



UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2023/020-SE

Examensarbete 15 hp

Juni 2023

Betonggrund kontra Koljern- grund

- en analys av kostnader och miljöpåverkan på en förskola i två våningar
-

Tove Johansson och Matilda Nylén



Abstract

Concrete is widely used in modern construction, particularly for building foundations. However, the materials included in concrete constructions have a significant negative impact on the environment. To mitigate this, the construction industry must explore more environmentally friendly alternatives. This study focuses on a relatively new technique called the Koljern foundation, which replaces traditional reinforced concrete slabs with a combination of cellular glass and lightweight steel beams. The cellular glass used in this technique is made up of approximately 60% recycled glass and possesses excellent insulation and strength properties.

The report compares the cost and environmental impact of the traditional concrete slab with the Koljern foundation. Other factors considered in this study includes construction time, waste, and potential for reuse. A case study was conducted on a preschool building in Gunsta, serving as a reference for the analysis. Climate and cost calculations were performed using Bidcon software, along with manual calculations. The Gunsta preschool utilized green concrete for its foundation slab, and this is also included in the comparison to provide a broader perspective.

The results demonstrate that opting for a Koljern foundation reduces environmental impact by 50% compared to a traditional concrete foundation, although costs increase by 103%. When compared to green concrete, the Koljern foundation has a nearly 42% lower carbon footprint but incurs a cost increase of 101%. Green concrete has a nearly 13% lower carbon footprint compared to traditional concrete. The price difference between green and traditional concrete is only 1%, with green concrete being the more expensive option. Furthermore, the Koljern foundation generates minimal waste due to the prefabrication of Koljern elements by Evia AB.

In conclusion, the result of the study shows that a slab-on-grade foundation using the Koljern technique can be a possible alternative to the traditional concrete solution, depending on the specific project's objectives and goals. Despite higher costs, the Koljern foundation greatly reduces environmental impact, construction time, and enables high reusability.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

SAMMANFATTNING

Vid grundläggning av hus är betong ett av de mest använda materialen för nybyggnation idag. Ofta konstrueras grundkonstruktioner med tekniken platta på mark där betong, armering och cellplast är tre viktiga beståndsdelar. Betonggrund har många fördelar, dock är materialen som ingår i konstruktionen en stor belastning för miljön. För att byggsektorn ska minska sin miljöpåverkan måste minskning av utsläpp ske, därmed måste även mer miljövänliga lösningar tas upp i diskussion. Arbetets syfte är därav att undersöka en relativt ny teknik för platta på mark, nämligen en Koljern-grund. I stället för den traditionella armerade betongplattan involverar Koljern-grunden cellglas tillsammans med plåtlättbalkar. Cellglaset i konstruktionen består av cirka 60% återvunnet glas och har goda egenskaper inom både isolering och hållfasthet.

Rapporten jämför den traditionella betongplattan med en platta med Koljern-grund med avseende på kostnad och miljöpåverkan. Rapporten tar även upp andra egenskaper som kan vara viktiga vid val av grundläggning så som byggtid, spill och återbrukspotential. Som underlag för jämförelsen har en fallstudie gjorts på en förskola i Gunsta som sedan använts som referensbyggnad. Klimat- och kostnadsberäkningar har gjorts med hjälp av programvaran Bidcon samt diverse handberäkningar. Förskolan i Gunsta använder sig av grön betong i sin grundplatta. För att bredda jämförelsen, där resultatet kan vara av nytta för fler, inkluderas även traditionell betong i jämförelsen.

Resultatet av jämförelsen visar att vid val av Koljern-grund minskas miljöpåverkan med 50% i jämförelse med en grund gjuten med traditionell betong, medan kostnaderna ökar med 103%. I jämförelse med grön betong har Koljern-grunden närmare 42% lägre miljöpåverkan i jämförelse med grön betong och en ökad kostnad med 101%. Grön betong har närmare 13% lägre miljöpåverkan i jämförelse med traditionell betong. Priset skiljer sig endast 1% mellan grön- och traditionell betong där grön betong är dyrast. Dessutom bidrar Koljern-grunden med minimal mängd spill eftersom Koljern-elementen är prefabricerade från Evia AB.

Slutsatsen av examensarbetet är att en platta på mark med Koljern-grund är en möjlig ersättare till den traditionella lösningen med betong. Dock beror det på projektets ramar och mål. För en Koljern-grund blir priset högre samtidigt som miljöpåverkan blir lägre. Byggtiden minskas drastiskt och återbruksmöjligheterna är dessutom betydligt bättre.

Nyckelord: Betonggrund, Koljern-grund, Foamglas, Cellglas, Platta på mark, Återbruk, Återvinning, LCA, LCC, Cirkulär ekonomi, Hållbart byggande.

FÖRORD

Vi vill börja med att tacka vår ämnesgranskare Galyna Venzhego, som under hela arbetets gång varit ytterst tillgänglig och hela tiden bidragit med värdefull vägledning. Ett stort tack riktas till Ulf Asplund och Bengt-Eric Ericson, våra handledare från Skanska. Ni har hela tiden uppmuntrat våra idéer och gett oss utrymme till att forska i det som intresserar oss allra mest. Vi vill också tacka alla medarbetare på Skanska i Uppsala som på ett eller annat sätt bidragit till vårt arbete i form av forskningsunderlag, kunskap eller trevliga fikaraster. Vi är väldigt glada över ert visade intresse inför ämnet, och den entusiasm ni bidragit med under alla dagar vi spenderat tillsammans med er på kontoret. Slutligen vill vi tacka Niklas Holmquist, vice VD för Evia AB, som under hela arbetets gång agerat bollplank till oss när vi känt oss vilsna i en ny värld av teknik. Utan dig hade vår studie inte kunnat bli lika omfattande som den faktiskt blev.

Ansvarsfördelning

(X) = Stort bidragande, (O) = Medel bidragande, (-) = mindre		
Rubrik/kapitel	TJ	MN
1. Introduktion		
1.1	-	X
1.2	X	-
1.3	O	O
1.4	O	O
2. Teori		
2.1	O	O
2.2	X	-
2.3	X	-
2.4	O	O
2.5	-	X
2.6	-	X
2.7	O	O
2.8	X	-
3. Metod		
3.1	-	X
3.2	X	-
3.3	-	X
3.4	O	O
3.5	O	O
3.6	O	O
4. Resultat		
4.1	O	O
4.2	O	O
5. Analys		
5.1	X	-
5.2	-	X
6. Slutsats		
7.1	O	O
7.2	O	O

BEGREPPSLISTA

BBR:

Boverkets byggregler

LCA:

Livscykelanalys

LCC:

Livscykelkostnad

EPD:

Environmental Product Declaration (Miljövarudeklaration)

CO₂e:

Koldioxidekvivalent. Genom att beräkna koldioxidekvivalenter är det möjligt att jämföra och summera utsläppen av olika växthusgaser på ett enhetligt sätt

A-modul:

Byggskede i EPD

C-modul:

Slutskede i EPD

GWP-total:

Global uppvärmningspotential, en måttenhet som används för att jämföra olika växthusgaser och dess klimatpåverkan

Foamglas:

Patenterad skumglasskiva av cellglas

Koljern-grund:

Patenterad teknik för grundkonstruktion

Grön betong:

Klimatkompenserad betong med lägre koldioxidutsläpp vid tillverkning

U-värde

U-värdet för en byggnadsdel anger hur mycket värme som försvinner per sekund och per kvadratmeter om temperaturskillnaden mellan insida och utsida är 1 °C

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 PROBLEMBESKRIVNING	1
1.3 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR	2
2. TEORI	3
2.1 GRUNDKONSTRUKTION	3
2.1.1 Betong	3
2.1.2 Skanskas gröna betong	4
2.1.3 Koljern-grund	4
2.1.3 Punktlaster & pelarlösningar för Koljern-grund	7
2.2 GLAS & GLASÅTERVINNING	7
2.3 DEMONTERING OCH ÅTERBRUK	8
2.3.1 Betonggrund	8
2.3.2 Koljern-grund	9
2.4 MILJÖVARUDEKLARATION	10
2.5 LIVSCYKELANALYS	11
2.6 LIVSCYKELKOSTNADSANALYS	12
2.7 PROGRAMVARA BIDCON	12
2.8 TIDIGARE FORSKNING	13
3. METOD	15
3.1 LITTERATURSTUDIE.....	15
3.2 FALLSTUDIE	15
3.3 INGÅENDE MATERIAL	17
3.4 ANALYS AV KLIMATDATA	18
3.4.1 Grön- respektive traditionell betong	19
3.4.2 Koljern-grund	19
3.4.3 Funktionell enhet	20
3.4.4 Avgränsningar	21
3.5.1 Grön- respektive traditionell betong	21
3.5.3 Koljern-grund	21
3.5.4 Avgränsningar	22
3.6 VALIDITET & RELIABILITET	22
3.7 ETISKA STÄLLNINGSTAGANDEN	22
4. RESULTAT	24
4.1 MILJÖPÅVERKAN	24
4.2 KOSTNAD	31
5. ANALYS & DISKUSSION	36
5.1 ANALYS AV RESULTAT	36
5.2 METODDISKUSSION	38
5.2.1 Referensprojekt	38
5.2.2 Litteraturstudie	38
5.2.3 LCA & LCC	39
5.2.4 Datanalys	39
6. SLUTSATS	41
6.1 VIDARE FORSKNING	41
6.2 REKOMMENDATIONER TILL SKANSKA & ÖVRIGA INTRESSENTER	42
7. REFERENSER	43

