjälklag: 300 mm

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, $U_m = 0.26 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Effektbehov: $9.0 \text{ W/m}^2 < 10 \text{ W/m}^2$ (passivhus-kravet)

Lufttäthet: 0.19 l/s, m²

Atemp: 5714 m²

BTA: 6349 m²

4.5.4 Energirapport för punkthusen

Energiberäkning ger energiförbrukningen för husen:

Tabell 5 Uppmätta värden för energianvändning

Typ av förbrukning	Passivhus, btg [kWh/m ²]	Passivhus, trä [kWh/m ²]
Uppvärmning:	15	10
Tappvarmvatten:	15	18
Fastighetsel:	11	10
	$\Sigma = 41 \leq 45$	$\Sigma = 38 \leq 45$
Hushållsel:	30	30

Anavitor behöver dessa indata för att kunna beräkna CO₂-utsläppen orsakade av driftskedet.

5 Resultat

5.1 CO₂-beräkning Anavitor

Med indata från beräkningen av specifik energianvändning kan en beräkning göras för koldioxidutsläppen med Anavitor.

I beräkningen till driften används Nordisk elmix. Utsläppen av koldioxid orsakas i Sverige av främst kärnkraftverk. Den mängden koldioxid som släpps ut beror mycket på vilket energibehov varje hus har. Det spelar roll om energin kommer från köpt el eller från fjärrvärme. Koldioxidbelastningen undersöks för produktionsskedet och för driftskedet. Rivning tas inte med i programmet.

5.1.1 Radhus

Tabell 6

Typ av hus	Produktion [kg/m ² Atemp]	Drift [kg/m ² Atemp]	Totala CO ₂ [kg/m ² Atemp]
Normalhus	236,86	740,00	976,86
Passivhus, btg	465,35	476,93	942,28
Passivhus, trä	359,04	495,32	854,36

Normalhus är radhus med träregelstomme och grundplatta av betong.

Passivhus, btg har yttervägg av betong samt inre bärande väggar av betong.

Grundplattan utgörs också av betong.

Passivhus, trä har yttervägg av trä samt inre bärande väggar av betong. Grundplattan utgörs också av betong.

5.1.2 Punkthus

Tabell 7

Typ av hus	Produktion [kg/m ² Atemp]	Drift [kg/m ² Atemp]	Totala CO ₂ [kg/m ² Atemp]
Passivhus, btg	641,85	531,00	1172,85
Passivhus, trä	303,23	516,60	819,83

Passivhus, btg har yttervägg av betong samt inre bärande väggar av betong.

Grundplatta är av betong.

Passivhus, trä har yttervägg av trä samt inre bärande väggar utgörs av trä. Ett källarplan består av betong.

6 Analys

Totala koldioxidutsläppen för passivhus och normalhus ger ett värde för husens livslängd på 50 år.

Livscykelanalysen anger för oss hur mycket koldioxid materialen i byggnaden genererar då de väljs. Dessa ska väljas så att byggnadens energikostnader optimeras för att inte påverka miljön negativt. Koldioxidutsläpp motsvarar för driften olika mycket beroende på vilken förbrukad energianvändning man tittar på.

6.1 Radhus

6.1.1 Normalhus

Detta radhus består av trästomme. Både bjälklag och ytter- och innervägg består av trä. Grundplattan är den enda som utgörs av betong. Detta visar på den låga utsläppen under produktionen av huset, vilket är det lägsta av de olika radhusen. I detta exempel ser man tydligt att då en trästomme väljs alltigenom blir inte utsläppen lika höga för produktionsdelen.

Att driften förorsakar mer utsläpp beror på att dess energiförbrukning / A_{temp} är mycket högre än de andra passivhusen. Energiförbrukningen 57 kWh/m^2 är nästan dubbelt så stort som för de andra radhusen.

Störst påverkan för driften kommer från uppvärmningen vilken utgör 34 % av totala koldioxidutsläppen. Dessutom genererar driften största delen av totala koldioxidutsläppen.

