

Jämförelse av grundkonstruktioner ur ett CO2-perspektiv

Lovisa Vikström

Examensarbete för byggnadsingenjörs (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2022

EXAMENSARBETE

Författare: Lovisa Vikström
Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik Vasa
Inriktning: Byggnadskonstruktion
Handledare: Leif Östman

Titel: Jämförelse av grundkonstruktioner ur ett CO₂-perspektiv

Datum: 27.5.2022 Sidantal: 28 Bilagor: 3

Abstrakt

Detta examensarbete behandlar koldioxidsnålt byggande och riktar sig främst på grundkonstruktioner. Syftet med arbetet var att jämföra koldioxidutsläppen av två olika grundkonstruktioner och deras materialval. Det har även gjorts studier kring byggnadsmaterial samt dess positiva och negativa påverkan på klimatet. För att ta reda på CO₂-avtryck hos konstruktionslösningar och byggnadsmaterial har mjukvaran One Click LCA använts.

I examensarbetet har det jämförts två olika typer av grundkonstruktioner för att utreda vilka material och konstruktionslösningar som anses vara bra ur ett CO₂-perspektiv. Det har även gjorts en tredje utredning för en CO₂-otimerad version av grundkonstruktionstypen platta på mark. Livscykelanalysen innehåller grundkonstruktioner, väggar, dörrar, fönster och tak.

Utredningen resulterar i stora skillnader mellan konstruktionstyperna som undersökts. Det kan konstateras att byggande i trä är mer CO₂-effektivt än att bygga i betong, främst eftersom trä är ett organiskt material som ingår i det ekologiska kretsloppet. I resultatet från beräkningen av materialens utsläpp konstaterades det att betong- och stålproduktionen står för de största koldioxidutsläppen. Det bör dock nämnas att det går att minska på CO₂-avtrycket för betongkonstruktioner genom att ersätta en del av råmaterialet med återvunnet material.

Språk: svenska

Nyckelord: koldioxidsnålt byggande, livscykelanalys, grundläggning, koldioxid perspektiv, cirkulär ekonomi

BACHELOR'S THESIS

Author: Lovisa Vikström
Degree Programme: Construction Engineering
Specialisation: Building Construction
Supervisor: Leif Östman

Title: Comparision of Foundation Constructions from a Carbon Dioxide Perspective

Date: 27.5.2022 Number of pages: 27 Appendices: 3

Abstract

This thesis is about low carbon building design and the focus is mainly on foundations. The purpose of this thesis was to compare carbon dioxide emissions of two different construction solutions and their material selection. Studies of construction materials as well as their positive and negative impact on the climate have also been done. The software One Click LCA has been used as a tool to determine the carbon footprint for building materials and construction solutions.

Two different types of foundations have been compared to investigate which materials and construction solutions are considered good from a carbon dioxide perspective. A third investigation for a carbon dioxide optimized version of the construction type slab on the ground has also been done. The life cycle analysis includes foundations, walls, doors, windows and roofs.

The investigation results in noticeable differences between the construction types that have been examined. It can be stated that building with wood is more carbon effective than building with concrete, mainly because wood is an organic material, which is included in the ecological cycle. As a result of calculating the emissions from materials, can it be stated that concrete- and steel production stands for the biggest carbon dioxide emissions. However, it should me mentioned that it is possible to reduce the carbon footprint for concrete constructions by replacing some of the raw material with recycled material.

Language: Swedish

Key words: Low Carbon Construction, Life Cycle Analysis, foundation, carbon dioxide perspective, Circular Economy

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Uppdragsgivare.....	1
1.2	Syfte och målsättning	2
1.3	Metoder och avgränsningar	2
2	Bakgrund.....	2
2.1	Byggnadsbranschens klimatpåverkan	3
2.2	Cirkulär ekonomi.....	4
3	Växthusgaser	4
3.1	Koldioxidekvivalent	6
3.1.1	Fossila bränslen	6
3.1.2	Transport.....	7
4	Byggnadens livscykel	7
4.1	Livscykelanalys	8
5	Mjukvaran One Click LCA	9
5.1	CO ₂ – optimering i början av projekteringen.....	10
6	Jämförelse av konstruktionslösningar ur ett CO ₂ -perspektiv.....	10
6.1	Koldioxidutsläpp för beträffande grundkonstruktioner	11
7	Sunda byggmaterial	14
7.1	Trä som byggnadsmaterial.....	15
7.2	Betong som byggnadsmaterial	16
7.3	CE-märkning	16
8	Materialval.....	17
8.1	Organiskt material.....	18
8.2	Mineraliskt material.....	18
8.3	Syntetiskt material	18
8.4	Metaller	19
9	Grundläggning.....	20
9.1	Platta på mark	20
9.2	Krypgrund.....	21
10	Beräkningar och jämförelser.....	21
11	Slutsatser	22
12	Källförteckning.....	24

Bilageförteckning

- Bilaga 1. Resultat från livscykelanalys av grundkonstruktion med träbjälklag
- Bilaga 2. Resultat från livscykelanalys av grundkonstruktion med betongplatta
- Bilaga 3. Resultat från livscykelanalys av CO2-otimerad grundkonstruktion
betongplatta

Terminologi

LCA

LCA står för livscykelanalys. Det är en metod för att beräkna en produkts miljöpåverkan under hela livscykeln, från att materialet utvinns tills att produkten inte kan användas längre och bör tas hand om på olika sätt. (Boverket, 2019).

Cirkulär ekonomi

Cirkulär ekonomi innebär att alla tillverkade produkter ska användas så länge det går. När de sedan tjänat sitt syfte ska så mycket som möjligt återanvändas och återvinnas så att de kommer tillbaka till kretsloppet. (Naturskyddsföreningen, 2021).

Kolsänka

En kolsänka binder mer koldioxid än den släpper ut. Hav och skogar är viktiga kolsänkor som lagrar kol under en lång period och motverkar därmed klimatförändringen. Motsatsen till kolsänka kallas för kolkälla. (ecotree, 2021).

Koldioxidavtryck

Koldioxidavtryck är ett mått på hur stor inverkan något har på klimatet. Avtrycket beräknar hur mycket utsläpp en person, produkt, företag eller handling orsakar. Koldioxidavtryck mäts i utsläpp och uttrycks som en massa i gram, kilogram eller ton. Termen koldioxidekvivalenter används som en gemensam benämning för alla växthusgasutsläpp. De vanligaste växthusgaserna är koldioxid (CO₂), metangas (CH₄), dikväveoxid (N₂O) samt ozon. (OptiWatti, 2019).

1 Inledning

Hållbart och koldioxidsnålt byggande är begrepp som blir allt mer förekommande inom byggbranschen. Enligt miljöministeriet (2021 a) behöver alla branscher minska sina utsläpp framöver för att uppnå målet om ett klimatneutralt Finland före 2035. En färdplan har upprättats som grund för att ge en bättre förståelse för omfattningen, kostnaderna och förutsättningarna för de åtgärder som behöver vidtas. (Paloneva & Takamäki, 2021).

I detta examensarbete utreds skillnader i koldioxidutsläpp mellan olika konstruktionslösningar samt hur mycket koldioxidutsläpp de valda materialen har. Genom att utföra en livscykelanalys redan tidigt i projekteringen, kan man välja material som anses vara bra utifrån ett miljöperspektiv. Vid val av sunda byggnadsmaterial ser man till att varken byggnaden eller människan tar skada.

1.1 Uppdragsgivare

Examensarbetet är gjort åt Bohouse och är till största del en utredning för hur man bygger ett klimatsmart egnehemshus. Bohouse är både en planeringsbyrå och en byggfirma som erbjuder skräddarsydda och platsbyggda hus enligt kundens önskemål. Företaget är grundat år 2005 av byggnadsingenjören Roger Sundkvist och har idag 11 anställda och 6 delägare. Sundkvist är även vd, konstruktör, planerare och ansvarig arbetsledare för företaget, som har sina rötter i Bosund i Larsmo.

Bohouse erbjuder många olika alternativa tjänster, bland annat allt-i-ett, vind- och vattentätt, skivfärdigt samt bygg själv, där kunden har möjlighet att skräddarsy innehållet och tjänsten helt enligt egna önskemål. Företagets försäljningsområde sträcker sig från Karleby till Vasa men har som målsättning att växa och kunna tillverka skräddarsydda och platsbyggda drömhushus åt allt fler kunder inom en snar framtid.

Enligt Sundkvist använder Bohouse sig av grundläggningsmetoden platta på mark i 80 - 90% av de husgrunder de bygger, men de utreder för tillfället om de ska börja använda sig av en varmgrund med sockel och träbjälklag i stället. I detta examensarbete utreds därför vilket av dessa två alternativ som har minst kolavtryck.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med detta examensarbete är att ta reda på vilka materialval som anses vara bäst ur ett livscykelperspektiv samt att jämföra koldioxidutsläppen mellan två olika grundläggningsmetoder. Målsättningen med examensarbetet är att bredda kunskaperna om koldioxidsnålt byggande samt lära mig mer om hur olika material påverkar miljön.

1.3 Metoder och avgränsningar

Det första steget av arbetet bestod av en litteraturstudie kring ämnet koldioxidsnålt byggande. Eftersom arbetet inkluderar en utredning av två grundläggningsmetoder, bestämdes efter diskussion med min handledare Leif Östman att programvaran One Click LCA ska användas för beräkning av koldioxidutsläpp. Som tidigare nämnts så behandlar det grundläggningsmetoderna platta på mark samt varmgrund med träbjälklag där båda två inkluderar gjuten betong sockel.

Centrala källor som används i detta examensarbete är boken Byggekologi (2009), Boverket (2019) samt standarden (SFS-EN 15643:2021) gällande livscykelanalys.

Beräkningarna i One Click LCA resulterar i miljöpåverkan av de valda materialen för husgrunden, väggar och tak. Examensarbetet redogör inte för markberedning och grundarbeten som i sig har relativt hög klimatbelastning och baserar sig på användningen av fossila bränslen. Examensarbetet redogör heller inte för val av energisystem, trots att det har en betydande inverkan vid optimering av kolavtryck i en byggnad.