Tabellförteckning

Tabell 2. 1: Redovisning av skeden, systemgränser och moduler	12
Tabell 4. 1: Redovisning GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för grön betong. *All armering är summerad.....	24
Tabell 4. 2: Redovisning GWP-total för skede A4 för grön betong med projektspecifik sträcka och vikt.....	25
Tabell 4. 3: Redovisning GWP-total C-modul för grön betong.....	25
Tabell 4. 4: Redovisning GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för traditionell betong. *All armering är summerad.	26
Tabell 4. 5: Redovisning GWP-total för skede A4 för traditionell betong med projektspecifik sträcka och vikt	27
Tabell 4. 6: Redovisning GWP-total C-modul för traditionell betong	28
Tabell 4. 7: Redovisning GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för Koljern-grund.....	28
Tabell 4. 8: Redovisning GWP-total för skede A4 för Koljern-grund med projektspecifik sträcka och vikt	29
Tabell 4. 9: Redovisning GWP-total C-modul för Koljern-grund.....	29
Tabell 4. 10: Redovisning av resultat i [kg CO ₂ e] för skede A1-A5 samt C	30
Tabell 4. 11: Redovisning kostnad i kronor för material i skede A1-A3 för grund med grön betong.....	31
Tabell 4. 12: Redovisning kostnad i kronor för övriga kostnader i skede A1-A3 för grund med grön betong	32
Tabell 4. 13: Redovisning kostnad i kronor för arbetare i skede A5 för grund med grön betong	32
Tabell 4. 14: Redovisning kostnad i kronor för material i skede A1-A3 för grund med traditionell betong	33
Tabell 4. 15: Redovisning kostnad i kronor för övriga kostnader i skede A1-A3 för grund med traditionell betong	33
Tabell 4. 16: Redovisning kostnad i kronor för arbetare i skede A5 för grund med traditionell betong.....	34
Tabell 4. 17: Redovisning kostnad i kronor för material i skede A1-A3 för Koljern-grund. *Inkluderad i priset för Koljern-grund.....	34
Tabell 4. 18: Redovisning kostnad i kronor för arbetare i skede A5 för Koljern-grund.....	34
Tabell 4. 19: Redovisning av resultat i kronor för skede A1-A3 samt A5	35

Figurförteckning

Figur 2. 1: Illustration av Koljern-element	4
Figur 2. 2: Leverans av Koljern-element	Figur 2. 3: Förberedelse av mark.....5
Figur 2. 4: Första lagret av Foamglasskivor	Figur 2. 5: Utskärning för installationer
.....	5
Figur 2. 6: Placering av radonduk	Figur 2. 7: Placering av radonmanchetter
.....	6
Figur 2. 8: Andra lagret av Foamglasskivor	Figur 2. 9: Koljern-elementen lyfts
på med kran.....	6
Figur 2. 10: Koljern-element säkras med vinkelbeslag och tejp.....	6
Figur 3. 1: Referensprojekt, förskola i Gunsta (Jensen förskola , u.d.)	16
Figur 3. 2: Illustration av plan 1 med markeringar för pelare.....	16
Figur 3. 3: Illustration av betonggrund i genomskärning med exempellösning av pelarfundament (Skanska, 2023)	17
Figur 3. 4: Illustration av Koljern-grund i genomskärning (Evia, u.d.).....	18
Figur 4. 1: Stapeldiagram som redovisar kg koldioxidekvivalenter för respektive grundkonstruktion	30
Figur 4. 2: Stapeldiagram som redovisar kostnader i kronor för respektive grundkonstruktion	35

1. INTRODUKTION

Rapporten presenterar ett examensarbete på 15 högskolepoäng som utförs under vårterminen 2023 på *högskoleingenjörsprogrammet i byggt teknik* vid Uppsala universitet. Arbetet skrivs i samarbete med Skanska AB. Rapportens huvudområde är byggnadsteknik och ämnet fokuserar på val av byggnadsmaterial i en grundkonstruktion med avseende på miljöpåverkan och ekonomi.

1.1 Bakgrund

Koldioxid är den största bidragande faktorn till växthuseffekten idag, med en andel på cirka 70 procent. Utsläpp av växthusgaser leder till en ökad uppvärmningseffekt vilket resulterar i förändrat klimat samt den globala uppvärmningen. Bygg- och fastighetssektorn står för en stor del av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. År 2020 stod branschen för 21% av de totala utsläppen vilket motsvarar 9.8 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Boverket, 2023). Dessutom bidrog sektorn till betydande utsläpp utomlands genom import av varor. Totalt sett var de sammanlagda utsläppen för år 2020 15.9 miljoner ton koldioxidekvivalenter i Sverige.

2017 togs ett långsiktigt klimatpolitiskt ramverk fram som inkluderade ett flertal klimatmål som ska leda till att Sverige ska nå nettonollutsläpp av växthusgaser år 2045 (Naturvårdsverket, u.d.). Tillsammans med 22 branscher har naturvårdsverket presenterat färdplaner som inkluderar klimatlag, klimatmål samt ett klimatpolitiskt råd som tillsammans beskriver hur landet ska lyckas med att bli fossilfritt eller klimatneutralt senast år 2045. Detta mål inkluderar även bygg- och anläggningssektorn, som tidigare nämnt bidrar mycket till Sveriges totala utsläpp. År 2018 utarbetade branschen en egen färdplan för att uppnå målen till 2045. En uppföljningsrapport publicerades år 2022. Där finns branschens framsteg och utmaningar sedan 2018 listade. En av de viktigaste delarna som behöver förbättras för att kunna förändra dagens siffror är att säkerställa att tillståndsprocesser främjar användning av klimateffektiva byggmaterial (Boverket, 2023).

1.2 Problembeskrivning

Det har skett en minskning av utsläpp från uppvärmning av byggnader medan utsläppen från renoveringar och byggande inte har ändrats nämnvärt över tid (Liljenström & Malmqvist, 2015). Som ett exempel förekommer en detaljerad livscykelanalys som utfördes på kvarteret Blå Jungfrun i Hökarängen utanför Stockholm. Där framgår det tydligt att byggnadsmaterialen står för 84% av projektets sammanlagda miljöpåverkan medan arbetsprocesser och transporter på arbetsplatsen endast står för 16%. Det material som har störst miljöpåverkan är betong. Detta beror på att tillverkningen av cement är en mycket energiintensiv process och att de kemiska processerna vid tillverkningen bidrar till stora mängder koldioxid. Det tillverkas ungefär 4,5 miljarder ton cement per år runt om i världen (Naturskyddsföreningen, 2022). Detta orsakar 2,7 miljarder ton koldioxid, vilket utgör 8% av de globala utsläppen.

Sedan 2016 har mängden avfall från byggbranschen ökat avsevärt vilket går i linje med en stark byggkonjunktur. Andelen återvinning är dock låg (Aktuell hållbarhet , 2022). För att det cirkulära avfallsflödet ska öka krävs en mer utvecklad återvinning. Dessutom behöver företagen få incitament för att börja förädla sina material i en högre grad.

Idag är den vanligaste grundläggningen i en byggnad en traditionell platta på mark, bestående av betong (Blom Westergren, 2017). Ett miljövänligt alternativ till detta är en Koljern-grund som består av plåtlättbalkar och cellglas av typen Foamglas. Denna grund har goda egenskaper inom samtliga områden och en mindre miljöpåverkan i jämförelse med betong. Två tredjedelar av cellglaset är dessutom återvunnet. En nackdel med Koljern-grunden är att priset skiljer sig markant i jämförelse med betong. Huruvida den högre kostnaden för en Koljern-grund motiveras av dess miljöpåverkan, egenskaper och återbruksmöjligheter är upp till varje enskild beställare att ta ställning till.

1.3 Syfte och frågeställning

Syftet är att ta fram underlag för att utreda huruvida Koljern-grund är ett bra alternativ till betong som grundkonstruktion samt att diskutera konstruktionernas återbruksmöjligheter. Utifrån syftet med studien formuleras följande frågeställningar:

- Hur skiljer sig en Koljern-grund mot en betonggrund i byggskede A1-A5 samt modul C med avseende på koldioxidutsläpp?
- Hur skiljer sig en Koljern-grund mot en betonggrund i byggskede A1-A3 samt A5 med avseende på kostnad?