6.1.2 Passivhus med betongstomme

I detta fall med radhus av sandwichvägg släpp används betong både i yttervägg och innervägg. Grunden utgörs av en betongplatta. Alltså blir det en hel del kilo betong som går åt att uppföra detta hus. Från IVL:s databas för klimatpåverkan av resurser som används i projekt framgår det att fabriksbetong släpper ut $0.137 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$ per kg betong. Detta förklarar det höga värdet som produktionen får per kvadratmeter A_{temp} yta.

Driften för detta passivhus är ett bra värde i jämförelse med de andra passivhusen. Energiförbrukningen för passivhuset är 63 kWh/m^2 vilket tydligt visar på den låga driftbelastningen av koldioxid. Huset i detta exempel använder fjärrvärme till uppvärmning och tappvarmvatten vilket ger lite lägre utsläpp än och man använt köpt el.

Störst påverkan för driften kommer från uppvärmning och utgör 16 % av totala koldioxidutsläppen. Det låga värdet beror på passivhusets låga behov av energiförbrukning samt att betongproduktionen bidrar till mycket av totala koldioxidutsläppen.

6.1.3 Passivhus med trästomme

Fallet med detta hus är att endast ytterväggar består av trä medan inre bärande stommar består av betong samt att grundplattan utgörs av betongplatta på mark. Till de radhus som befinner sig i gaveln förekommer det att gavelvägg består av stålreglar som är bärande. Mängden betong som används i huset ger ett högre värde än det som normalhuset gav. Där bestod alla bärande delar av trä. Det som är intressant, är att produktionen genererar en lägre halt av koldioxidutsläpp än för passivhuset med betongstomme. Det tydliggörs att då trä används i produktionen blir utsläppen lägre.

Energiförbrukningen är 59 kWh/m^2 vilket även det är bra lågt värde. Det intressanta med driften för detta hus är att både uppvärmning och tappvarmvatten utnyttjar köpt el och inte fjärrvärme. Köpta elen ger lite mer utsläpp av koldioxid än om det hade kommit från fjärrvärme.

Störst påverkan för driften fås från tappvarmvatten på 17 % av totala koldioxidutsläppen. Att fallet blev att tappvarmvatten orsakar mest för driften beror på hur husen är konstruerade. Uppvärmningsbehovet var lägre här och istället utnyttjar gratisvärme från människor och apparater och berättigar till att kallas passivhus.

6.1.4 Sammanfattning

Genom att titta på produktionsutsläppen för dessa tre radhus ser man att lägst värden ges för radhus normalhus. Detta värde är på $236,86 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2$. I Bilaga 11 Radhus Normalhus ges ett värde på $202,33 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2$. Skillnaden beror på att ett påslag på $34,53 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2$ har lagts till värdet på grund av att grundplatta, plint, grundplint och kantbalk inte hade medräknats i produktionskalkylen. Trots det ges lägst värden för normalhus som byggts med trästomme.

Granskar man energivärdena för driften ges det lägsta värdet för passivhus med trästomme till totalt 59 kWh/m^2 . Detta gav ett utsläpp på $495,32 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2$. Dock är detta inte det lägsta värdet av koldioxidutsläpp orsakad av driften. Lägst koldioxidutsläpp fås från passivhus med betongstomme på $476,93 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2$ med driftsvärden på totalt 63 kWh/m^2 . Detta beror på att passivhus med trästomme utnyttjar köpt el med värmepump till skillnad från passivhus med betongstomme som utnyttjar fjärrvärme till uppvärmning och tappvarmvatten.

Totalt sett fås det lägsta värdet från passivhus med trästomme. Den stora orsaken är att driften ger låga koldioxidutsläpp samtidigt som produktionen ger låga värden.

6.2 Punkthus

6.2.1 Passivhus med betongstomme

Passivhuset är byggt av betong i ytterväggar, innerväggar och i grundplattan. Mycket betong går åt i produktionen för att uppföra huset. Produktionen i detta fall ger i praktiskt taget störst koldioxidutsläpp per kvadratmeter yta än någon att hus som jämförts. Stora skillnaden mot tidigare radhus med betongstomme är att detta punkthus med betongstomme har massiva betongväggar och inte sandwichelement. Dessutom är byggnaden stor och mer betong används per kvadratmeter yta för att kunna bära byggnadens laster.