2 Bakgrund

Enligt miljöministeriet befinner vi oss i en hållbarhetskris och Finland strävar därför till att bli klimatneutralt före 2035. Detta kräver att utsläppen minskar inom alla sektorer och kolsänkorna bör stärkas. En minskning av byggandets klimatpåverkan och främjandet av den cirkulära ekonomin är två av metoderna för att uppnå målet och komma ur krisen som vi befinner oss i. (Miljöministeriet, 2021 a).

Enligt Markanvändning- och byggförordningen (895/1999) bör miljökonsekvenserna under byggnadens användningstid beaktas så att användningsändamålet förutsätter hållbarhet gällande ekologiska egenskaper. En utredning av miljöbelastningen från byggnadens behov

och material bör beräknas för byggnadens hela livscykel. En viktig aspekt gällande detta är att byggnadsdelarna och de tekniska anordningarna skall kunna repareras och bytas ut. Vid ansökan om rivning eller byggande bör en utredning om mängden byggavfall och sortering av avfall göras. Det bör även informeras om avfall som är skadliga för miljön eller hälsan samt hanteringen av avfallet. (Markanvändnings- och byggförordningen 895/1999, § 55).

Ministerarbetsgruppen för klimat- och energipolitik styr genomförandet av regeringsprogrammet gällande klimatneutralitet och ökande av kolsänkor (Statsrådet, u.d.). Ministergruppen har utvecklat en nationell utsläppsdatabas som erbjuder uppgifter om hur byggprodukter i Finland påverkar klimatet. Målet med denna klimatdatabas är att främja koldioxidsnålt byggande genom att beräkna klimatpåverkan som uppstår under byggnadens hela livscykel. (Miljöministeriet, 2021 b).

Tack vare färdplanen som gjorts upp kommer det att bli möjligt att komma i gång med koldioxidsnålt byggande samt koldioxidbudgetering för olika typer av byggnader före år 2025. I klimatdeklarationen ska det framgå bland annat det skadliga och nyttiga klimatavtrycket på en byggnad. (Miljöministeriet, 2021 b).

2.1 Byggnadsbranschens klimatpåverkan

Byggbranschen har en stor påverkan på den globala uppvärmningen och beräknas stå för ett utsläpp på 15 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Byggbranschen konsumerar 3 miljarder ton råvaror och står för 50% av den globala stålproduktionen. (Håkansson & Ljung, 2020). Betong är ett viktigt grundmaterial inom byggbranschen, varav cement är en beståndsdel som står för cirka 90% av betongens klimatpåverkan (Nordman, 2020). Av de utsläpp som uppstår från cementindustrin kommer 60 – 65% från kalcineringsprocessen och resterande del från förbränning av de bränslen som krävs för tillverkningen (Svensk Betong, u.d.a).

Byggnader och konstruktioner orsakar en tredjedel av Finlands växthusgasutsläpp och cirka 40% av den totala energiförbrukningen (Miljöministeriet, 2021 c). Utsläppen under en byggnads livstid minskar i takt med att energieffektiviteten förbättras och utsläppen från energiproduktionen minskar. En energieffektiv byggnad kan bestå av många olika material, men alla material ger olika utsläpp i förhållande till dess tekniska och funktionella krav. Koldioxidsnålt byggande utesluter inte allmänna krav på konstruktionen. Det vill säga att

lågt koldioxidutsläpp inte är målet med byggandet på bekostnad av hållbarhet eller människans hälsa, men utöver dessa bör man såklart ta hänsyn till byggreglerna. (Kuittinen, 2017).

Eftersom att betongen har en stor påverkan på klimatet jobbar man idag på att ta fram en klimatförbättrad betong. Klimatförbättrad betong innebär en aktiv optimering av betongens sammansättning. Detta sker genom att exempelvis optimera bindemedelssammansättningen utan att betongens egenskaper påverkas. Det är även viktigt att samverka mellan beställare, konstruktör, betongleverantör och entreprenör fungerar så att betongen väljs och hanteras på rätt sätt med avseende på kvalitet och funktion. (Svensk Betong, u.d.b).

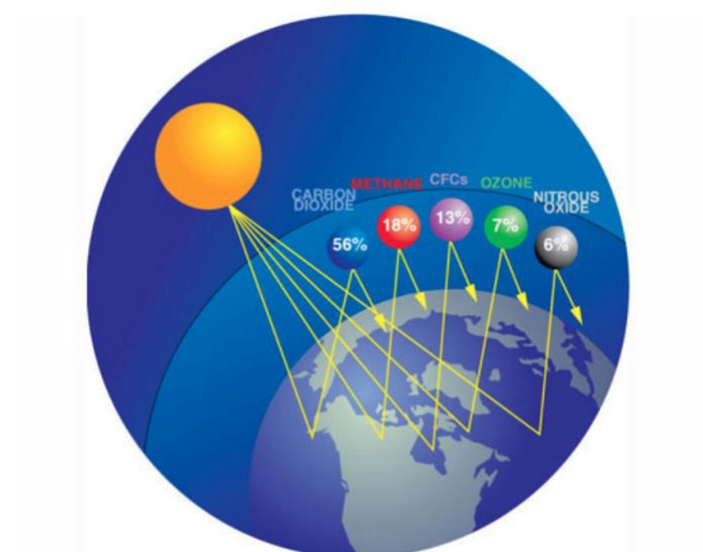
2.2 Cirkulär ekonomi

Cirkulär ekonomi är viktigt för att utveckla en hållbar framtid. Cirkulär ekonomi innebär att en produkt tillverkas och används så länge det går och skall sedan kunna återanvändas, återvinnas eller vara nedbrytbar för att kunna komma tillbaka till kretsloppet. Strävan inom cirkulär ekonomi är att inget avfall ska uppkomma utan allt avfall ska ses som en råvara. Byggbranschen behöver övergå helt till cirkulär ekonomi för att minska den negativa påverkan på miljön. (Arup, 2016).

Enligt Miljöministeriet (2021 d) handlar cirkulär ekonomi inte enbart om en produkts långa och effektiva användningstid utan även om att hyra ut och dela produkter och material. Målet med cirkulär ekonomi är att det ska stå som grund för ekonomin före 2035. (Miljöministeriet, 2021 d).

3 Växthusgaser

En växthusgas är vilken som helst gas i atmosfären som kan absorbera och avge värme igen. Växthusgaser är naturligt förekommande i jordens atmosfär men nivåerna ökar genom mänsklig aktivitet, till exempel genom förbränning av fossila bränslen. Detta orsakar global uppvärmning och klimatförändringar, vilket betyder att atmosfären blir varmare än den borde. De vanligaste växthusgaserna är vattenånga, koldioxid (CO_2), metan (CH_4), dikväveoxid (N_2O) samt ozon. (Matthew, 2021).



Figur 1. Växthusgasernas påverkan på atmosfären. (Lydén, 2010)

Människan släpper även ut indirekta växthusgaser i atmosfären. Dessa är föroreningar som i sig själva inte är växthusgaser, men som leder till att växthusgaser som exempelvis koldioxid, ozon och metan bildas i atmosfären. Kolmonoxid och vissa kolväten hör till dessa typer av föroreningar där trafikutsläppen är den största indikatorn som påverkar utsläppen.

Växthusgaserna befinner sig i atmosfären under olika långa tidsperioder samtidigt som de absorberar olika mycket värme. Detta innebär att nästan alla växthusgaser som orsakas av människan lever så länge att de hinner sprida sig över hela världen innan de försvinner ur atmosfären. (Naturvårdsverket, u.d.a).

Den globala uppvärmningspotentialen Global Warming Potential av olika gaser anger hur mycket koldioxidutsläpp en gas orsakar inom en viss tidsperiod. Denna tidsperiod beräknas oftast vara 100 år. I tabell 1 framkommer att metan (CH_4) påverkar den globala uppvärmningen 25 gånger mer än koldioxid (CO_2), sett över en tidsperiod på 100 år. (Matthew, 2021).

Tabell 1. Den globala uppvärmningspotentialen GWP för de vanligaste växthusgaserna.

Greenhouse Gas		Global Warming Potential (GWP)
1.	Carbon dioxide (CO ₂)	1
2.	Methane (CH ₄)	25
3.	Nitrous oxide (N ₂ O)	298
4.	Hydrofluorocarbons (HFCs)	124 – 14,800
5.	Perfluorocarbons (PFCs)	7,390 – 12,200
6.	Sulfur hexafluoride (SF ₆)	22,800
7.	Nitrogen trifluoride (NF ₃) ³	17,200

(Matthew, 2021)

Enligt statistikcentralen (2022) har Finlands växthusgasutsläpp minskat till 47,8 miljoner ton CO₂e år 2020 jämfört med 52,8 miljoner ton CO₂e år 2019. I Finland år 2020 orsakades de flesta utsläppen av vägtrafik (27%), jordbruk (21%), fjärrvärme (14%) och elförbrukning (11%) (Finlands miljöcentral, 2022).

3.1 Koldioxidekvivalent

Koldioxidekvivalent eller CO₂e är en term för att beskriva olika växthusgaser med en gemensam enhet. Enligt tabell 1 är koldioxid den vanligaste växthusgasen som orsakas av mänskliga aktiviteter och därför är CO₂e-utsläpp eller koldioxidutsläpp den allmänna termen som används för de vanligaste växthusgasernas utsläpp. Vid beräkning av CO₂e-utsläpp multiplicerar man mängden växthusgaser med dess GWP. Enligt tabell 1 avläses att utsläppet av 1 kg metan uttryckas som 25 kg CO₂e. (Matthew, 2021).

I detta examensarbete används benämningen koldioxidutsläpp och CO₂e-utsläpp som en gemensam term för alla växthusgasers utsläpp. Mjukvaran One Click LCA som används i detta arbete uttrycker mängden utsläpp i ton CO₂e.

3.1.1 Fossila bränslen

Fossila bränslen ger upphov till stora mängder växthusgasutsläpp. De vanligaste fossila bränslena är kol, bensen, diesel och naturgas. Dessa bränslen är organiska rester från växter och djur som lagrats i miljontals år och täckts in av tjocka sedimentlager. På grund av ökat

tryck och temperatur har dessa sedan omvandlats till kol, olja och gas. Vid förbränning av fossila bränslen bildas koldioxid inklusive miljö- och hälsoskadliga ämnen. För att minska på dessa bränslen bör energieffektivare bilar tas i användning samtidigt som vi bör övergå till användning av förnybar energi, exempelvis biobränsle eller el från sol och vind. (Naturvårdsverket, u.d.b).