1.4 Avgränsningar

Studien fokuserar endast på en jämförelse i grundkonstruktion, sett från färdig grusbädd till förberedd golvläggning för en förskola i två våningar. Studien fokuserar på byggskede A1- A5 samt modul C gällande koldioxidutsläpputsläpp och skede A1-A3 samt A5 gällande kostnad. Kostnaden avser endast intern produktionskostnad för Skanska där en Koljern-grund ses som ett inköp likt ett prefabricerat element. Priset mot slutkund definieras inte då arbetet är avgränsat från Skanskas schablon-marginal. Vid uträkning av kostnad för skede A5 avser detta endast kostnad för arbetare. Vid uträkning av miljöpåverkan för skede A5 avser detta endast byggspill. Bedömning av miljöpåverkan kommer endast presenteras i mängd koldioxidekvivalenter (GWP-total). Återbruksmöjligheter och U-värden för respektive grundkonstruktion diskuteras endast utifrån tidigare forskning.

2. TEORI

Bakomliggande fakta som ligger till grund för undersökningen presenteras i detta kapitel. Begrepp som grundkonstruktion, traditionell betong, grön betong och Koljern-grund förklaras. Punktlaster och pelarlösningar för Koljern-grund introduceras samt glas och glasåtervinning. Vidare diskuteras demontering och återbruk av de olika grundkonstruktionerna. Därefter introduceras miljövarudeklaration, LCC och LCA. Slutligen presenteras tidigare forskning.

2.1 Grundkonstruktion

Varje enskild byggnad måste grundläggas med en grundkonstruktion som bidrar till byggnadens hållbarhet samt förhindrar eventuella rörelseelement (Statens geotekniska institut, 2019). Genom grundkonstruktionen utnyttjas hållfastheten i jorden och berget samt grundkonstruktionens förmåga att bära laster. Det kan också efterfrågas andra krav på en grundkonstruktion. Exempelvis att ha god isolering mot kyla, god förmåga att dränera vatten samt att ha ett bra skydd mot radon. Vad som utgör viktiga faktorer i en grundkonstruktion skiljer sig beroende på dess användningsområde. För att kunna uppfylla de efterfrågade kraven är det även viktigt att överse förutsättningarna i den aktuella regionen. Exempelvis vilken jord som finns på platsen, hur djupt grundvattnet är, vilket klimat som råder samt om det finns känsliga konstruktioner i närheten.

I regel separeras ytlig- och djup grundläggning. En ytlig grundläggning kan genomföras när jorden kring byggnaden är tillräckligt beständig i förhållande till byggnadens utformning, egentyngd och last. En ytlig grundläggning för en byggnad kallas för plattgrundläggning och består av lastfördelande plattor. Exempel på två plattgrundläggningar är platta på mark i form av betong och Koljern-grund i form av Foamglas och plåtlättbalkar.

2.1.1 Betong

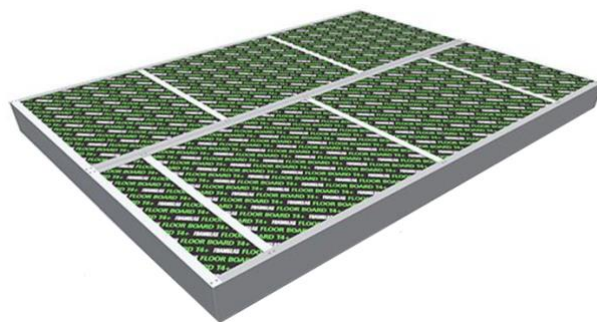
En grundplatta i betong kallas ofta för platta på mark och består av en armerad grundplatta med förstyvande balkar under bärande linjer (Sundström, 2023). Både plattan och balkarna vilar direkt på undergrunden. Plattan gjuts på arbetsplatsen och konstruktionen värmeisolerar längs kanterna och längs undersidan mot marken. För att börja gjutningen av grundplattan behövs först matjordslagret schaktas bort och marken avjämnas. Skikt för dränage och kapillärbrytning läggs ut och packas väl. Detta formas efter betongplattans form. Det vanligaste materialet i kapillärbrytande skikt är singel eller makadam. Detta skikt brukar även kompletteras med värmeisolering av cellplast, mineralull eller cellglas i form av markskivor. När detta är på plats dras sedan rör för vatten, avlopp, el och telefoni. Innan golvet är redo att läggas måste plattan torkas till 85% relativ luftfuktighet eller lägre och därefter noga rengöras från damm. Ledningar för dränering och dagvatten placeras utanför- och under grundplattans underkant. För att säkerställa att konstruktionen är fuktsäker bör värmeisoleringen placeras under plattan och det räcker då med en tunn isolering under golvbeläggningen. Om betongplattan är sprickfri, lufttät och har lufttäta genomföringar utgör den dessutom ett bra skydd mot markradon.

2.1.2 Skanskas gröna betong

En platta på mark gjuten i grön betong konstrueras på ett identiskt sätt likt traditionell betong. Den gröna betongen har däremot halverade koldioxidutsläpp jämfört med traditionell betong (Skanska, u.d.). Skanska har tagit fram en egen grön betong som ett steg på vägen mot ett grönare samhälle. För att minska koldioxidutsläppen har lösningen varit att använda sig av alternativa bindemedel för att kunna minska mängden cement i blandningen. De alternativa bindemedel som används kan vara slagg, som är en restprodukt från ståltillverkning, i stället för en del av cementen. Mer sällan används även flygaska, som kommer från kolförbränning, i vissa cementprodukter. Trots dessa förändringar i receptet så uppfyller den gröna betongen samma krav som traditionell betong gällande hållbarhet, beständighet och livslängd. Samtidigt kan den gröna betongen användas på likvärdigt sätt som traditionell betong, men har en betydligt mindre påverkan på klimatavtrycket.

2.1.3 Koljern-grund

En Koljern-grund består av galvaniserade plåtlättbalkar och cellglasisolering i form av skumglas från tillverkaren Foamglas, se figur 2.1. Foamglas är ett material som tillverkas genom en specifik produktionsprocess som kallas "cellglasproduktion" (Foamglas, u.d.). I tillverkningen kommer cirka 60% av råvarorna från återvunnet material. Foamglas är en typ av isoleringsmaterial som består av oorganiska och amorfa glasstrukturer med sluten cellstruktur. Smält råmaterial formas till skumliknande struktur genom tillsats av cellbildande medel. Därefter utsätts den formade skumstrukturen för en kontrollerad nedkylning, vilket resulterar i att glaset stelnar och behåller en karakteristisk sluten cellstruktur. Den slutliga produkten är ett lätt, styvt och hållbart isoleringsmaterial med goda termiska, mekaniska och brandsäkerhetsegenskaper. Foamglas är bärande i konstruktionen och likaså plåtlättbalkarna. Koljern-grunden är en patenterad teknik som har en del likheter med grundplatta i betong då båda är en typ av platta på mark (Evia , u.d.).



Figur 2. 1: Illustration av Koljern-element (Evia , u.d.)

Vid byggnation av hus med Koljern-grund beställs Koljern-element från leverantör och levereras till byggarbetsplatsen med lastbil, se figur 2.2. Innan elementen läggs på plats behöver marken på platsen arbetas. Liksom för betongplatta på mark schaktas massjordslagret bort och marken jämnas ut. En grusbädd och ett dränerande lager konstrueras och packas väl för att ge bra förutsättningar till installationen av elementen. Rördragningen placeras i grusbädden med raka stick uppåt, se figur 2.3.



Figur 2. 2: Leverans av Koljern-element (Evia, 2022) Figur 2. 3: Förberedelse av mark (Evia, 2022)

När rören är på plats läggs järnrör i vågrät riktning på gruset för att jämna grusbädden. Sedan skrapas gruset för att jämna ytan mellan rören. Nästa steg är att packa gruset med en markvibrator, en metod som länge använts inför läggning av marksten (Evia, 2022). När gruset är packat och kontrollerat är grunden klar för montering.

Det första steget vid montering är att placera ett lager Foamglasskivor på grusbädden, se figur 2.4. Där rörledningar sticker upp skärs hål i skumglasskivorna, se figur 2.5.

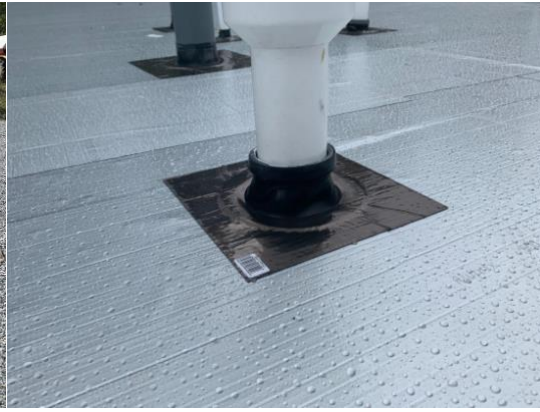


Figur 2. 4: Första lagret av Foamglasskivor (Evia, 2022) Figur 2. 5: Utskärning för installationer (Evia, 2022)

När första lagret av isoleringen är lagt placeras en radonduk, se figur 2.6. Alla rör förses då med radonmanschetter för att anslutningarna ska hållas täta, se figur 2.7.