Driften för detta passivhus och punkthus är lågt och ligger på ungefär samma nivå som för de andra passivhusen. Energiförbrukningen ligger på 71 kWh/m^2 och är det högsta värdet jämfört med passivhusen. För att benämnas passivhus måste energiförbrukning exklusive hushållsel vara lägre än 45 kWh/m^2 Atemp. Detta hus ligger på 41 kWh/m^2 . I huset används fjärrvärme till tappvarmvatten och uppvärmning.

Störst påverkan för driften kommer lika mycket från uppvärmning som från tappvarmvatten. Uppvärmning och tappvarmvatten ligger vardera på 10 % av totala koldioxidutsläppen. Dessa små andelar beror på att betongen i produktionen ger ett stort koldioxidutsläpp och andelen för driften är liten i jämförelse.

6.2.2 Passivhus med trästomme

Huset har en husunderbyggnad vilket utgörs av betong. Stommen utgörs av trä d.v.s. ytterväggar, innerväggar och alla bjälklag är av massiv trä. Det förekommer också fibercementskivor i väggar som är lägenhetsavskiljande och bidrar till utsläpp. Trots att betong förekommer fås ett lågt värde av koldioxidutsläpp av produktionen. Värdet är högst sannolikt ett säkert värde och bevisar hur lågt man kan komma i att bygga miljövänligt.

Driftens värde påverkas helt av energiberäkningsvärdena. Energiförbrukningen ligger för detta passivhus på 68 kWh/m^2 . Varmvatten och tappvarmvatten utnyttjar fjärrvärme vilket också ger lite lägre koldioxidutsläpp.

Den största påverkan för driften kommer ifrån tappvarmvatten på ca 17 % av totala koldioxidutsläppen.

7 Diskussion och slutsats

Syftet med arbetet var att ta fram ett livscykelperspektiv för passivhus (radhus och flervåningshus) och för normalhus (radhus) enligt BBR16, med avseende på totala koldioxidutsläppen. Programmet Anavitor har möjliggjort och gett de resultat som förväntades. Ett annat syfte var att ta fram underlag för olika stommar för att bedöma byggnadsmaterialens koldioxidutsläpp.

Resultaten i arbetet har visat vilken skillnad det innebär att välja ett sorts boende framför ett annat. Bland dessa resultat kan för flervåningshus sägas att om stommen helt igenom väljs av trä sänks koldioxiden med 53 %. Trästomme gav 303.23 kg CO₂-ekv/m² medan Betongstomme gav 641,85 kg.

Om samma jämförelse görs för radhusen med betongstomme och trästomme, om trä väljs istället för betong i radhuset, så fås en sänkning med 23 % i koldioxidutsläpp. Ett radhus, som helt består av trästomme med endast platta på mark av betong, utgör en sänkning med 49 % i koldioxidutsläpp för produktionen, i jämförelse med radhuset med betongstomme. Produktionsutsläppen är låga i detta normalhus medan driften istället är hög. Detta pekar på att vi bör välja att passivhus med trästomme.

Liknande studier har gjort där olika stommar har jämförts med varandra. En sådan studie svarar Ekvall (2006) för i en rapport om stommaterialens betydelse för koldioxidutsläpp. Där framgår av olika källor den miljömässiga skillnaden mellan trä- och betongkonstruktioner. Alla studier visar att trä mer eller mindre ger en sänkning av koldioxidutsläppen då de väljs i en stomme. Förutom den stora skillnaden i produktionen tittar man i en livscykelanalys också på driftsfasen. I studien framgår det av resultaten att det inte finns någon stor skillnad på driftsfasen.