3.1.2 Transport

Transportsektorn är en bidragande faktor till ökningen av växthusgasutsläppen. Trafiken står för en femtedel av Finlands utsläpp, var av vägtrafiken står för 94%. (Statsrådet, 2020). Utsläppen från inrikes transport med undantag av inrikesflyg var 10,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2020. (Lounasheimo, Cederlöf, & Mäntylä, 2021).

Enligt regeringsprogrammet är målet att halvera utsläppen från transportsektorn till år 2030 jämfört med utsläppen 2005. Statsrådet har gjort upp en färdplan för att uppnå målet om fossilfria transporter. (Lounasheimo, Cederlöf, & Mäntylä, 2021). Målet kan uppnås om ekonomiskt understöd och en anledning till att främja nollutsläpp genomförs samt om färdplanens kapacitet för utsläppsminskningar gällande distansarbete och transporttjänster uppnås. (Miljöministeriet, 2021). Användning av lokala och närproducerade material ger en minskning av utsläppen och transportsträckorna blir kortare. (Berge, 2000).

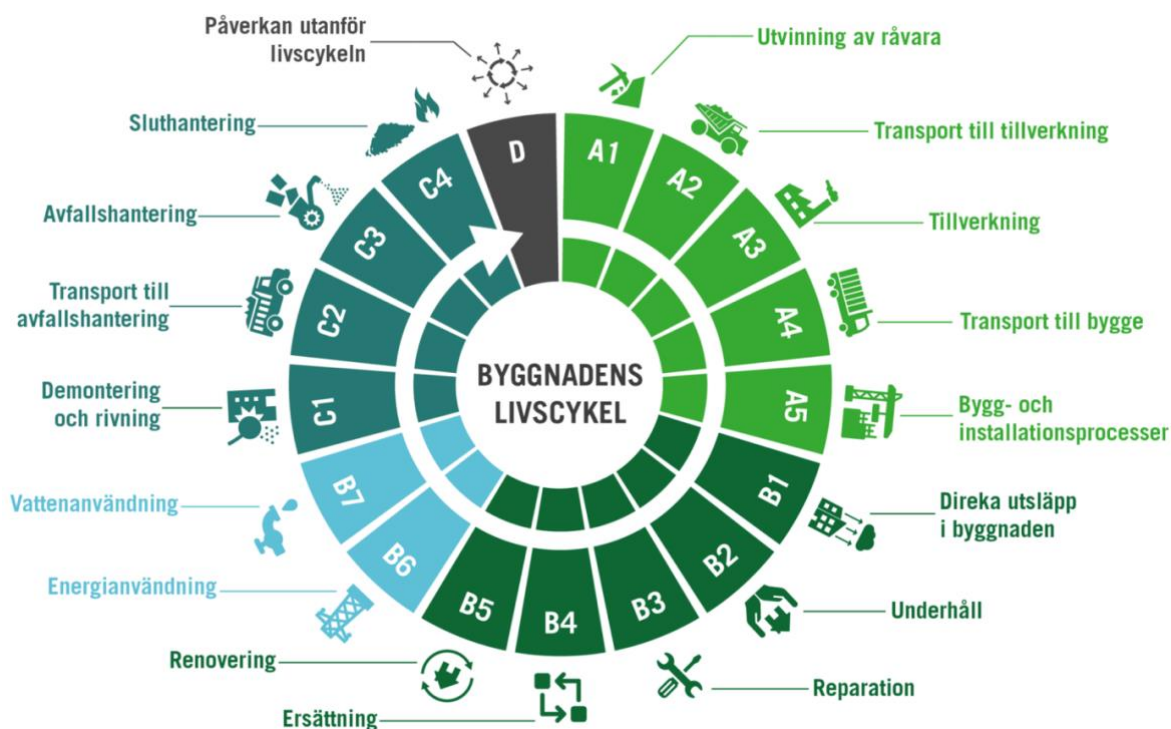
4 Byggnadens livscykel

En byggnads livscykel delas in i olika livscykelskeden (A, B, C), som i sin tur är indelade i informationsmoduler (A1, A2..., B1, B2..., o.s.v.). Dessa informationsmoduler beskriver var för sig de olika processerna under livscykeln. (SFS-EN 15643:2021).

Produktions skedet (A1-3) beskriver utvinning och bearbetning av material, transport, förädling av byggprodukter och andra resurser som används vid tillverkning. Byggproduktionsskedet (A4-5) omfattar transport av produkten samt färdigställandet av byggnaden. Informationsmodulerna B1-7 beskriver användningsskedet och omfattar därmed användning, underhåll, reparation samt drift under hela byggnadens livslängd. Slutskedet (C1-4) beskriver de processer som utförs när byggnaden uppnått sin fulla

livslängd och det är dags för sluthantering så som återanvändning av byggnadsdelar, återvinning eller deponering. (Boverket, 2019).

Enligt figur 2 finns det även en informationsmodul D som omfattar påverkan utanför byggnadens livscykel. Detta kan till exempel vara kol i form av levande organismer som lagrats i trä under tiden en byggnad är i bruk. (Seleborg, 2019).



Figur 2. Byggnadens livscykel indelad i informationsmoduler, som alla var för sig orsakar ett klimatavtryck. Livscykeln startar med utvinning av råvara (A1) och avslutas med sluthantering (C4). (Sweden Green Building Council, 2022).

4.1 Livscykelanalys

Livscykelanalys LCA används som en metod för att beräkna en produkts miljöpåverkan, från att materialet utvinns till att det inte mera kan användas och därmed tas hand om på olika sätt. Med hjälp av en livscykelanalys kan man ta reda på i vilket skede av livscykeln som byggnadens miljöpåverkan är störst.

Användning av livscykelanalyser redan i ett tidigt skede ger en större möjlighet att påverka och förbättra olika konstruktionslösningar och materialval. På så sätt kan byggnadstyper

som anses vara dåliga ur miljösynvinkel undvikas redan från början av projekteringen. (Boverket, 2019).

En LCA beskrivs som en "från-vagga-till-grind"-analys vilket ger en överblick över all miljöpåverkan som uppkommer under den valda tidsperioden för en byggnad. En LCA delas in i fyra olika steg som resulterar i en miljöpåverkansbedömning där resultatet utvärderas i förhållande till de upplagda målen. (Larsson, Erlandsson, Malmqvist, & Kellner, 2016).



Figur 3. De fyra stegen i en livscykelanalys (Larsson, Erlandsson, Malmqvist, & Kellner, 2016).

5 Mjukvaran One Click LCA

I detta examensarbete används One Click LCA Software som verktyg för utförande av livscykelanalys på två olika grundläggningsmetoder.

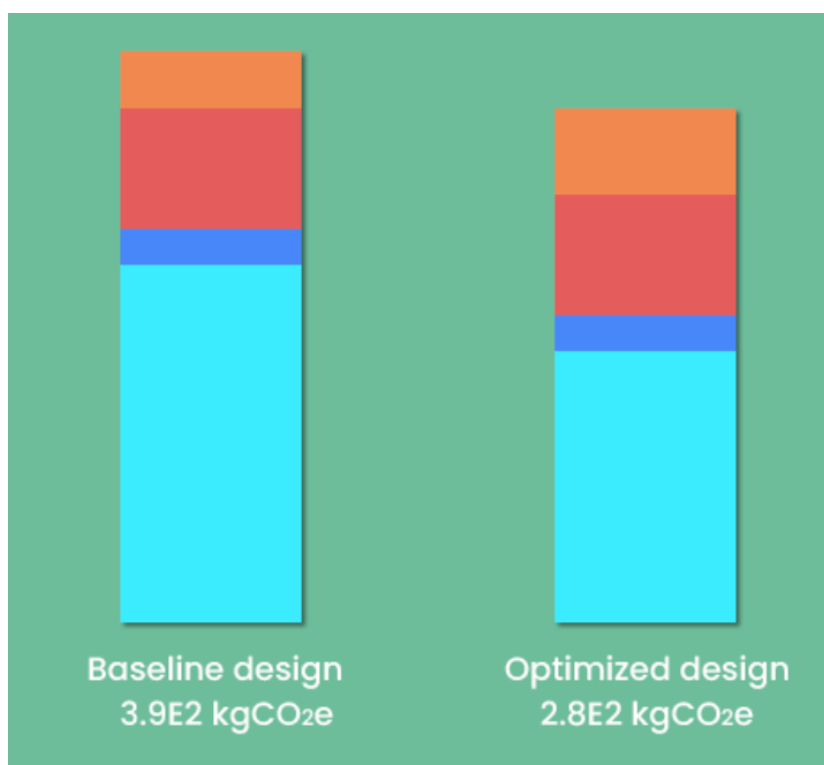
One Click LCA Software är utvecklat av företaget Bionova Ltd. One Click LCA är den världsledande LCA-mjukvaruplattformen för livscykelanalyser. Mjukvaran följer EN/ISO standarder och stöder över 40 olika certifieringssystem, bland annat brittiska BREEAM och internationella LEED som kontrollerar utsläppen. (One Click LCA, 2021 a).

I One Click LCA kan man skapa referensbyggnader och olika designalternativ utgående från byggnadstyp och storlek. I detta examensarbete har jag valt att använda egna konstruktioner och skapa olika scenarier för att jämföra deras koldioxidavtryck.

5.1 CO₂ – optimering i början av projekteringen

Utförandet av en LCA tidigt i projekteringen ger en möjlighet att minska miljöpåverkan som uppkommer av byggprodukterna. Det ger även en möjlighet att jämföra olika konstruktionslösningar, materialval, energisystem och energikällor. Tack vare detta kan man redan i ett tidigt skede av projekteringen förkasta de byggnadstyper som anses vara dåliga ur miljösynvinkel. (Boverket, 2019).