Figur 2. 6: Placering av radonduk (Evia, 2022)



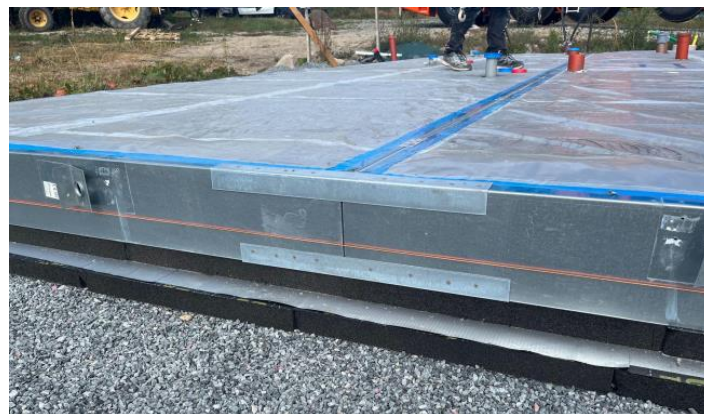
Figur 2. 7: Placering av radonmanchetter (Evia, 2022)

När första lagret är radonsäktrat kan andra lagret av Foamglas läggas på, se figur 2.8. Liksom vid tidigare steg sågas hål i plattorna passande rörens placering och storlek. Koljern-elementen lyfts därefter på plats med kran, se figur 2.9.



Figur 2. 8: Andra lagret av Foamglasskivor (Evia, 2022) Figur 2. 9: Koljern-elementen lyfts på med kran (Evia, 2022)

Likt tidigare moment sågas även här hål för befintliga rör. Sedan säkras elementen i varandra med vinkelbeslag samt tejp i skarvarna mellan de olika elementen, se figur 2.10.



Figur 2. 10: Koljern-element säkras med vinkelbeslag och tejp (Evia, 2022)

Till sist förseglas fogarna mellan radonduken och andra lagrets isolering, och slutligen kan då den valda sockelbeklädningen monteras. När alla ovanstående steg är klara kan bygget ta nästa steg direkt. Golv och andra byggnadsdelar kan placeras direkt på elementen eftersom konstruktionen inte kräver någon torktid eller liknande.

2.1.3 Punktlaster & pelarlösningar för Koljern-grund

Trots Koljern-grundens goda bäregenskaper är materialet inte fördelaktigt för punktlaster. Punktlaster behöver fördelas på en större yta för att Koljern-grunden ska fungera felfritt inom detta område. När ett hus planeras att byggas med Koljern-grund är det fördelaktigt att i tidiga faser undvika punktlaster som exempelvis pelarlaster. I stället bör lasterna fördelas ut i linjelaster i form av exempelvis bärande väggar. Dock finns det lösningar om det trots detta skulle finnas pelare i konstruktionen från start. I de fall där stålpelare finns i konstruktionen används en lastfördelande plåt som skärs ut i stålplåt och sammanfogas med pelaren. De dimensioneras sedan efter behov (Holmquist, 2023). Den lastfördelande plåten placeras i det översta lagret av Foamglas där plåtens dimension har skurits ut från skumglasplattan. Därefter placeras Koljern-elementen ovanpå. Vid högre laster kan även betongfundament gjutas under de pelare som behöver extra stöd.

I de konstruktioner där det eftersträvas ett lägre klimatavtryck kan även lastfördelare i trä konstrueras för att bortse från stål helt. Den lastfördelande plattan kan då konstrueras i KL-trä. Detta material är ett hårt material som har goda egenskaper för utbredd last. Lösningen är en ny metod som ännu inte beprovats, men som Evia AB tagit fram i samband med denna studie då referensprojektet påvisade nya utmaningar gällande detta. Plattorna av KL-trä beräknas lösa alla pelarsituationer. Materialet kan dessutom helt hämtas från KL-produktionens spillmassor.

2.2 Glas & glasåtervinning

Glas är ett material som länge använts för många olika saker som exempelvis fordon, glasögon, inredning och byggnadsmaterial. Vid glastillverkning smälts sand och andra mineraler ner vid höga temperaturer för att sedan stelna till ett fast transparent material (NE, u.d.). Med avseende på glastillverkning har kiselsand framträtt som den mest efterfrågade sandtypen (Yeih Ngoye, 2021). Detta har resulterat i att flodbottnar och stränder töms på denna naturresurs. Den höga åtgången på kiselsand ger negativa konsekvenser för planeten. Det skapar erosion i floder, förändrar pH-balansen i vatten samt utgör ett stort hot för de marina områdena. Glas är ett vanligt material att stöta på i vardagen och har varierande användningsområden. Dock är det inte enkelt att återvinna och processen är krånglig. Återvinning av glas är ett alternativ som bör utforskas mer då det sparar på naturresurser. Faktum är att det tar upp till en miljon år för materialet att brytas ned naturligt.

Vid framställning av glas från rena material bränns alla farliga ämnen bort, något som kräver en stor mängd energi (Grund Bäck & Lagerbielke, 2018). Vid glasåtervinning är denna förbränning redan genomförd vilket gör att energiåtgången minskar med 15% samtidigt som koldioxidutsläppen minskar med 41%, i jämförelse med om rena material hade använts på nytt.

Råvaror som används för att tillverka glas är främst sand, soda och kalk. Dessa råvaror importeras oftast till Sverige från Norge och Belgien. Detta är ännu en klimatbelastning.

Hur mycket av glaset som kan återvinnas styrs av hur glaset sorteras. Återvinningsprocessen för glas är mycket känslig när det kommer till inblandning av andra material, trots att tekniken är väl utvecklad. Om blandningen innehåller exempelvis keramik och porslin riskerar smältprocessen att förstöras och därmed försämra glaskvalitén.

2.3 Demontering och återbruk

Hållbarhet och effektiv resursanvändning är idag mer aktuella ämnen än någonsin tidigare (Björkman & Kardell, 2021). En av de viktiga åtgärderna för att minska utsläppen och främja ett mer cirkulärt samhälle är att använda återbrukat material. För att göra byggsektorn mer hållbar krävs en övergripande resurseffektivitet och ett förändrat arbetssätt. Genom att använda befintliga material och komponenter på ett cirkulärt sätt, inklusive återbruk, kan miljöpåverkan minskas och på så vis främja hållbarheten. För att lyckas med omställningen till cirkulärt byggande krävs samarbete och engagemang från alla parter involverade i byggprocessen. Ökad kunskap är också avgörande för att driva utvecklingen av återbruk framåt.

Drivkrafterna för att återbruka mer är minskad miljöpåverkan, ekonomiska fördelar, unika gestaltningsmöjligheter och möjlighet att marknadsföra sig som ett ansvarstagande företag. Samtidigt identifieras hinder såsom bristande kunskap, etablerade vanor, brist på kvalitetssystem och garantier, logistikproblem samt brist på tillgång till återbrukat material och komponenter. Arkitekten har ofta en betydande roll i främjandet av återbruk och cirkulärt byggande. För att främja återbruk behöver arkitekter integrera tanken om återbruk tidigt i byggprocessen. De behöver även vara mer delaktiga under hela processen, ha flexibilitet i gestaltningen och säkerställa kvaliteten på återbrukade komponenter.

2.3.1 Betonggrund

Möjligheterna till återvinning av betong är betydande och kan ge fördelar både ur miljö-, och ekonomisk synvinkel (Lagerlund, 2021). Vid rivning av byggnader består vanligtvis byggnadsdelarna av olika kvaliteter, och om material från olika rivningar kombineras blir betongkvaliteten ännu mer varierad. Rivningsavfall från betong går främst till deponi, fyllnadsmaterial, vägbyggnad och bullervallar. Användningen av återvunnen betong är dock begränsad och regleras av svensk standard. Användningen av krossad betong begränsas av betongens kvalitet och exponeringsklass. Att uppnå jämn kvalitet med återvunnet material kan vara svårt på grund av tillgången av tillräckliga mängder med samma kvalitet. För att säkerställa rätt kvalitet kan det återvunna materialet användas i produkter med lägre kvalitetskrav. För att garantera god kvalitet och följa standarder är det viktigt att använda ett kvalitetssäkringssystem, särskilt vid användning av återvunnet material.

Krossad betong kan delas in i restbetong och rivningsbetong. Restbetong är överskott av betong som normalt anses vara fri från farliga ämnen. Rivningsbetong är kasserad betong, där

armeringen tas bort och återvinns till smältverk för att bli ny armering. Rivningsbetong kan innehålla andra rester från rivningen, vilket måste beaktas vid framtida användning. Idag återvinns betong oftast som fyllnadsmaterial, men det finns potential att använda ballasten i ny betong för att bidra till cirkulär ekonomi. Det är möjligt att använda återvunnen betong i tillverkningen av ny betong om rivningsavfallet är relativt rent. Det är dock sällan som sådan betong används vid husbyggnation. Användningen av återvunnen betong i stället för ny betong till vägar är ett effektivt sätt att minska resursslöseri och uppnå positiva miljöeffekter. Vid gjutning av legoblock med spillbetong kan 10–20 gånger bättre ersättning erhållas i jämförelse med krossad betong, vilket ger incitament att använda materialet på rätt sätt.