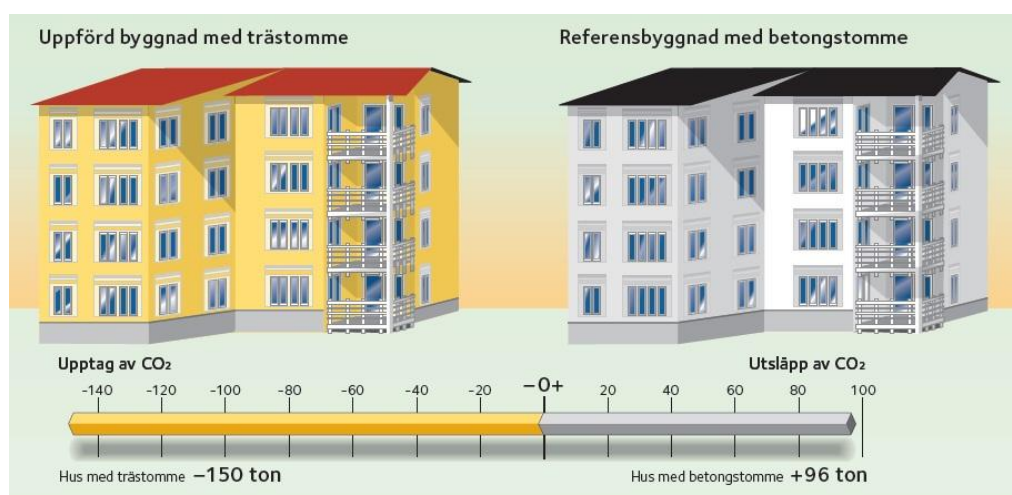
Det är svårt att göra en livscykelanalys. Det finns restprodukter att ta hand om och dessa måste tjäna något syfte annars är de bara en belastning på miljön. När man ska bedöma hur trästommar påverkar koldioxidutsläppen är det svårt att ta hänsyn till skogens biprodukter och utvinning av energi från trä efter rivning. Man riskerar enligt Ekvall (2006) att biprodukternas och rivningsvirkets miljövärde överdrivs. Ett annat problem är att studierna visar utsläpp av koldioxid vid cementframställning, men inte den mängd koldioxid betong kan ta upp genom karbonatisering. Dock antas det i en studie att 8 % av mängden koldioxid, som avges då kalksten bränns till kalciumoxid (kalcinering), absorberas genom karbonatisering under husets livslängd.¹¹⁹

¹¹⁹ (Ekvall, 2006)

Skogsindustrierna visar i en rapport med en analys som utförts av forskare vid Mittuniversitetet i samarbete med finska forskare att det finns klimatfördelar för trä. I analysen har två identiska bostadshus jämförts, ett med trästomme och ett med betongstomme, över ett 100-årsperspektiv. Koldioxidutsläpp har räknats fram för det uppförda trähuset, och man har uppskattat hur mycket betonghuset hade givit i koldioxidutsläpp. Där framgår det att betonghuset hade medfört ett nettoutsläpp på 96 ton koldioxid medan trähuset istället har nettoupptag på 150 ton koldioxid. Det vill säga att trähuset upptar koldioxid medan betonghuset avger koldioxid. Analysen bygger på en livscykelanalys med energibehovet vid produktionsfasen, energikonsumtion vid användningsfasen och avfallet i slutfasen.

I produktionsfasen har biprodukter från avverkning av skog används som biobränslen för trähuset, medan fossila bränslen utnyttjas för betonghuset. I användningsfasen finns inga större skillnader på valet av trästomme jämfört med betongstomme. För avvecklingsfasen används träavfallet från trähuset som biobränsle för något syfte som annars hade använt fossila bränslen, vilket blir en vinst. Betonghuset har inte sådana vinster förutom att betong kan krossas och användas som ballast till ny betong.¹²⁰

Figur 7-1 Jämförelse mellan byggnader¹²¹



Att bygga med trä är bra för naturens eget kretslopp då det är en förnyelsebar råvara. Genom avverkning av skogar erhålls trävaror som kan användas i byggnationer, men genom att återbeskoga, plantera nya träd kan trä göras förnyelsebart och cykeln blir hel. Trä binder koldioxid i stammar och på så sätt ger användande av trä i stommar mindre koldioxid än om betong används i stommar.