One Click LCA ger en överblick över ökningar och minskningar i procent utifrån de valda materialen. Detta underlättar CO₂-otimeringen eftersom det går att avläsa resultaten vilka material som har den största klimatpåverkan. (One Click LCA, 2021 b).



Figur 4. Vikten av att utföra en LCA tidigt i projekteringen (One Click LCA, 2021 c).

6 Jämförelse av konstruktionslösningar ur ett CO₂-perspektiv

I detta examensarbete jämförs i huvudsak två olika grundkonstruktioner i mjukvaran One Click LCA. Syftet är att ta reda på vilken av de två konstruktionstyperna det lönar sig att använda, sett ur ett miljöperspektiv. Syftet är även att ta reda på hur mycket de två konstruktionstyperna skiljer sig åt gällande påverkan på byggnadens totala koldioxidavtryck. Den ena konstruktionstypen är betongplatta inklusive sockel, och den

andra typen är en varmgrund med träbjälklag inklusive sockel. I detta arbete benämns de som platta på mark respektive varmgrund med träbjälklag. Det görs även upp ett tredje scenario som en CO₂-optimerad version av platta på mark. Detta för att jämföra koldioxidavtrycken om man minskar på betongplattans tjocklek.

Både betongplattans LCA och träbjälklagets LCA uppgörs med stöd från Roger Sundkvist (VD) för att få resultaten utgående från de material som används hos Bohouse. Byggnaden är en fiktiv modell på 80 m² där sockel, väggar och tak anses vara detsamma för samtliga konstruktionstyper. Detta för att få ett så rättvist resultat som möjligt med fokus på grundkonstruktionerna.

I denna jämförelse har material och dess mängd tagits i beaktande och en transportsträcka på 100 km används för alla material. Energi och bränsleåtgång som krävs för byggnaden under dess livscykel har dock inte beaktats i utförandet av livscykelanalyserna.

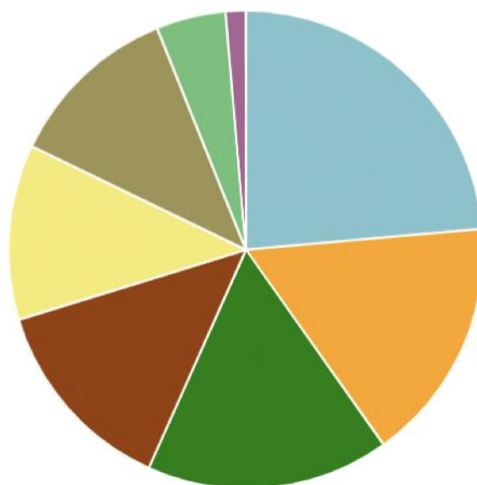
6.1 Koldioxidutsläpp för beträffande grundkonstruktioner

Materialen har beräknats utifrån informationsmodulerna A1-A3, det vill säga utvinning av råvara, transport till tillverkning och själva tillverkningen. Transport till byggarbetsplatsen har beräknats utifrån informationsmodul A4 och är en sträcka på 100 km för samtliga material i beräkningen.

Resultaten av de beräknade scenarierna färdigställs i figurer nedan (se figur 5,6 och 7). Färgerna i de olika figurerna nedan skiljer sig åt. Figur 5 hör till grundkonstruktionen med träbjälklag och har skilda färgkoder för de olika resurstyperna som använts, medan figur 6 och 7 tillhör grundkonstruktionstypen platta på mark och har likadana färgkoder.

Den första modellen som görs i One Click LCA är en varmgrund med träbjälklag. Se bilaga nummer 1. Det totala utsläppet för denna typ beräknas vara 13 ton CO₂e. Den resurs som har störst påverkan på den globala uppvärmningen är trämaterialiet som står för 2,95 ton CO₂e, vilket motsvarar 23,6 % av de totala utsläppen (se figur 5).

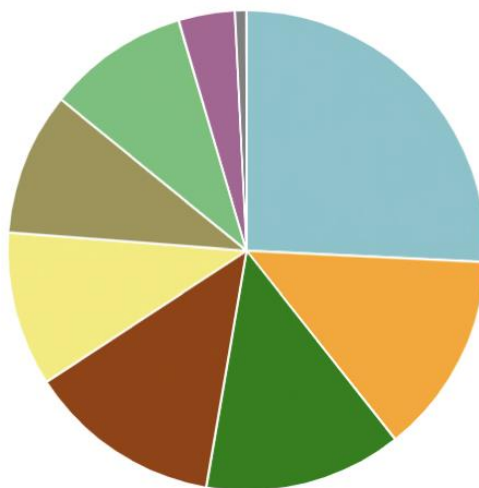
Global uppvärmning t CO₂e - Resurstyper



Figur 5. Livscykelöversikt över använda resurser för varmgrund med träbjälklag inklusive sockel.

Den andra modellen är platta på mark med en 90 mm tjock betongplatta samt sockel. Se bilaga nummer 2. Här är det betongen som har störst påverkan på den globala uppvärmningen. Betongens andel är 25,8%, vilket motsvarar ett utsläpp på 4,0 ton CO₂e, det vill säga 4000 kg CO₂e (se figur 6). Denna grundkonstruktion har ett större utsläpp än träbjälklaget och beräknas vara 16 ton CO₂e, vilken är 3 ton CO₂e mer än konstruktionstypen med träbjälklag.

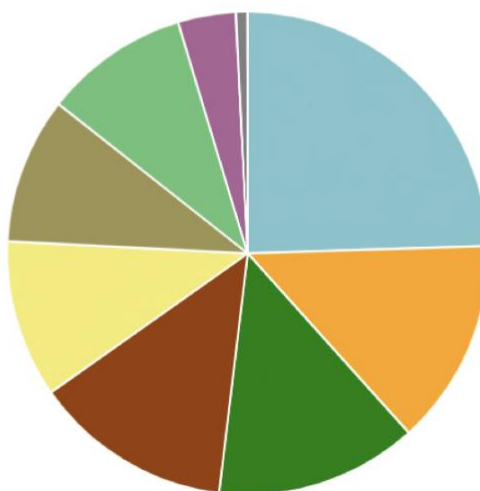
Global uppvärmning t CO₂e - Resurstyper



Figur 6. Livscykelöversikt över använda resurser för platta på mark.

Det görs även en koldioxidoptimerad modell av konstruktionstypen platta på mark för att ta reda på hur mycket utsläppen minskar i denna modell. Se bilaga nummer 3. I den CO₂-otimerade modellen minskas betongplattans tjocklek från 90 mm till 80 mm. Detta ger ett totalt utsläpp på 15 ton CO₂e, vilket är 1 ton CO₂e mindre än betongplattan som är 90 mm tjock. Betongens andel beräknas till 24,5 % av de totala utsläppen och står för 3,74 ton CO₂e (se figur 7).

Global uppvärmning t CO₂e - Resurstyper



Figur 7. Livscykelöversikt över använda resurser för CO₂-otimerad version av platta på mark.

7 Sunda byggmaterial

Enligt Markanvändnings- och bygglagen § 177 c (132/1999) bör man vid byggande av sunda hus använda sig av produkter som inte förorenar inomhusluften, hushållsvattnet eller miljön under produktens livslängd. Detta dels för att människans hälsa inte ska ta skada och för att miljön inte ska påverkas negativt. (Markanvändnings- och bygglag 132/1999, § 117 c).

Byggprodukter bör vara gjorda enligt den hållbara utvecklingens principer och produkterna blir godkända för användning när krav om konstruktionens hållbarhet och stabilitet är uppfyllda (Miljöministeriet, 2021 e). Idag krävs CE-märkning för de flesta byggprodukter trots att märkningen inte anger produktens kvalitet och om den kan användas i ett byggnadsverk eller ej (Miljöministeriet, 2021 f).

Energieffektiviteten hos byggnader har förbättrats genom bland annat skärpta energikrav och ökad användning av förnybar energi. Detta har lett till en minskad klimatpåverkan

under en byggnads livscykel. Det man idag jobbar på är att minska utsläppen under byggproduktionsskedet eftersom en stor andel av klimatpåverkan från en byggnad kan regleras genom val av byggprodukter med lägre koldioxidutsläpp under hela livscykeln. (Boverket, 2018).

7.1 Trä som byggnadsmaterial

Trä som byggmaterial är hållbart och lätt att arbeta med. Speciellt under torra förhållanden är trä ett av de mest hållbara materialen. Det är viktigt att komma ihåg att trä är ett organiskt material som är fuktkänsligt och därmed alltid bör täckas in under byggprocessen för att undvika fuktskador. (Kellner, 2017).

Trä har många olika egenskaper som inverkar på användbarheten. Dessa egenskaper är densitet, hårdhet, styvhet, beständighet, fuktupptagningsförmåga och värmeledningsförmåga. Trä har en hög hållfasthet i förhållande till vikten om man jämför med andra material. (TräGuiden, u.d.).

Trämateriäl anpassar sig till temperaturen och luftens fuktighet i omgivningen och försöker alltid att komma i jämvikt med den relativa fuktigheten, RF. Om träet är i jämvikt med omgivningens klimat kallas den fuktkvoten för jämviktsfuktkvot. Fukten i träaterialet uttrycks som fuktkvot och beräknas enligt följande:

$$\mu = \frac{(vikt\ före - vikt\ efter)}{vikt\ efter} \times 100$$

Om fuktkvoten är högre än jämviktsfuktkvoten torkar träaterialet och om den är lägre blir materialet fuktigt. (TräGuiden, 2021 a).

Vid rivning eller nedmontering av träprodukter kan de återanvändas, återvinnas eller energiåtervinnas. Gällande återvinning används produkterna oftast i annat syfte, som till exempel till möbler, ramar och papper. Vid energiåtervinning frigörs en stor mängd energi som oftast är mycket större än mängden energi som krävs för att producera huset. (TräGuiden, 2015).

Kol som binds i trä stannar länge kvar i konstruktioner. Genom att öka användningen av trä som byggnadsmaterial kommer vi närmare de energi- och klimatmål som bestäms i den

nationella energi- och klimatstrategin. Det är även ett effektivt sätt att minska Finlands ekologiska fotavtryck före år 2030. (Miljöministeriet, 2021 g).