Byggsektorn är den näst största förbrukaren av plastmaterial, efter förpackningssektorn, i Sverige. Branschen utgör cirka 21 procent av den totala plastanvändningen. Användning av plast i form av cellplast i platta på mark är mycket vanligt förekommande. Vanligtvis går förbrukad plast från byggsektorn till förbränning (Naturvårdsverket, 2020). Återvinningen eller återanvändningen av cellplast i dessa konstruktioner är nästintill obefintlig. År 2016 utgjorde endast 0,8% av den förbrukade plasten inom byggsektorn materialåtervinning. En genomsnittlig tillverkning av ett ton plast resulterar i ett utsläpp på ungefär 2,3 ton koldioxidekvivalenter. De främsta källorna till utsläpp är raffinering, ångkrackning och andra processer inom polymerproduktionen. Tillverkningsprocessen utgör endast en del av plastens totala klimatpåverkan. En betydande mängd kol är också inkluderad i varje plastprodukt. Detta motsvarar ungefär 2,7 ton koldioxidekvivalenter för varje ton plast. Om plasten förbränns som avfall frigörs hela den innehållande mängden kol i form av utsläpp. Plast som produceras på nytt och sedan förbränns vid rivning resulterar i en utsläppsmängd på ungefär 5 ton koldioxidekvivalenter per ton plast.

Återbruk av betong och betongstomme är idag i princip obefintligt, men det kan förekomma i pilotprojekt. Betongbalkar och betongpelare har högst potential för återbruk, medan sandwichpaneler har lägst potential. Återbruk kan vara kostsamt och tidskrävande, men det kan leda till minskad energi- och resursförbrukning.

2.3.2 Koljern-grund

Koljern-grunden har funnits på marknaden i knappa 20 år. På grund av detta har tekniken inte beprövats tillräckligt länge för att återbruksmetoder ska finnas dokumenterade. Idag finns återbruksmetoden endast i teorin (Holmquist, 2023). Teorin grundar sig i Koljern-grundens montering och egenskaperna som Foamglas och plåtlättbalkarna erhåller (Holmquist, 2023). Koljern-grunden är i huvudsak hopmonterad med hjälp av vinkelbeslag och skruv. Därefter är den tätad med beständig tejp. Detta innebär att Koljern-elementen kan demonteras utan svårigheter efter tid. Eftersom en Koljern-grund levereras i prefabricerade element med projektspecifika mått efter ritning bör nästkommande objekt erhålla identiska mått för att ett fullständigt återbruk av Koljern-elementen ska kunna ske. Om detta inte infaller är det dock möjligt att komplettera med ytterligare Koljern-element alternativt återvinna Foamglas och plåtlättbalk vardera för sig.

Enligt Foamglas kvarstår materialegenskaperna hos skumglasskivorna under hela sin användning. Den deklarerade livslängden är satt till 100 år, men i EPD:n beskrivs användningen som näst intill obegränsad om produkten används enligt avseende, se bilaga 1 för EPD. Detta betyder att Foamglas som använts i en Koljern-grund kommer att hålla samma kvalitet i en byggnad efter både 50 och 100 år. Om skumglasskivorna använts på korrekt sätt kan därmed skumglasskivorna demonteras och återanvändas i en ny byggnad direkt. Om skumglasskivorna inte har för avseende att återbrukas kan dessa i stället återvinnas i sitt befintliga skick. Fabriken som tillverkar Foamglas tar emot brukad Foamglas för att tillverka nya produkter (Holmquist, 2023). Foamglas som en gång blivit till Foamglas kan dock inte återgå till någon annan form än Foamglas. Däremot kan Foamglas återvinnas oändligt antal gånger utan att dess egenskaper påverkas.

Plåtlättbalkarna i Koljern-grunden kommer från leverantören Lindab. Plåtlättbalkarna kan liksom Foamglas återbrukas och användas i senare projekt alternativt återvinnas (Holmquist, 2023). Enligt plåtlättbalkarnas EPD är 60 år dokumenterat som deklarerad livslängd. Denna data utgör dock resultat för brukande i utomhusmiljö. Niklas Holmquist, vice VD på Evia AB, menar på att balkarna som ligger i en Koljern-grund beräknas ha en livslängd på minst 200 år. Detta för att plåtlättbalkarna i en Koljern-grund ligger skyddade utan kontakt med fukt. Om plåtlättbalkarna inte har för avseende att återbrukas kan även dessa återvinnas för att produceras på nytt. Stål har utmärkta egenskaper för att återvinnas oändligt antal gånger utan att påverka kvaliteten nämnvärt.

2.4 Miljövarudeklaration

En miljödeklaration är en dokumenterad redovisning av en byggprodukts miljöpåverkan över hela dess livscykel (Boverket, 2019). Miljödeklarationen, även känd som EPD (Environmental Product Declaration) på engelska, är en standardiserad och objektiv rapport som tillhandahåller information om produkters miljöprestanda. Syftet med en miljödeklaration är att ge användare och intressenter en tydlig bild av en byggprodukts miljöpåverkan. Detta kan vara användbart vid upphandling och val av produkter. Miljödeklarationer kan även användas för att jämföra olika produkters miljöprestanda och främja hållbarhet inom byggsektorn.

I en miljövarudeklaration redovisas ofta tre olika GWP-indikatorer samt en total av dessa tre som benämns GWP-total (EPA, 2023). De indikatorer som redovisas är GWP-fossil, GWP-biogenic, GWP-luluc och GWP-total. GWP (Global Warming Potential), eller global uppvärmningspotential på svenska, är en måttenhet som används för att jämföra olika växthusgaser och dess påverkan på klimatförändringar. GWP-måttenheten används för att beräkna koldioxidekvivalenter. Detta är ett sätt att uttrycka utsläpp av växthusgaser i termer av koldioxidens uppvärmningseffekt över en given tidsperiod.

I Europa finns det en standard på vilka kategorier för klimatpåverkan som ska användas i en livskostnadsanalys. Dessa kategorier inkluderar påverkan på klimatet från växthusgaser försurning, övergödning, ozonnedbrytning, marknära ozon samt utarmning av både fossila och

icke-fossila resurser. Dock behöver inte alla dessa kategorier beaktas under en studie, utan valet av kategorier kan begränsas till att fokusera på en eller ett fåtal av dem som är av intresse.

Koldioxid är den vanligaste och mest välkända växthusgasen. Alla andra växthusgaser kan jämföras med koldioxid genom att beräkna dess GWP. GWP används för att bestämma hur mycket mer eller mindre effekt en viss gas har i förhållande till koldioxid. Denna effekt mäts över en tidsperiod, vanligtvis 100 år, och uttrycks som GWP100. Enligt GWP100 har koldioxid ett GWP-värde på 1, vilket fungerar som referens. Andra växthusgaser, som metan och lustgas har betydligt högre GWP-värden än koldioxid. Till exempel har metan ett GWP-värde på 25, vilket betyder att metan har 25 gånger större uppvärmningspotential än koldioxid över en tidsperiod på 100 år. Lustgas har en GWP på 298, vilket betyder att lustgas har nästan 300 gånger större uppvärmningspotential än koldioxid över samma tidsperiod.

Genom att beräkna koldioxidekvivalenter kan utsläppen av olika växthusgaser jämföras och summeras på ett enhetligt sätt. Detta gör det möjligt att bedöma den samlade miljöpåverkan från olika källor och sektorer. Det är viktigt att notera att GWP-värden och koldioxidekvivalenter är verktyg för att mäta och jämföra miljöpåverkan av olika växthusgaser, men de tar inte hänsyn till andra aspekter som kan vara relevanta för att bedöma en specifik gas eller sektors totala miljöpåverkan. Det är även viktigt att poängtera att en miljödeklaration enbart tillhandahåller information om en byggprodukts miljöprestanda och inte fokuserar på andra faktorer såsom estetik, funktion eller ekonomi. Det är därför viktigt att kombinera denna information med andra relevanta faktorer vid beslut om byggprodukter.

2.5 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är en metod för att kartlägga en produkts eller tjänsts miljöpåverkan under dess livscykel (Boverket, 2019). En LCA är en metod för att kunna skapa miljövarudeklarationer (EPD). I en LCA kan de olika skedena delas upp i kombination med typ av miljöpåverkan för att kartlägga var i processen det finns störst miljöpåverkan. Utifrån de resultat LCA visar kan olika alternativ jämföras samt att beslut kan tas kring hur projektering med avseende på lägre miljöpåverkan ska ske i framtiden. När en EPD tas fram måste standarder följas. Tillvägagångssätt för byggprodukter finns i standarden SS-EN 15804:2012 + A1:2013.