¹²⁰ (Skogsindustrierna B, 2008)

¹²¹ (Skogsindustrierna B, 2008)

Dessutom kan trä- och pappersprodukter bli till biobränslen som också sänker utsläppen av koldioxid och göra oss fria från kol- och oljeberoendet¹²²

I arbetet har hänsyn tagits till produktionsfasen och driftsfasen i en livscykelanalys enligt Anavitor. Där ger valet av trästomme fördelar för en sänkning av koldioxidutsläpp.

I driftsfasen finns inte särskilt stora skillnader på valet mellan trä- och betongstomme. Däremot finns det skillnad på om man använder direktverkande el eller fjärrvärme för tappvarmvatten och uppvärmning. Fjärrvärme ger lägre värde, vilket har påvisats i radhusen med betong- och trästomme. Radhuset med betongstomme hade högre värden för driftsenergi (63 kWh/m^2) och utnyttjade fjärrvärme medan huset med trästomme (59 kWh/m^2) utnyttjade direktverkande köpt el. Resultatet visar att radhuset med betongstomme hade lägre utsläpp av koldioxid trots att det använde mer driftsenergi.

Om normalhus jämförs med radhus kan man tydligt se vilken skillnad det innebär i utsläpp av koldioxid orsakad av driften. Passivhus ger lägst utsläpp för driften enligt koldioxidberäkningsprogrammet ANAVITOR.

En beställare kan bestämma vilken stomme ett hus ska ha. Dessutom kan man välja hur det ska byggas, som plushus, nollenergihus, passivhus, lågenergihus eller enligt kraven BBR16. Olika driftskostnader eller vinster kommer att fås, vilket beställaren själv väljer. Förutom detta kan brukaren sänka sina elkostnader genom att se över sin hushållsel och vara ekonomisk. Man bör använda A-klassade vitvaror, lågenergilampor, undvika standbyläge i apparater, dra ur laddare från kontakt.

Finns möjligheten så bör ett miljövänligt boende väljas. Bästa kombinationen av uppförandet av ett miljövänligt boende är att välja ett passivhus med trästomme. Att välja ett miljöhållbart boende måste prioriteras och uppmärksammas av alla. Vi måste lämna ett arv som gynnar och inte ett som stjälper efterkommande generationer. Passivhus är här för att stanna!

¹²² (Bergs Timber AB, 2009).

8 Litteraturförteckning

Bergs Timber AB. 2009.

<http://www.bergstimber.se/se/Miljoe/Miljoe/Hallbarhetsutveckling>. *Bergstimber*. [Online] 2009. [Citat: den 25 Mars 2011.]

Betongbanken. 2010. <http://www.betongbanken.com/index.aspx?s=2626>.

Betongbanken. [Online] 2010.

Bolin, Bert. 2010. [ne.se/kol.bla bla bla](http://ne.se/kol.bla%20bla.bla). *Artikel om kolets kretslopp*. [Online] 2010.

[Citat: den 20 Oktober 2010.]

Boverket 9. 2010. <http://www.boverket.se/Kontakta-oss/Fragor-och-svar/Bygg-och-konstruktionsregler/Om-avsnitt-9-i-BBR/Atemp/>. *Boverket*. [Online] Februari 2010.

Boverket. 2008. *Atemp-omräkning*. [red.] Bengt Wånggren. Januari 2008.

Brandt, Nils och Gröndahl, Fredrik. 2000. *Miljöeffekter*. Stockholm : KTH, 2000.

Burström, Per Gunnar. 2007. *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Andra upplagan. Lund : Studentlitteratur, 2007. ss. 465-475.

Bytafönster.se. 2010. <http://www.byta-fönster.se/content/f%C3%B6nstrets-uppbyggnad>. *Bytafönster*. [Online] 2010. [Citat: den 12 01 2011.]

Cellplaster.nu. 2010. <http://www.cellplaster.nu/tillverkning-cellplast/>. *cellplaster.nu*. [Online] 2010. [Citat: den 28 12 2010.]

Cementa. 2003.

http://www.heidelbergcement.com/se/sv/cementa/produkter/byggcement_skovde.htm. *Heidelbergcement, Byggvarudeklaration, yttre miljö - Cement*. [Online] December 2003.