7.2 Betong som byggnadsmaterial

Betong är ett hållbart och naturligt material som består av berg, grus, vatten och bindemedel. Cement tillverkas av kalksten och utgör grunden för betongens bindemedel. Betong kan gjutas på plats eller förtillverkas och levereras som färdiga element. Betongrecepten kan anpassas för specifika användningsändamål samt krav och idag jobbar man på att ersätta cementen med flygaska eller slagg för att minska på klimatpåverkan (Svensk Betong, u.d.c).

Cementtillverkningen är mycket energikrävande och är den process inom betongindustrin som har störst klimatpåverkan. Detta beror på att när kalksten, som är den viktigaste råvaran för cementtillverkning, värms upp till 1400°C frigörs stora mängder koldioxid. Uppvärmningen sker med hjälp av fossila bränslen och är en energikrävande process. Den globala cementproduktionen uppgår till 4 - 5 miljarder ton per år, varav Finland producerar cirka 1 miljon ton per år. (Nordman, 2020).

Beroende på hur betongens ingredienser blandas och hur stor andel som tillsätts av varje beståndsdel så förändras betongens egenskaper. Betong är ett tungt material med stor värmekapacitet, vilket möjliggör låg energiförbrukning och därmed låga koldioxidutsläpp under hela byggnadens livstid. Betong är ett mycket brandbeständigt material och har även god ljudisoleringsförmåga. Det är viktigt att betona att dessa egenskaper är kvarstående under byggnadens hela livslängd, utan att speciella åtgärder behöver göras. (Kellner, 2017).

Efter att betongen tjänat sitt syfte är det dags för återvinning. Betongen innehåller inga ämnen som är skadliga för miljön eller hälsan, och återvinns ofta i form av fyllnadsmaterial. (Svensk Betong, u.d.d). Armeringen separeras från betongen med hjälp av magneter och smälts sedan om till ny armering (Block, 2009).

7.3 CE-märkning

Genom att CE-märka en byggprodukt försäkrar man att produktens egenskaper stämmer överens med Europas produktstandard eller att produkten har ett europeiskt tekniskt

godkännande. CE-märkning har utarbetats av europeiska standardiseringsorganisationen CEN och i Finland fastställs standarderna som SFS-EN-standarder.

Det räcker med att en egenskap hos produkten testas för att den ska få CE-märkas. Det bör dock nämnas att CE-märkning inte är en kvalitetsmärkning och ger inga garantier på att produkten kan användas i en byggnad. Produkten bör därmed alltid bedömas separat med avseende på användningsområde, de lokala förhållandena samt kraven i byggbestämmelserna innan den får användas i ett byggnadsverk.

En fördel med CE-märkning är att man lätt kan jämföra byggprodukters egenskaper eftersom de anges på samma sätt i Europa. En CE-märkt byggprodukt kan således säljas inom hela Europa. (Miljöministeriet, 2021 f).

8 Materialval

Största delen av utsläppen från byggmaterial uppkommer under tillverkningsprocessen. För att kunna bedöma ett material krävs kunskap om materialens innehåll, deras miljöbelastning samt resursförbrukning vid tillverkning och drift. För att välja det bästa materialet ur miljösynvinkel räcker det inte med att känna till en material-grupps påverkan utan man bör även veta den specifika produktens påverkan. Detta på grund av att innehåll och tillverkningsprocesser kan skilja likartade materialen från varandra. (Block, 2009).

Idag finns en tjänst som erbjuder data om hur byggprodukter som används i Finland påverkar klimatet. Klimatdatabasen (2022) beräknar växthusgasutsläpp under en byggnads hela livscykel. Tjänsten innehåller bland annat byggprodukters positiva och negativa miljöpåverkan, alternativ för återvinning och återanvändning samt mängden avfall på byggarbetsplatsen. Klimatdatabasen underlättar planeringen av koldioxidsnåla byggnader eftersom den ger utsläppsdata om de vanligaste processerna och tjänsterna inom byggbranschens olika skeden. (Statsrådet, 2021).

Material kan indelas i fyra olika kategorier: organiskt material, mineraliskt material, syntetiskt material och metaller. (Block, 2009) De fyra olika delarna beskrivs närmare nedan.

8.1 Organiskt material

Organiskt material bildas med hjälp av fotosyntesen och solljuset. Dessa material är främst träprodukter och naturfibrer, både från växt- och djurriket. Organiskt material föredras ur miljösynvinkel så länge användningen inte överskrider tillväxten.

Trä är det bästa byggmaterialet sett ur en miljösynvinkel. Trämateriale bör inte utsättas för fukt och jord eftersom det kan orsaka fuktskador på huset. Trämaterialets kvalitet beror på hurudana förhållanden materialet växer i, hur och när träden fälls samt hur torkning och hantering av materialet går till. (Block, 2009).

8.2 Mineraliskt material

Sten, betong, kalk och glas är mineraliska material och räknas till de icke förnybara materialen. Betong består av cement, vatten, ballastmaterial samt olika former av tillsatsmedel. Tillsatsmedel används för att påskynda respektive fördröja härdning. Det finns även stabiliseringsmedel, flytmedel, luftporbildande medel, vattenreducerande- och lösningsmedel. Tillsatsmedlen kan vara miljöfarliga och bör därför undersökas före användning. (Block, 2009).

Gällande stenmaterial är makadam det som används mest inom byggbranschen. Som fyllningsmaterial kan även tegel, betong-, och annat krossmaterial användas medan naturgrus bör användas sparsamt eftersom det är en bristvara. Sten är över lag ett bra material ur miljösynvinkel förutsatt att det är närproducerat. (Block, 2009).

Det som har störst miljöpåverkan gällande mineraliska material är främst energiförbrukningen vid tillverkning men även transporten har en stor påverkan (Block, 2009).

8.3 Syntetiskt material

Syntetiska material är framställda på konstgjord väg med hjälp av fossil olja eller naturgas. Cirka 4% av världens råolja- och naturgasproduktion går åt till framställning av plaster (Block, 2009). Liksom många andra byggmaterial bör man vid tillverkning av plast minimera miljö- och klimatpåverkan, samt minska på utsläppen av farliga ämnen till naturen (Naturvårdsverket, u.d.c.).

De plaster som föredras ur miljösynvinkel innehåller kol-väteföreningar. Dessa är exempelvis polyeten, polypropen och polyolefin (Block, 2009). Plaster framställs genom att små molekyler, så kallade monomerer, sammankopplas och bildar långa kedjor. Dessa kedjor kallas polymerer. Vid tillverkning av plaster används en hel del olika tillsatsmedel för att ge plasten dess önskade egenskaper. En del av tillsatsämnena kan vara skadliga för miljön och människans hälsa om de tar sig upp på plastens yta och hamnar i luften eller i våra vattendrag. (Kemikalieinspektionen, 2021).

Plast lämpar sig som byggmaterial eftersom det kan tillverkas med många goda egenskaper och finns därmed idag i ett flertal olika byggnadsmaterial. Plast finns i bland annat golv, väggar, tak, isolering och kablar som används inom byggsektorn. (Naturvårdsverket, u.d.c.).

Om plaster tillverkas av förnybara råvaror och innehåller tillsatser utan negativ miljöpåverkan, kan de vara material som kommer används flitigt i framtiden. Det finns plaster som är tillverkade av majs- och potatisstärkelse, cellulosa, träkol eller vegetabiliska oljor och dessa kan till och med fungera bättre än plaster tillverkade från råolja. (Block, 2009).

8.4 Metaller

De metaller som är bäst ur miljösynvinkel är stål, järn, återanvänt aluminium och rostfritt stål. Stål är den metall som kräver minst energi vid tillverkning och består till största delen av järn samt små mängder kol, mangan, fosfor och svavel. Det bör dock nämnas att stål rostar och därför bör skyddas med ett ytskikt. Vid användning av stål som bärande material bör det kläs in med flera lager gips eller målfärg som skyddar mot brand. Dessa brandskyddsfärger är inte att föredra ut miljösynvinkel. (Block, 2009).

För att minska på miljöproblem som uppkommer av metaller bör man minimera metallanvändningen eller eventuellt ersätta metallen med andra konstruktionsmaterial, så som limträ eller oorganiska icke-metalliska material. Metallframställningen belastar miljön och legeringar samt ytbehandlingar ger långsiktiga miljökonsekvenser. Genom att återanvända metaller hjälper det miljön eftersom den redan är så belastad av alla metallhalter i marken. (Block, 2009).

9 Grundläggning

Grundläggning över lag har förbättrats under de senaste åren eftersom man idag är mer medveten om fuktproblem och därför har börjat isolera husen bättre. Den grundläggningsmetod som föredras ur energisynpunkt är platta på mark eftersom golvbjälklaget inte exponeras för uteluften. (Block, 2009).

Grundens uppgift är att fungera som en stadig bas för huset att stå på. Den bör vara jämn, stabil och välisolerad för att förhindra skador på huset. Grunden bör vara torr för att förhindra problem gällande fukt och mögel. En välisolerad grundkonstruktion förhindrar värmeförluster från byggnaden till marken. En annan uppgift som grunden har är att lyfta huset över marken. Detta ger ett mer behagligt utseende än ett hus som ser ut att stå på marken med en väldigt låg sockel. (Sharif, 2013).

9.1 Platta på mark

Platta på mark består av en armerad betongplatta och eventuellt förstyvade balkar som kan användas på alla typer av mark (TräGuiden, 2020 a). Plattan och balkarna vilar direkt på grunden och kräver därför en välgjord dränering med kapillärbrytande material. Plattan isoleras på undersidan och längs kanterna för att åstadkomma en varm och torr betongyta som hindrar betongplattan att bli lika kall som grunden. Marken runt plattan isoleras så att frost inte tar sig in under plattan och orsakar skador. (Boverket, 2021 a).

Markens relativa fuktighet kan vara hög och kan medföra fuktskador på denna typ av grundkonstruktion. Ett bra exempel på detta är en tät limmad golvmatta på betongen och för lite isolering under plattan. Detta leder till att limmet löser upp sig och mögelskador uppstår. Ett annat problem som förekommer är mikrobiell påväxt på betongplattan. Detta kan uppstå ifall plattan inte är tillräckligt rengjord före ångspärren läggs på plats. (Boverket, 2021 b).