En LCA är uppdelad i tre huvudskeden för att göra tolkningen av resultatet lättare. De tre skedena är: byggskedet (inkluderat produktskede och byggproduktionsskede), användningsskedet samt slutskedet (SLU, 2022). Dessa skeden kategoriseras sedan ytterligare in i informationsmoduler som tydliggör de olika processerna i vardera skede, se tabell 2.1.

Tabell 2. 1: Redovisning av skeden, systemgränser och moduler

	Byggskede (A-modul)					Användningsskede (B-modul)							Slutskede (C-modul)			
	Råvaruförsörjning	Transport	Tillverkning	Transport	Installering	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Ombyggnad	Driftenergi	Vattenanvändning	Demontering	Transport	Restproduktbehandling	Bortskaffning
Moduler	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4

Vid framtagandet av en LCA finns det olika standardiserade faser. I standarderna presenteras fyra faser som ligger till grund för skapandet av en LCA (SLU, 2022). I den första fasen definieras mål och omfattning för projektet. I denna fas är det av vikt att ta med systemgränser samt en funktionell enhet som är mätbar och tydlig för att senare kunna jämföra resultatet. Fas två innefattar en inventeringsanalys där all nödvändig data samlas in. Fas tre innefattar miljöpåverkansbedömning där produktens miljöpåverkan analyseras utifrån en värdering av insamlade data för att förstå olika delars potentiella miljöpåverkan. Till sist finns fas fyra som är tolkning av resultat. Allt detta görs för att underlätta arbetet samt för att kunna tolka resultat av slutprodukten.

2.6 Livscykelkostnadsanalys

För att beräkna kostnader för en vara eller tjänst under hela dess livslängd används en livscykelkostnadsanalys (LCC). Beräkning av LCC görs oftast för att ha en grund till diskussion och beslut gällande olika investeringar. Vanligtvis används den när ett projekt har ett problemområde som kan förbättras och att det ska vara möjligt att välja mellan olika alternativ (Energimyndigheten, 2017). En LCC tas fram i kalkylform. Kalkylen bygger vanligtvis på nuvärdemetoden för att omvandla förväntade framtida utgifter och intäkter till ett nuvärde. Kalkylränta används för att justera för skillnader i värdet på pengar över tid. Genom att omvandla alla framtida kostnader till tidpunkten för inköpet är det möjligt att jämföra dem med dagens kostnader och därmed jämföra produkter och tjänster på ett likvärdigt sätt över tid. Detta gör det möjligt att jämföra totala kostnader över nyttjandetid.

2.7 Programvara Bidcon

Bidcon är ett kalkylprogram framtagen av Elecosoft. Programmet används för att beräkna kostnadsförslag för byggmaterial, dess respektive arbetskostnader samt miljöpåverkan (Elecosoft, u.d.). Programvaran är försedd med en omfattande databas som innehåller kostnadsinformation för varje del av byggprocessen. Bidcons databaser med priser och material

uppdateras regelbundet för att säkerställa att användaren alltid har tillgång till rimliga och relevanta priser på marknaden.

Varje moment i programvaran är tilldelat en ungefärlig arbetstid, vilket sedan adderas ihop för att ge en total arbetskostnad. Kalkylprogrammet har ett flertal olika standardlösningar för att enkelt kunna beräkna kostnader för en byggnad. Miljöpåverkan räknas fram med hjälp av klimatmodulen. Värdena i klimatmodellen är generiska data från Boverket, Tyréns samt EPD:er. I Bidcon är det även möjligt att byta ut värdena i kalkylposterna så som material, arbetstid, kostnader för materialen, kostnad för arbete samt miljöpåverkan. Detta är en effektiv metod för att kunna anpassa kalkylen till specifika projekt och dess förutsättningar.

2.8 Tidigare forskning

År 2019 byggdes den första fossilfria förskolan i Sverige. Förskolan är byggd med en Koljern-grund och har uppnått enastående siffror för miljöpåverkan i jämförelse med både varmgrund och traditionell platta på mark. Förskolan är belägen i Göteborg och är en del av ett innovationsprogram. Programmet fungerar som ett ramverk för ett 30-tal olika projekt där återbruk och innovationer ska minska klimatbelastningen i byggprojekt (Foamglas, 2020). Derome, som är Sveriges största familjeägda träindustri, har tagit fram en rapport som syftar på arbetet med minskad miljöpåverkan i förskoleprojektet. I rapporten framgår det tydligt att Koljern-grunden ger det lägsta klimatavtrycket av de jämförda alternativen (Derome, 2021). Varmgrunden kunde tidigt uteslutas som alternativ. Detta för att markförutsättningarna inte nådde rätt kriterier. Utöver skillnaderna i klimatavtryck stod det även klart att Koljern-grunden är den grundläggning som kräver minst schaktning. Dessutom ger den kortast byggtid eftersom ingen hänsyn behöver tas till torkningstid. Styrgruppen för projektet bedömde också att Koljern-grunden hade störst potential för återbruk. Med denna information valde projektets styrgrupp att förskolan skulle bestå av en Koljern-grund.

En annan rapport som har granskats är ett examensarbete från Karlstads universitet. Även denna rapport syftar på en jämförelse mellan Koljern-grund och traditionell platta på mark. (Kleven & Skarin, 2006). Dock fokuserar rapporten på byggtid och lönsamhet, och inte klimatavtryck. Enligt ett uppritat flödesschema framgår det tydligt att Koljern-grunden innehåller betydligt färre steg i byggskedet, därav sin kortare byggtid. I rapporten framgår en principiell lösning som syftar på en grund som är 100 kvadratmeter. Arbetstiden som redovisas i exemplet är fem veckor för betongplattan och endast två dagar för Koljern-grunden. Trots den stora tidsskillnaden är dessvärre Koljern-grunden mer än 70% dyrare i totalkostnad enligt rapporten.

I rapporten *En jämförelse av koldioxidutsläpp i en byggnads klimatskal beroende på val av isoleringsmaterial* framgår en jämförelse av U-värde mellan en traditionell betongplatta och en Koljern-grund (Olsson & Rydin, 2019). Bottenplattan beräknas bestå av 300 millimeter cellplast och 100 millimeter betong. 13% av plattan består av kantförstärkning. De ingående materialen i kantförstärkningen är 300 millimeter betong och 100 millimeter cellplast. Det sammanlagda U-värdet för betongplattan redovisas som 0,143 W/m² K. Beräkningar för

Koljern-grunden är baserade på en 308 millimeter tjock cellglasgrund. Resultatet av U-värde för denna konstruktion visar $0,130 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Rapporten syftar därför på att de olika grundtyperna kan jämföras med varandra eftersom dess U-värde är likvärdiga.

Ytterligare en rapport som diskuterar en jämförelse av U-värden för dessa grundkonstruktioner är *Jämförelse av Foamglas och massivt KL-trä mot betong sett ur ett klimatmässigt och ekonomiskt perspektiv – platta på mark* (Adolfsson & Yaku, 2022). Rapporten fokuserar på en betongplatta konstruerad med 100 millimeter betong och 300 millimeter cellplast. Det sammanlagda U-värdet för betongplattan presenteras som $0,079631 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Koljern-grunden i studien är baserad på en 300 millimeter tjock cellglasgrund. U-värdet för detta presenteras som $0,077683 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Även här syftar rapporten till att jämförelsen mellan de olika materialen är godtycklig eftersom U-värdena är likvärdiga. Dock har de två olika rapporterna använt olika indata vid beräkning, därför skiljer sig rapporternas siffror från varandra. I den sistnämnda rapporten har ytterväggar räknats in i U-värdeberäkningarna för grundkonstruktionen till skillnad från beräkningarna i den förstnämnda rapporten. Vid inkludering av väggar i beräkningen tillförs därför en stor del ytterligare isolering vilket ger ett betydligt lägre U-värde. Det är dock viktigt att poängtera att även om rapporterna skiljer sig mot varandra, är de ingående siffrorna för respektive grundkonstruktion likvärdiga i respektive rapport.

3. METOD

I följande kapitel presenteras de metoder som använts. Litteraturstudie beskrivs följt av det referensprojekt som använts i studien. Vidare förklaras arbetet av kostnads- och klimatdataanalys. Detta har gett underlag till jämförelsen mellan de olika grundkonstruktionerna i grön betong, traditionell betong och Koljern. Slutligen beskrivs hur data har behandlats och hur simulering har utförts. Detta för att beräkna kostnader och miljöpåverkan för respektive byggnadsmaterial.

3.1 Litteraturstudie

För att öka kunskapen inom ämnet och analysera tidigare forskning genomfördes en litteraturstudie. Syftet var att undersöka betonggrund samt Koljern-grund, även LCA och LCC för dess ingående material. Databasen Diva användes för att hitta relevanta och aktuella rapporter inom ämnet. För att hitta relevant material i databaserna användes kombinationer av sökord som LCA, LCC, Platta på mark, Betong, Foamglas, Cellglas, Koljern, Återbruk, EPD, Miljöpåverkan, Klimatförändring och Byggnader. Dessutom genomfördes manuella sökningar för att identifiera ytterligare relevanta artiklar och rapporter inom ämnesområdet. Dessa manuella sökningar baserades på referenslistor från de tidigare funna och valda rapporterna.