Ebersson, Lennart. 2010. *NE. Kol Föreningar*. [Online] 2010.

Ebersson, Lennart och Wikman, Susanne. 2010. *NE. Kol Förekomst*. [Online] 2010. [Citat: den 22 Oktober 2010.]

Ekonomifakta. 2010. *Ekonomifakta*.

<http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Miljo/Utslapp-i-Sverige/Koldioxid/>. [Online] den 16 juni 2010. [Citat: den 2 11 2010.]

Ekvall, Tomas. 2006. <http://www.ivl.se/webdav/files/B-rapporter/B1663.pdf>. *Miljöaspekter på val av stommaterial i byggnader*. [Online] Januari 2006.

Energifönster. 2007.

http://www.energifonster.nu/backnet/media_archive/original/da9fd817094f3496560ccc43f020d5f3.pdf. 2007.

Energirådgivning. 2010.

http://www.energiradgivningen.se/index.php?option=com_content&task=view&id=132&Itemid=1. *Energirådgivning*. [Online] 2010.

Energirådgivningen. 2011. Energirådgivningen - Energi och miljö.

http://www.energiradgivningen.se/index.php?option=com_content&task=view&id=52&Itemid=30. [Online] Augusti 2011.

Eurokork. 1998. <http://www.eurotak.se/eurokork/pdf/eurokorkbvd.pdf>. *Eurokork*. [Online] Januari 1998.

FEBY. 2009. FEBY Kravspecifikation för Passivhus (Forum för energieffektiva byggnader).

http://www.passivhuscentrum.se/fileadmin/pdf/Kravspecifikation_Passivhus_slutversion_juni_2009_1_juli.pdf. [Online] Juni 2009. [Citat: den 20 Januari 2011.]

FEBY,A. 2009. *Kravspecifikation för Passivhus*. Oktober 2009.

Foamglas A. 2007.

http://www.foamglas.se/_/frontend/handler/document.php?id=295&type=42. *Foamglas*. [Online] Maj 2007.

Foamglas B. 2010. <http://www.foamglas.se/produkter/produktegenskaper/>. *foamglas*. [Online] 2010. [Citat: den 11 01 2011.]

Fresh. 2008. http://www.fresh.se/p80118/files/Varmeatervinning_bostad_SE.pdf. *Fresh Ventilation*. [Online] Februari 2008.

GMV, Göteborgs miljövetenskapliga centrum. 2010.

<http://www.miljoportalen.se/luft/vaexthusgaser/vaexthuseffekt-och-vaexthusgaser-vad-aer-det-egentligen>. *Miljöportalen*. [Online] den 24 Maj 2010. [Citat: den 1 November 2010.]

Isover C. 2003. *Byggvarudeklaration för Styrolit EPS-cellplast*. Billesholm, Sverige : u.n., September 2003.

Isover G. 2007. *Byggvarudeklaration BVD 3*. Billesholm, Sverige : u.n., Maj 2007.

Isover S. 2006. *Byggvarudeklaration för Isover Stenull*. Billesholm, Sverige : u.n., Augusti 2006.

IVL A. ANAVITOR.

IVL B. 2011.

<http://www.ivl.se/toppmeny/omivl.4.360a0d56117c51a2d30800064681.html>. *IVL Svenska Miljöinstitutet*. [Online] Mars 2011. [Citat: den 2 Mars 2011.]

Janson, Ulla. 2010.

http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Doc_avhandling_UJ_Bok_webb.pdf. *Passive houses in Sweden*. [Online] 2010.

Klimatkompassen. 2010. <http://www.klimatkompassen.se/index.php?id=348257>. *Beräkningsmetodik och grundantaganden*. [Online] 2010.

LUSTRA. 2010. Kolet, klimatet och skogen, Så funkar det. *Biogeochemistry*. den 20 Oktober 2010.

MAP. 2010. http://www.map.se/site_map/innehall.asp?page=kalkylering. *MAP Skandinaviska*. [Online] 2010.

MRD Sälj Bygg AB. 2010.