För att få en fuktsäker grund bör betongplattan torka ordentligt innan golvmaterialet monteras (Boverket, 2021 b). Torktiden varierar beroende på plattans tjocklek, betongkvalitet samt vattencementtal, det vill säga hur mycket vatten som används vid gjutningen. Olika typer av tillsatsmedel kan användas för att minska på torktiden, om så önskas. (Sharif, 2013).

9.2 Krypgrund

En krypgrund är uppbyggd av bärande linjer i byggnadens längdriktning. Grundbalkar av trä placeras på plintar och krypgrunden är ventilerad via öppningar. Krypgrunden har ett bottenbjälklag av trä som bildar ett luftrum mellan bjälklaget och marken. Ett väl ventilerat utrymme minskar risken för att bottenbjälklaget skall bli fuktigt. Det finns två typer av krypgrunder, inneluftsventilerad och uteluftsventilerad krypgrund. (TräGuiden, 2021 b).

Inneluftsventilerade krypgrunder ventileras med inneluft, det vill säga med byggnadens ventilationssystem. För att denna typ av grund skall vara fuktsäker får det inte finnas otätheter mellan sockel och syll (TräGuiden, 2020 b). Denna typ av krypgrund kallas även för varmgrund och är en säkrare typ än uteluftsventilerad krypgrund. Uteluftsventilerad krypgrund ventileras med uteluften. Uteluften är speciellt fuktig under sommar och höst så när den tränger in i krypgrunden, som då har lägre temperatur än uteluften, uppstår kondens på kalla ytor i grunden. Detta kan orsaka fukt och mögelskador om den relativa fuktigheten överskrider 75 %. (Sharif, 2013).

Det är vanligt med fuktproblem i krypgrunder eftersom de har en tendens att ventileras dåligt. En annan orsak till fuktproblem som uppstår i krypgrunder är bristande isolering i golvbjälklaget, vilket leder till att temperaturen i krypgrunden sjunker och därmed kan fuktproblem uppstå. När man idag använder sig av krypgrund som grundläggningsmetod isoleras marken under och en ångspärr läggs ut för att markfukt inte ska komma upp i grunden. (Block, 2009).

10 Beräkningar och jämförelser

Livscykelanalyser har utförts i One Click LCA för att i huvudsak jämföra två olika grundkonstruktioner. Resultaten utifrån beräkningarna anses vara relevanta och riktgivande med tanke på att de ger en klarare bild av vilken grundtyp som är bättre ur ett miljöperspektiv.

Vid jämförelse av de två scenarierna fås global uppvärmning i ton CO₂e, kg CO₂e, massa råvaror i ton samt massa råvaror i kg/m². Resultaten ges som en minskning eller ökning av dessa i procent, för de olika materialen. Av resultaten att tolka ser man en tydlig skillnad mellan varmgrund med träbjälklag och platta på mark. Grundkonstruktionen med

träbjälklag har ett lägre koldioxidavtryck än konstruktionen med platta på mark. Den största bidragande faktorn till detta är mängden betong som används till plattan. Detta beror på att cementtillverkningen vid betongframställningen är mycket energikrävande (Nordman, 2020).

För att utforska detta lite mer gjordes även ett tredje scenario med platta på mark. Det första scenariot med platta på mark bestod av en betongplatta med tjockleken 90 mm, vilket är det alternativ som Bohouse vanligtvis använder sig av. Genom att reducera betongplattans tjocklek till 80 mm gav det en minskning på 0,26 ton CO₂e, vilket motsvarar 260 kg CO₂e. För framtida grundkonstruktioner kan det konstateras att detta alternativ är bättre ur ett miljöperspektiv.

De informationsmoduler som har beaktats i beräkningen är de som orsakar den största påverkan på klimatet. Det finns en viss osäkerhet i resultatet och det beror på att alla byggnadsdelar inte har beaktats i beräkningen. Byggnadsdelar som utelämnats från beräkningen är fast inredning, dagvatten- och dräneringssystem, värmesystem samt energi och bränsleförbrukning under byggnadens hela livscykel.

11 Slutsatser

Utifrån denna jämförelse kan det konstateras att det är möjligt att minska på koldioxidutsläppen av en byggnad och därmed övergå till en mer cirkulär ekonomi. Detta kan åstadkommas genom att använda mer återvunnet material samt material med låga utsläpp vid tillverkningsprocessen.

Byggnad i trä är hållbart och bra för miljön eftersom trämaterialiet ingår i det ekologiska kretsloppet och är lätt att återvinna och återanvända. Trä binder och lagrar kol och genom användning av trä som byggnadsmaterial minskar det ekologiska fotavtrycket samtidigt som chanserna att uppnå Finlands klimatmål ökar. Att bygga en grundkonstruktion i trä ger ett mindre CO₂-utsläpp än att bygga i betong. Trä är dock inte alltid det bästa byggnadsmaterialet eftersom det är ett brännbart material som medför en stor risk för brandspridning och därmed stora skador på byggnaden vid en brand. Trämaterialiet kan även vara behandlat med kemikalier så som brandskyddsmedel, och har då negativa effekter på miljön och ekologin.

Betong däremot är ett brandhårdigt byggnadsmaterial som kräver väldigt lite underhåll under dess användningstid. Betongens högre CO₂e-utsläpp beror på dess energikrävande tillverkningsprocess vid framställning av cement. Som tidigare nämnts går det att minska på CO₂-avtrycket genom att ersätta en del av råmaterialet med återvunnet material eller eventuellt minska på betongplattans tjocklek om det är möjligt. Genom att återanvända betongavfall som fyllnadsmaterial påverkas ekosystemet mindre samtidigt som det förlänger betongens tekniska livslängd.

Efter att ha studerat byggnadens livscykel samt materialens påverkan kan det konstateras att utförandet av en LCA tidigt i projekteringen är till stor nytta. Det ger en möjlighet att påverka byggnadens koldioxidavtryck under hela dess livscykel och samtidigt minska på klimatpåverkan. Detta kräver ändå kunskap och kommunikation mellan samtliga aktörer, men jag anser att vi idag inom byggnadsbranschen går mot ett klimatneutralt samhälle.

Då man tar hänsyn till helheten av vad en byggnads livscykel innebär kommer man fram till att denna utredning endast är en liten del inom ämnet koldioxidsnålt byggande. Det finns ännu utredningar som skulle vara intressanta att utföra samt nödvändiga för att uppnå målet om klimatneutrala byggnader. Dessa kunde bland annat vara utredning av val av energisystem, CO₂-optimala fasad- och takmaterial, CO₂-optimerade ytterväggskonstruktioner, utredning av tomt samt kostnadskalkyleringar.

12 Källförteckning

- Arup. (September 2016). *The Circular Economy in the Built Environment*. Hämtat från Arup:
<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>
- Berge, B. (2000). *Ecology of Building Materials*. Oxford : Architectural Press 2000.
- Block, M. (2009). *BYGGEKOLOGI*. Stockholm: Varis Bokalders.
- Boverket. (2018). *Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan*. Hämtat från
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/publikationer/dokument/2018/hallbart-byggande-med-minskad-klimatpaverkan.pdf>
- Boverket. (den 20 februari 2019). *Introduktion till livscykelanalys*. Hämtat från
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (2021 a). *Risker med fukttransport från mark till betongplatta och källare*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/risk-fukttransport-mark/>
- Boverket. (2021 b). *Fuktrisker med betongplatta på mark*. Hämtat från
<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/>
- ecotree. (2021). *Vad är en kolsänka? Vilka finns det?* . Hämtat från
<https://ecotree.green/sv/blog/vad-ar-en-kolsaenka-vilka-finns-det>
- Finlands miljöcentral. (den 5 Maj 2022). *Klimatförändring*. Hämtat från SYKE:
[https://www.syke.fi/sv-FI/Forskning_utveckling/Klimatforandring/Kommunernas_klimatutslapp_minskade_med_8\(62986\)](https://www.syke.fi/sv-FI/Forskning_utveckling/Klimatforandring/Kommunernas_klimatutslapp_minskade_med_8(62986))
- Håkansson, F., & Ljung, M. (2020). *Cirkulär ekonomi inom byggsektorn*. Hämtat från Malmö Universitet: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1483313/FULLTEXT01.pdf>
- Kellner, J. (2017). *Klimat Energi Hållbarhet*. Balkong förlag.
- Kemikalieinspektionen. (2021). *Det här är plast*. Hämtat från
<https://www.kemi.se/kemikalier-i vardagen/kemikalier-i-material/plast/det-har-ar-plast>
- Kuittinen, M. (2017). *Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit*. Hämtat från Ympäristöopas 2017:
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80654/YO_2017_Vahahiilisen_rakentamisen_hankintakriteerit.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T., & Kellner, J. (Juni 2016). *Byggnadens klimatpåverkan*. Hämtat från Svenska miljöinstitutet:

<https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3f8c2/1591705068406/B2260.pdf>