3.2 Fallstudie

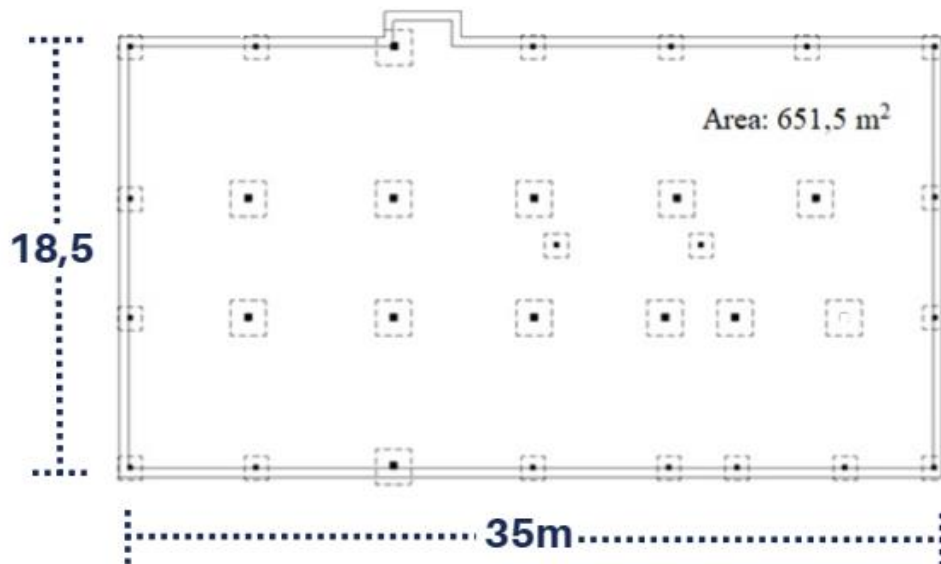
Studien applicerades på ett av Skanskas pågående projekt i Uppsala. Eftersom det var ett specifikt projekt gjordes avgränsningar i enlighet med angivna material och kostnader för den befintliga grundkonstruktionen. En kvalitativ metod tillämpades för att få en helhetsbild av projektet samt de olika grundalternativen. Informationen inhämtades genom litteraturstudie samt genom att rådfråga sakkunniga på Skanska AB och Evia AB.

Referensprojektet som användes i studien är en förskola, se figur 3.1. Förskolan är belägen i Gunsta, som ligger utanför Uppsalas stadskärna. Projektet är en del av ABCD-konceptet som Skanska tagit fram för att effektivisera kostnader och produktion. Förskolorna är dessutom redan upphandlade enligt Lagen om Offentlig Upphandling (Skanska, u.d.). Konceptet utgörs av att förskolorna är färdigprojekterade vilket bidrar till att leveransen kortas ner och därmed också byggprocessen. Detta är sett från första kontakt med kund till att förskolan är färdigställd.

Förskolan i Gunsta har en bruttoarea på 1312 kvadratmeter fördelat på två våningar. Konstruktionen utgörs av en stomme i trä med bärande stålpelare. Grunden är en platta på mark gjuten med Skanskas gröna betong, se figur 3.2. Produktionstiden för förskolan är cirka tolv månader. När förskolan står klar har den plats för 140 barn.



Figur 3. 1: Referensprojekt, förskola i Gunsta (Jensen förskola , u.d.)



Figur 3. 2: Illustration av plan 1 med markeringar för pelare

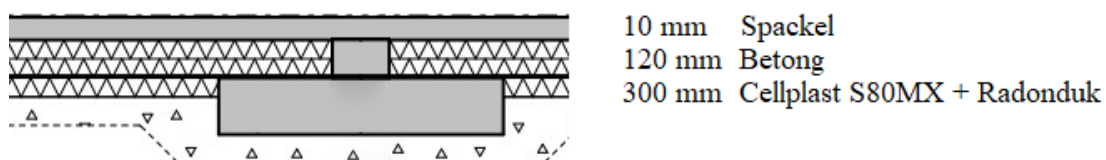
3.3. Ingående material

En projektspecifik kalkyl tillhandahölls av Skanska för att lista de material och mängder som använts till grundplattan i referensprojektet. Även arkitekt- samt konstruktionsritningar tillhandahölls. I figur 3.3 illustreras en genomskärning av den projektspecifika grundplattan för att få en bredare förståelse för konstruktionen. De ingående materialen i grundkonstruktionen för referensförskolan är:

- Grön betong C40/50
- Grön betong C55/67
- Radonduk
- Sockelelement
- Armeringsnät
- Armeringsjärn
- Undergjutningsbruk
- Spackel
- Plastfolie
- Cellplast S200MX
- Cellplast S80MX
- Plywood (kantform)
- Träre gel (avstängare)

I figur 3.3 visas materialen spackel, betong C40/50, tre skivor cellplast S80MX som är 100 millimeter vardera samt radonduk. I pelarfundament samt förstärkningar används betong med hållfasthetsklass C55/67. Sockelelementen är placerade längs med ytterkant på plattan. Armeringen är ingjuten i betongen för förstärkning, både i plattan och i fundamenten. Undergjutningsbruket används vid montering av pelare som understoppning för att korrigera höjdskillnader. Cellplast S200MX har använts under kantbalkar och fundament.

Plastfolie, plywood och träre gel är alla tre material som används vid byggnation, men dessa ingår inte i konstruktionen. Plastfolien används för att täcka betongen under uttorkningstiden. Plywood och träre glarna ingår i kantformen respektive avstängare som använts vid gjutning av betongen.

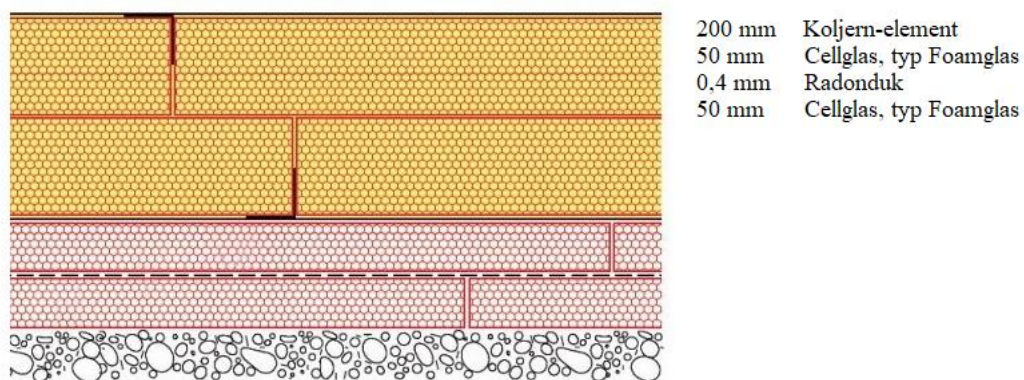


Figur 3. 3: Illustration av betonggrund i genomskärning med exempellösning av pelarfundament (Skanska, 2023)

I figur 3.4 visas en illustration av Koljern-grunden i genomskärning. De ingående materialen i konstruktionen är:

- Koljern-element (plåtlättbalkar och cellglas typ Foamglas T3+)
- Cellglas 50 millimeter
- Radonduk
- Cellglas 50 millimeter

För Koljern-grunden har litteraturstudien samt muntliga källor från tillverkare bekräftat vilka material som används vid byggnation. Konstruktionen som valts är en standardlösning från Evia AB som kan vara ett alternativ för modulförskolan.



Figur 3. 4: Illustration av Koljern-grund i genomskärning (Evia, u.d.)

3.4 Analys av klimatdata

För att utföra en LCA för de olika betonggrunderna samt Koljern-grunden krävdes tillgång till klimatdata för de olika materialen som ingår i vardera grundkonstruktion. Klimatdata för dessa material hämtades från EPD:er, se bilaga 1. Under arbetets gång granskades EPD:erna för att ta reda på koldioxidekvivalenter för varje material i respektive grundkonstruktion. Utifrån EPD:erna lästes GWP-total av för skede A1-A5 samt modul C. Detta värde var baserat på olika enheter och behövde därför räknas om för att överensstämja med referensprojektets mängder för respektive material. För att fastställa vilken leverantör som användes för respektive material i referensprojektet har arbetsledare kontaktats, alternativt andra sakkunniga inom området. Om ett material med angiven leverantör saknade EPD valdes ett likvärdigt material med tillgänglig EPD.