<http://www.koljern.se/system/visa.asp?HID=950&FID=875&HSID=14985>. *Koljern*. [Online] 2010. [Citat: den 11 01 2011.]

Naturvårdsverket. 2009. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Energi/Fossila-branslen/>. *Naturvårdsverket*. [Online] den 22 Oktober 2009. [Citat: den 1 11 2010.]

Passivhuscentrum A. 2011. Marknaden för passivhus.

<http://www.passivhuscentrum.se/marknaden.html>. [Online] Januari 2011.

Passivhuscentrum B. 2010. Vad är passivhus?

<http://www.passivhuscentrum.se/broschyrer.html?&L=ywasqsfaxrndmqda>. [Online] den 17 mars 2010.

Ribbing, Carl-Gustaf. 2010.

http://www.stockholminitiative.com/vetenskap/atmosfarens_koldioxidhalt/. *Atmosfärens koldioxidhalt*. [Online] 2010. [Citat: den 20 Oktober 2010.]

Rydh, Carl Johan, Lindahl, Mattias och Tingström, Johan. 2002. *Livscykelanalys-en metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*. Lund : Studentlitteratur, 2002.

Sandin, Kenneth. 2004. *Praktisk Husbyggnadsteknik*. Lund : Studentlitteratur, 2004.

Skogsindustrierna A. 2010. Skogsindustrierna, Produkter från skogen - ett hållbart val.

http://www.skogsindustrierna.org/web/Skogsindustrin_en_faktasamling_2008_1_1.aspx. [Online] 2010.

Skogsindustrierna B. 2008. *Skogsindustrin - en naturlig del av Sverige*. Stockholm : RGB Grafisk produktion AB, 2008.

Stener, Bertil. 2004. Martinsons.

<http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/Travaror/Att%20v%C3%A4lja%20tr%C3%A4.pdf>. [Online] 2004. [Citat: den 14 Januari 2011.]

SVEBY. 2009. SVEBY, Brukarindata för energiberäkningar i bostäder.

http://www.sabo.se/SiteCollectionDocuments/090414_Brukarindata_bostad.pdf. [Online] April 2009.

Svensk Energi. 2005. *Hur värmer vi svenska småhus idag och i framtiden?* 2005.

Termoträ. 2007.

http://www.termotra.se/filer/Dokument/BVD/bvd_termotra_original.pdf. *Termoträ*. [Online] Maj 2007.

Träguiden. 2010.

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/PageTwoColumn.aspx?id=4962>. *Träguiden*. [Online] 2010. [Citat: den 19 01 2011.]

Warfvinge, Catarina och Dahlblom, Mats. 2003. *Installationsteknik AK för V*. Lund : Avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola, 2003.

Bilaga Radhus Normalhus

Klimatdeklaration

ENERGIBEHOV & KOSTNADER

Projektnamn:
 Beteckning: Radhus
 Hustyp:
 A_{temp} (m²) 320 (m²)
 Uppvärmning och ventilation:

Diagram 1:	kWh/år	27 872
Hushållsel	kWh/år	9 600
Fastighetsel	kWh/år	2 880
Tappvarmvatten	kWh/år	2 848
Uppvärmning	kWh/år	12 544

Diagram 2:	kWh/år/m ²	87
Hushållsel	kWh/år/m ²	30
Fastighetsel		9
Tappvarmvatten	kWh/år/m ²	9
Uppvärmning	kWh/år/m ²	39

UTSLÄPP AV VÄXTHUSGASER

Diagram 3: kg CO ₂ -ekv	Diagram 4: kg CO ₂ -ekv	Diagram 5: kg CO ₂ -ekv/m ²
Produktion 64 744	Drift 236 801	Produktion 202,33
		Drift 740,00
		Totalt för livscykel 942,33

Bilaga Radhus PH BTG

Klimatdeklaration

ENERGIBEHOV & KOSTNADER

Projektnamn:

Beteckning: Radhus

Hustyp:

A_{temp} (m²) 3 227 (m²)

Uppvärmning och ventilation:

Diagram 1:	kWh/år	203 301
Hushållsel	kWh/år	96 810
Fastighetsel	kWh/år	19 362
Tappvarmvatten	kWh/år	19 362
Uppvärmning	kWh/år	67 767

Diagram 2:	kWh/år/m ²	63
Hushållsel	kWh/år/m ²	30
Fastighetsel	kWh/år/m ²	6
Tappvarmvatten	kWh/år/m ²	6
Uppvärmning	kWh/år/m ²	21

UTSLÄPP AV VÄXTHUSGASER

Diagram 3: kg CO ₂ -ekv	Diagram 4: kg CO ₂ -ekv	Diagram 5: kg CO ₂ -ekv/m ²
Produktion 1 501 696	Drift 1 539 047	Produktion 465,35
		Drift 476,93
		Totalt för livscykel 942,28

Bilaga Radhus PH TRÄ

Klimatdeklaration

ENERGIBEHOV & KOSTNADER

Projektnamn:

Beteckning: Radhus

Hustyp:

A_{temp} (m²) 3 120 (m²)

Uppvärmning och ventilation:

Diagram 1:	kWh/år	181 896
Hushållsel	kWh/år	93 600
Fastighetsel	kWh/år	12 792
Tappvarmvatten	kWh/år	51 480
Uppvärmning	kWh/år	24 024

Diagram 2:	kWh/år/m ²	58
Hushållsel	kWh/år/m ²	30
Fastighetsel	kWh/år/m ²	4
Tappvarmvatten	kWh/år/m ²	17
Uppvärmning	kWh/år/m ²	8

UTSLÄPP AV VÄXTHUSGASER

Diagram 3: kg CO ₂ -ekv	Diagram 4: kg CO ₂ -ekv	Diagram 5: kg CO ₂ -ekv/m ²
Produktion 1 120 217	Drift 1 545 388	Produktion 359,04
		Drift 495,32
		Totalt för livscykel 854,36

Bilaga Punkthus PH BTG

Klimatdeklaration

ENERGIBEHOV & KOSTNADER

Projektnamn:
 Beteckning: Punkthus
 Hustyp:
 A_{temp} (m²) 11 616 (m²)
 Uppvärmning och ventilation:

Diagram 1:	kWh/år	813 120
Hushållsel	kWh/år	348 480
Fastighetsel	kWh/år	121 968
Tappvarmvatten	kWh/år	174 240
Uppvärmning	kWh/år	168 432

Diagram 2:	kWh/år/m ²	70
Hushållsel	kWh/år/m ²	30
Fastighetsel	kWh/år/m ²	11
Tappvarmvatten	kWh/år/m ²	15
Uppvärmning	kWh/år/m ²	15

UTSLÄPP AV VÄXTHUSGASER

Diagram 3: kg CO ₂ -ekv	Diagram 4: kg CO ₂ -ekv	Diagram 5: kg CO ₂ -ekv/m ²
Produktion 7 455 704	Drift 6 168 096	Produktion 641,85
		Drift 531,00
		Totalt för livscykel 1172,85

Bilaga Punkthus PH TRÄ

Klimatdeklaration

ENERGIBEHOV & KOSTNADER

Projektnamn:

Beteckning: Punkthus

Hustyp:

A_{temp} (m²) 5 714 (m²)

Uppvärmning och ventilation:

Diagram 1:	kWh/år	388 552
Hushållsel	kWh/år	171 420
Fastighetsel	kWh/år	55 426
Tappvarmvatten	kWh/år	105 138
Uppvärmning	kWh/år	56 569

Diagram 2:	kWh/år/m ²	68
Hushållsel	kWh/år/m ²	30
Fastighetsel	kWh/år/m ²	10
Tappvarmvatten	kWh/år/m ²	18
Uppvärmning	kWh/år/m ²	10

UTSLÄPP AV VÄXTHUSGASER

Diagram 3: kg CO ₂ -ekv	Diagram 4: kg CO ₂ -ekv	Diagram 5: kg CO ₂ -ekv/m ²
Produktion 1 732 631	Drift 2 951 852	Produktion 303,23
		Drift 516,60
		Totalt för livscykel 819,83