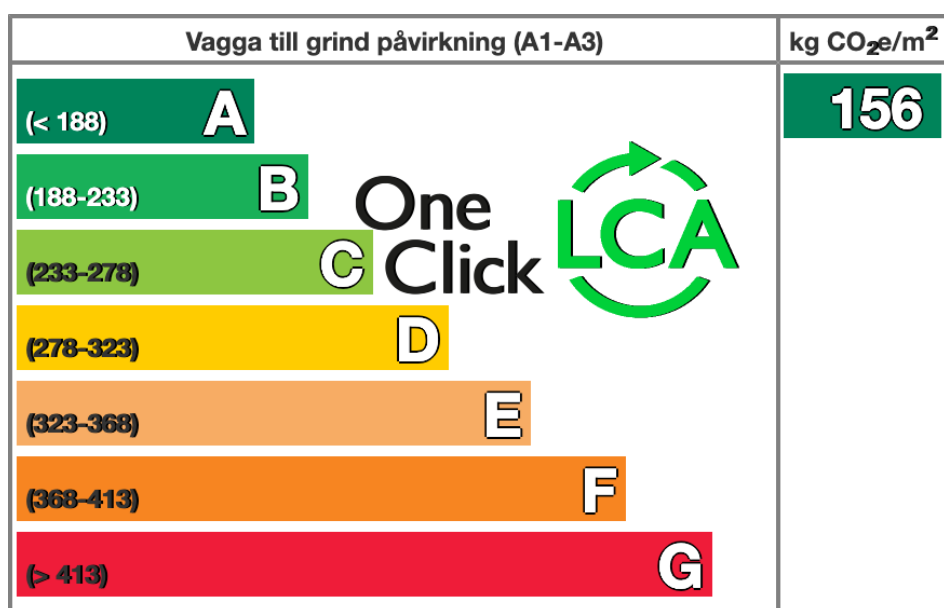
- Ljung, H. &. (2020). *Cirkulär ekonomi inom byggsektorn*. Hämtat från Malmö Universitet: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1483313/FULLTEXT01.pdf>
- Lounasheimo, J., Cederlöf, M., & Mäntylä, I. (2021). *Klimatårsberättelse*. Hämtat från Miljöministeriet: https://www.eduskunta.fi/SV/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/B_18+2021.pdf
- Lydén, P. (2010). *Klimatordlista*. Hämtat från <https://www.klimatordlista.se/vaxthusgaser/>
- Markanvändnings- och byggförordningen 895/1999, § 55. (1999). 895/1999. Hämtat från Finlex: <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/1999/19990895>
- Markanvändnings- och bygglag 132/1999, § 117 c. (1999). 132/1999. Hämtat från Finlex: <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/1999/19990132?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=h%C3%A5llbart%20byggande#L17P117c>
- Matthew, B. (August 2021). *Greenhouse Gases, What Do All These Terms Mean?* Hämtat från ecometrica: <https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf>
- Miljöministeriet. (2021 a). *Klimatneutralt Finland 2035*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/klimatneutralt-finland-2035>
- Miljöministeriet. (2021 b). *Färdplanen för koldioxidsnålt byggande*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/fardplanen-for-koldioxidsnalt-byggande>
- Miljöministeriet. (2021 c). *Koldioxidsnålt byggande*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/koldioxidsnalt-byggande>
- Miljöministeriet. (2021 d). *Programmet för främjandet av cirkulär ekonomi*. Hämtat från Miljöministeriet: <https://ym.fi/sv/programmet-for-framjande-av-cirkular-ekonomi>
- Miljöministeriet. (2021 e). *Byggprodukter*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/byggprodukter>
- Miljöministeriet. (2021 f). *CE-märkning*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/ce-markning>
- Miljöministeriet. (2021 g). *Träbyggande*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/trabyggande>
- Miljöministeriet. (den 7 December 2021). *Genomförandet av färdplanen för fossilfria transporter framskrider*. Hämtat från <https://ym.fi/sv/-/genomforandet-av-fardplanen-for-fossilfria-transporter-framskrider>
- Naturskyddsföreningen. (2021). *Vad menas med cirkulär ekonomi?* Hämtat från <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-menas-med-cirkular-ekonomi/>

- Naturvårdsverket. (u.d.a). *Andra växthusgaser*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/darfor-blir-det-varmare/andra-vaxthusgaser/>
- Naturvårdsverket. (u.d.b). *Fossila bränslen*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/omraden/klimatet-och-energin/fossila-branslen/>
- Naturvårdsverket. (u.d.c.). *Plast i byggsektorn*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/hallbar-plastanvandning/plast-i-byggsektorn/>
- Nordman, B. (den 22 Maj 2020). *Miljöbelastning av stadig grund: cement och betong*. Hämtat från Natur och Miljö: <https://www.naturochmiljo.fi/lar-dig-mer/perspektiv/cement-och-betong/>
- One Click LCA. (2021 a). *Vi är One Click LCA*. Hämtat från <https://www.oneclicklca.com/se/about-one-click-lca/>
- One Click LCA. (2021 b). *Carbon Designer 3D*. Hämtat från <https://www.oneclicklca.com/se/carbon-designer-3d/>
- One Click LCA. (2021 c). *Product carbon tool*. Hämtat från <https://www.oneclicklca.com/product-carbon-tool/>
- OptiWatti. (2019). *Koldioxidavtryck - vad bör man veta om det?* Hämtat från <https://www.optiwatti.se/koldioxidavtryck-vad-bor-man-veta-om-det/>
- Paloneva, M., & Takamäki, S. (Februari 2021). *Summary of sectoral low-carbon road maps*. Hämtat från Ministry of Economic Affairs and Employment: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162851/TEM_2021_9.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Seleborg, M. (September 2019). *Analys av klimatpåverkan av byggnader i svenska LCA-studier*. Hämtat från http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Mikaela_Seleborg.pdf
- SFS-EN 15643:2021. (2021). *Sustainability of construction works. Framework for assessment of buildings and civil engineering works*. Hämtat från <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1011195.html.stx>
- SFS-EN 15643:2021. (2021). *Sustainability of construction works. Framework for assessment of buildings and civil engineering work*. Hämtat från <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1011195.html.stx>
- Sharif, H. (2013). *Grundläggningsmetoder*. Hämtat från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:651755/FULLTEXT01>
- Statistikcentralen. (2022). *Miljö och natur*. Hämtat från Statistikcentralen: https://stat.fi/tup/suoluk/suoluk_alue_sv.html#V%C3%A4xthusgasutsl%C3%A4pp%20och%20upptag
- Statsrådet. (2020). *Utsläppen från trafiken ska halveras fram till 2030 - ett utbrett val av metoder behövs*. Hämtat från <https://valtioneuvosto.fi/sv/-/utslaappen-fran-trafiken-ska-halveras-fram-till-2030-ett-brett-urval-av-metoder-behovs>

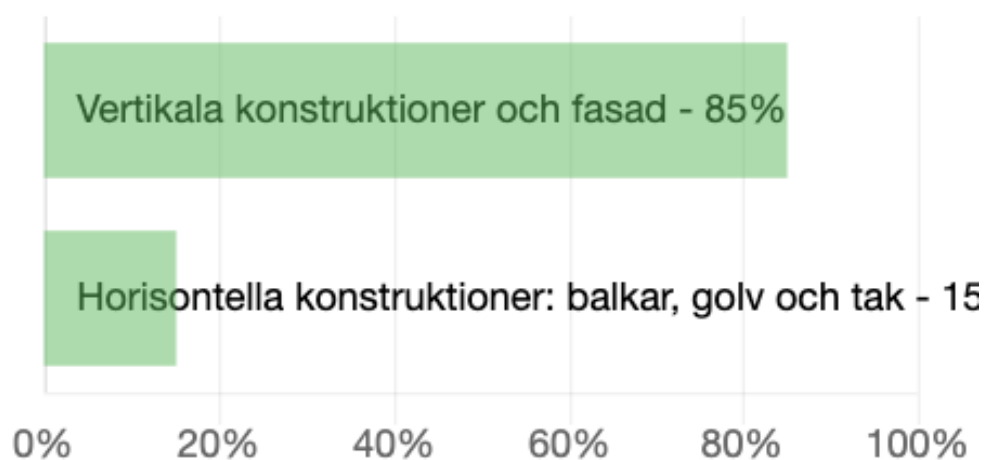
- Statsrådet. (den 1 Mars 2021). *Utsläpp från byggande kan nu jämföras – den nya klimatdatabasen ger en grund för normstyrningen av koldioxidsnålt byggande*. Hämtat från <https://valtioneuvosto.fi/sv/-/1410903/utslapp-fran-byggande-kan-nu-jamforas-den-nya-utslappsdatabasen-ger-en-grund-for-normstyrningen-av-koldioxidsnalt-byggande>
- Statsrådet. (u.d.). *Ministerarbetsgrupper för klimat- och energipolitik*. Hämtat från <https://valtioneuvosto.fi/sv/marin/ministerarbetsgrupper>
- Svensk Betong. (u.d.a). *Koldioxidutsläpp*. Hämtat från <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp>
- Svensk Betong. (u.d.b). *Klimatförbättrad betong*. Hämtat från https://cms.betongarhallbart.se/wp-content/uploads/2019/05/klimatforbattrad-betong_webb.pdf
- Svensk Betong. (u.d.c). *Betong för hållbart samhällsbyggande*. Hämtat från <https://www.svenskbetong.se/om-betong>
- Svensk Betong. (u.d.d). *Återvinning*. Hämtat från <https://www.svenskbetong.se/hallbarhet/a-tervinning>
- Sweden Green Building Council. (2022). *Vad är noll CO2?* Hämtat från <https://www.sgbc.se/certifiering/nollco2/vad-ar-nollco2/>
- SYKE. (2022). *Klimatdatabas*. Hämtat från <https://www.co2data.fi/>
- TräGuiden. (2015). *Återvinning av träprodukter*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/om-tra/miljo/miljoeffekter/miljoeffekter/atervinning-av-traprodukter/>
- TräGuiden. (2020 a). *Platta på mark*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/grundlaggning/grundlaggning/platta-pa-mark/>
- TräGuiden. (2020 b). *Inneluftsventilerad kryppgrund*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/grundlaggning/grundlaggning/inneluftsventilerad-krypgrund/>
- TräGuiden. (2021 a). *Trä och fukt*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/fuktegenskaper1/tra-och-fukt/?previousState=010000>
- TräGuiden. (2021 b). *Bottenbjälklag*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/bjalklag/bottenbjalklag/>
- TräGuiden. (u.d.). *Träets egenskaper och kvalitet*. Hämtat från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/>

United States Environmental Protection Agency. (u.d.). *Understanding Global Warming Potentials*. Hämtat från Greenhouse Gas Emissions: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

Bilaga 1

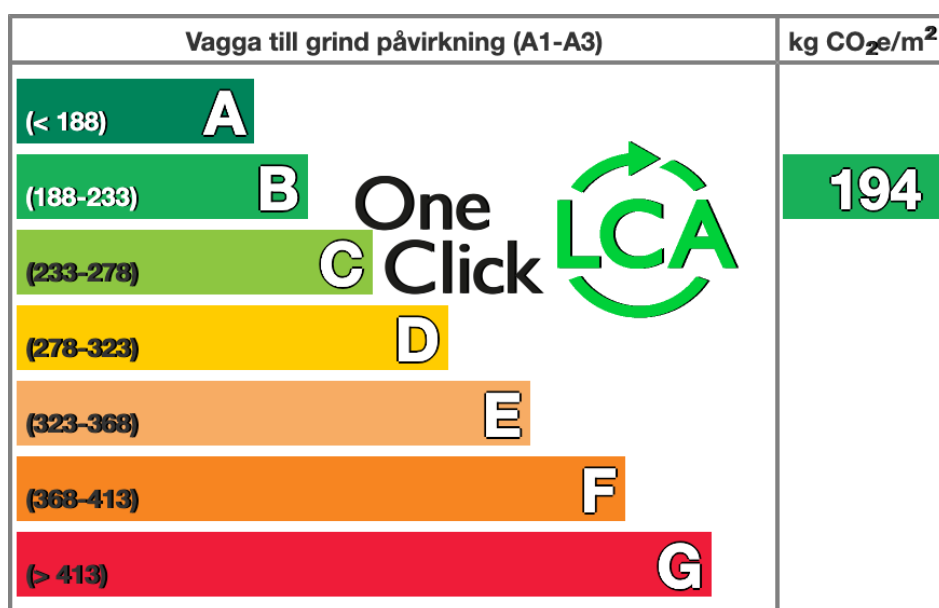


4 Transport- 2 % 10 Gypsum (A1-A3)- 4 %
 5 Konstruktion- 18 % 11 Other materials...- 18 %
 Ready mix concr...- 11 %
 Steel (A1-A3)- 11 %
 Insulation (A1-...- 15 %
 Wood (A1-A3)- 20 %



Avsnitt	Resultatkategori	Global uppvärmning t CO ₂ e	Global uppvärmning kg CO ₂ e/m ²	Massa råvaror t	Massa råvaror kg/m ²
1	Ready mix concrete (A1-A3)	1	18	16	201
2	Precast concrete (A1-A3)				
3	Cement (A1-A3)				
4	Steel (A1-A3)	1	17	1	8
5	Aluminium (A1-A3)				
6	Bricks (A1-A3)				
7	Glass (A1-A3)				
8	Insulation (A1-A3)	2	24	7	86
9	Wood (A1-A3)	2	31	7	82
10	Gypsum (A1-A3)	1	6	2	24
11	Other materials (A1-A3)	2	28	1	11
A1-A3	Materialproduktion	10	124	33	412
A4	Transport till plats	0	3		
A5	Konstruktion/installationsprocess	2	29	3	33
A5a	Platsverksamhet & platsavfallshantering	1	19	0	0
A5b	Plats avfallstransporter				
A5c	Construction site - material wastage - materials	1	10	3	33
A5d	Construction site - material wastage - transport	0	0		

Bilaga 2



4 Transport- 9 %

10 Gypsum (A1-A3)- 3 %

5 Konstruktion- 14 %

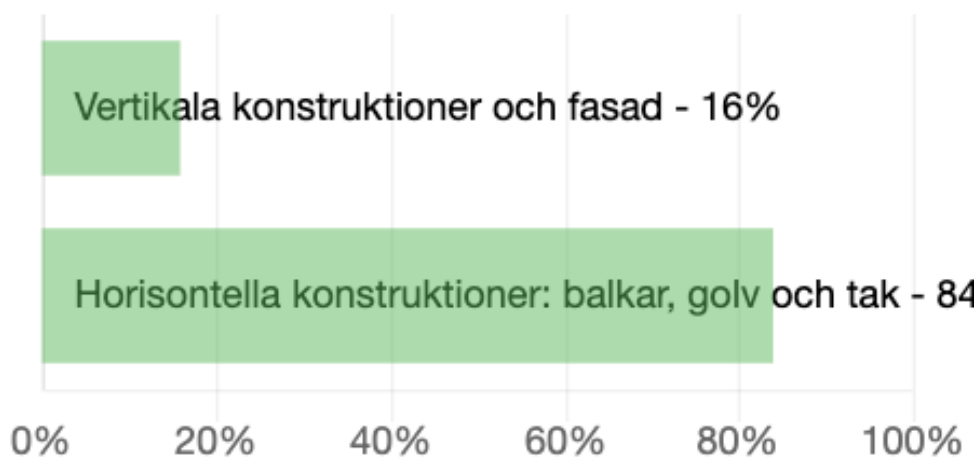
11 Other materials...- 18 %

Ready mix concr...- 22 %

Steel (A1-A3)- 13 %

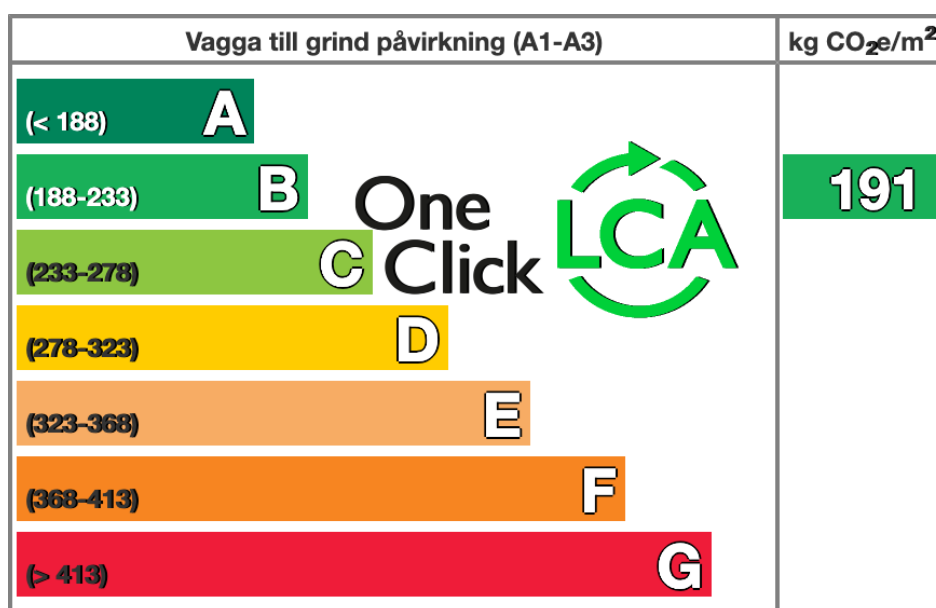
Insulation (A1-...- 12 %

Wood (A1-A3)- 9 %



Avsnitt	Resultatkategori	Global uppvärmning t CO ₂ e	Global uppvärmning kg CO ₂ e/m ²	Massa råvaror t	Massa råvaror kg/m ²
1	Ready mix concrete (A1-A3)	3	43	33	417
2	Precast concrete (A1-A3)				
3	Cement (A1-A3)				
4	Steel (A1-A3)	2	25	1	11
5	Aluminium (A1-A3)				
6	Bricks (A1-A3)				
7	Glass (A1-A3)				
8	Insulation (A1-A3)	2	24	7	85
9	Wood (A1-A3)	1	17	4	47
10	Gypsum (A1-A3)	1	6	2	24
11	Other materials (A1-A3)	3	34	129	1 611
A1-A3	Materialproduktion	12	149	176	2 196
A4	Transport till plats	1	18		
A5	Konstruktion/installationsprocess	2	28	3	36
A5a	Platsverksamhet & platsavfallshantering	1	19	0	0
A5b	Plats avfallstransporter				
A5c	Construction site - material wastage - materials	1	9	3	36
A5d	Construction site - material wastage - transport	0	0		

Bilaga 3



4 Transport- 9 %

10 Gypsum (A1-A3)- 3 %

5 Konstruktion- 14 %

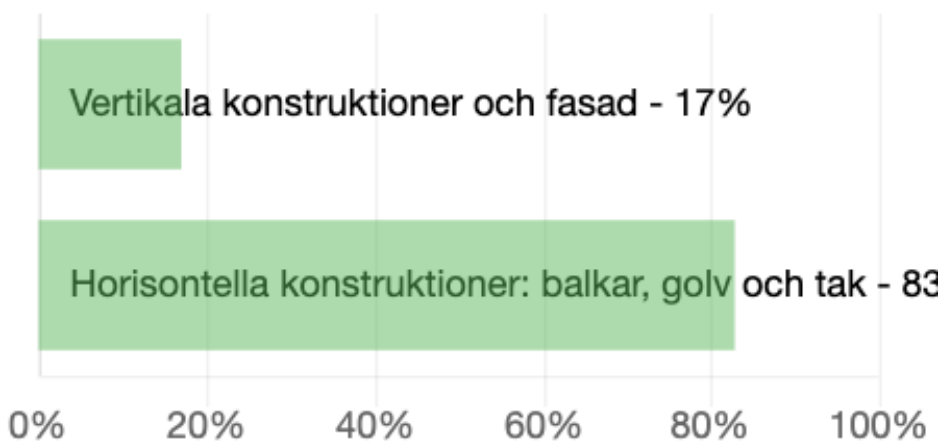
11 Other materials...- 18 %

Ready mix concr...- 21 %

Steel (A1-A3)- 13 %

Insulation (A1-...- 12 %

Wood (A1-A3)- 9 %



Avsnitt	Resultatkategori	Global uppvärmning t CO ₂ e	Global uppvärmning kg CO ₂ e/m ²	Massa råvaror t	Massa råvaror kg/m ²
1	Ready mix concrete (A1-A3)	3	40	31	393
2	Precast concrete (A1-A3)				
3	Cement (A1-A3)				
4	Steel (A1-A3)	2	25	1	11
5	Aluminium (A1-A3)				
6	Bricks (A1-A3)				
7	Glass (A1-A3)				
8	Insulation (A1-A3)	2	24	7	85
9	Wood (A1-A3)	1	17	4	47
10	Gypsum (A1-A3)	1	6	2	24
11	Other materials (A1-A3)	3	34	129	1 611
A1-A3	Materialproduktion	12	146	174	2 172
A4	Transport till plats	1	17		
A5	Konstruktion/installationsprocess	2	28	3	35
A5a	Platsverksamhet & platsavfallshantering	1	19	0	0
A5b	Plats avfallstransporter				
A5c	Construction site - material wastage - materials	1	9	3	35
A5d	Construction site - material wastage - transport	0	0		