Värdet för skede A4, som visar koldioxidekvivalenter för transport mellan fabrik och byggarbetsplats, togs från både EPD:er samt Boverkets klimatdatabas, se bilaga 1. Detta gjordes då alla material inte hade redovisat siffror för skede A4 i sin EPD. Alla värden för skede A4 var baserade på en specifik sträcka och mängd i både EPD och klimatdatabasen. Mängderna som presenteras i EPD och klimatdatabas har oavsett enhet räknats om till vikt. Det avlästa värdet har därför dividerats med den angivna sträckan och vikten för att få ett värde på

Skede A4 som avser hur stor GWP-total materialet har för en kilometer och ett kilo. Slutligen har detta värde multiplicerats med projektspecifik sträcka och vikt för varje enskilt material.

Skede A5, som redovisar koldioxidekvivalenter för byggspill för respektive material, har i första hand lästs av från EPD. I de fall där ett material saknade värde för skede A5 användes även här generiska data från Boverkets klimatdatabas.

Värdet för C-modul har tagits fram för att kunna jämföra hur mycket koldioxid de olika konstruktionerna bidrar med i slutskedet. Slutskedet redovisar koldioxidutsläpp för demontering, transport, restproduktbehandling samt bortskaffning. För materialen har värdet för C1-C4 från respektive EPD lästs av.

3.4.1 Grön- respektive traditionell betong

För att utföra en LCA för bottenplattan i betong analyserades den givna projektspecifika kalkylen med material och mängder. Genom att kommunicera med arbetsledare vid förskolan i Gunsta gavs tillgång till information om vilka leverantörer som användes i projektet. Det var också nödvändigt att fastställa betongens specifika sammansättning vilket framgick av tilldelade följesedlar från projektet. I Bidcon-kalkylen strukturerades grundkonstruktionen in i flera grupper, vilket följde en liknande metodik som Skanska använde i sin projektkalkyl. Samtliga material som ingick i varje specifik grupp identifierades och relevant data överfördes manuellt från Skanskas projektkalkyl till den egna kalkylen i Bidcon. Därefter matades klimatdata in för byggskede A1-A3. Byggskede A4, A5 samt modul C räknades manuellt för respektive material. Då Skanskas betong inte hade något värde för C-modulen, valdes en annan EPD för en betong med samma hållfasthet.

Grundplattan består av identiska material i de båda betongalternativen. Det enda som skiljer dem åt är betongblandningen. De separeras därför i två olika kalkyler med olika GWP-total för grön- respektive traditionell betong.

3.4.2 Koljern-grund

För att utföra en LCA för bottenplattan med Koljern-grunden användes samma metod som för ovanstående konstruktioner.

Eftersom Koljern-grunden består av två olika material och inte har en sammansatt EPD räknades GWP-total fram baserat på en beräkningsmall som tillhandahållits av Niklas Holmqvist på Evia AB. I praktiken beräknas Koljern-elementen fram baserat på projektets ritning. Eftersom Skanskas specifika ritningar inte kunde delas med Evia AB har därför en generisk kalkylering gjorts med hjälp av den tillhandahållna beräkningsmallen. Uträkningen resulterade i en ungefärlig mängd Foamglasskivor respektive plåtlättbalkar som skulle kunna ingå i Koljern-grunden för referensprojektet. Vidare kunde värden från EPD för Foamglas respektive plåtlättbalk räknas fram baserat på mängderna som tagits fram med hjälp av beräkningsmallen.

Beräkning för skede A4 gjordes liksom betongen med hjälp av EPD:er och Boverkets klimatdatabas. Återigen har beräkningar för Koljern-grunden modifierats på grund av en avsaknad sammansatt EPD. GWP-total med avseende på skede A4 för Foamglas respektive plåtlättbalk har därför till en början beräknats separat likt metoden i tidigare avsnitt. De två olika värdena summerades och dividerades sedan med två för att få fram ett medelvärde. Värdet multiplicerades sedan med sträckan från Evia AB i Varberg till förskolan i Gunsta. Detta för att Varberg är platsen då de två olika materialen fogas samman och blir till Koljern-element.

Skede A5 för Koljern-grunden har beräknats likt tidigare avsnitt. Dock har skede A5 för Koljern-elementen beräknats med hjälp av skriftlig information av Niklas Holmquist på Evia AB. Eftersom Koljern-elementen är prefabricerade kan inte skede A5 för materialen som ingår i elementen beräknas endast baserat på EPD. Byggskedet A5 avser byggspill vid installation och eftersom ett prefabricerat element normalt inte genererar spill vid installation blir därför skede A5 i respektive EPD för ett Koljern-element felaktigt. Ett Koljern-element genererar dock en liten mängd spill eftersom det förekommer utskärningar vid exempelvis rördragning. Holmquist uppskattar detta spill till 0,5 – 1,0% av underliggande isolering. Detta för att mycket av det spill som förekommer i samband med utskärningar kan användas som tätning eller skickas tillbaka till fabriken för återvinning. Med detta som grund har en procentsats på 0,75% erhållits. En beräkning av 0,75% av lösliggande Foamglas gjordes och multiplicerades med data för skede A5 ur EPD:n för Foamglas. Därefter kunde ett sammantaget värde för skede A5 redovisas för Koljern-grunden.

Även för C-modul har beräkningarna separerats. Utifrån den angivna beräkningsmallen fanns redan ett uträknat resultat på specifika mängder för Foamglas respektive plåtlättbalk. Utifrån dessa värden kunde C-modul enkelt multipliceras med respektive mängd för att få fram GWP-total för C-modul.

3.4.3 Funktionell enhet

Helheten för varje grund kommer att redovisas i resultatet med avseende på kostnader och miljöpåverkan. Eftersom grundkonstruktionerna bestod av olika material som vanligtvis mättes i olika enheter, gjordes valet att använda den funktionella enheten som redovisades i respektive EPD för varje material.

Om enheten från EPD:en behövde anpassas räknades både mängden och redovisade koldioxidekvivalenter om för byggskede A1-A5 samt modul C. Detta gjordes med hjälp av en produktspecifik omvandlingsfaktor som lästes av i EPD alternativt med hjälp av tjocklek, densitet eller annat behjälpligt värde.

Då alla uträkningar för enskilda material genererade en total mängd för konstruktionen ansågs det inte nödvändigt att omvandla alla material till samma enhet. Då resultatet summerade alla värden och endast redovisades med kostnad i kronor och miljöpåverkan i koldioxidekvivalenter, är inte den funktionella enheten vid uträkning relevant. Vid jämförelse av två olika material var det ofta fördelaktigt att ha dem i samma enhet för att få en klarare bild,

till exempel en kvadratmeter cellplast jämfört med en kvadratmeter cellglas. Vid jämförelse av olika konstruktioner i helhet var detta dock av mindre värde eftersom jämförelsen utgör skillnader i koldioxidekvivalenter och kostnad för en hel konstruktion, och inte alla ingående material vardera för sig.

3.4.4 Avgränsningar

Data som avläses från EPD fokuserar endast på GWP-total i byggskede A1-A5 samt modul C. Koldioxidekvivalenter med avseende på skede A4, som redovisar transport, är avgränsade till sträcka mellan fabrik och byggarbetsplats. Sträckan är uppmätt enligt Google kartor med bil som förvald inställning. Transportsträckan är avgränsad till sträckor inom Sverige. I de fall där ett byggnadsmaterial importeras från utlandet har uppmätt transportsträcka startat vid tilltänkt gränspassage. Gällande skede A5 är all data begränsad till byggspill under installationstiden.

För uträkning av C-modul har valet gjorts att fokusera på de material som har överlägset mest mängd i respektive konstruktion. I betonggrunden ingår betong, armering samt cellplast i beräkningen. För Koljern-grunden inkluderas plåtlättbalkar samt cellglas. För betongen har valet gjorts att räkna all mängd betong som hållfasthetsklass C40/50. Grön- och traditionell betong har beräknats till samma värde på grund av otillräcklig information för grön betong.

3.5 Analys av kostnader

För att utföra en LCC för de olika grundtyperna har även här Bidcon använts som programvara för beräkning. Materialen hade tidigare kompletterats med mängder och klimatdata från EPD. För att genomföra LCC behövdes information om kostnaderna för materialen som används i de olika konstruktionerna. I modellen fylldes kostnad i för alla inkluderade material utifrån olika källor beroende på grundkonstruktion.

3.5.1 Grön- respektive traditionell betong

Utifrån den tilldelade kalkylen från Skanska kunde kostnader för respektive material läsas av och matas in i Bidcon-kalkylen. Även arbetare fanns dokumenterat. Kalkylen var beräknad med avseende på grön betong, även om förskolan var projekterad med traditionell betong till en början. Enda skillnaden i kalkylen är därför en tilläggskostnad för grön betong, något som var enkelt att avlägsna för kalkylen med avseende på traditionell betong. Detta för att resterade material är identiska i de två betongkonstruktionerna, men att den gröna betongen har ett dyrare inköpspris. Genom att verifiera att kostnadsuppskattningarna från projektkalkylen överensstämde med Bidcon-kalkylen kunde korrekta kostnadsberäkningar fastställas.

3.5.3 Koljern-grund

För att beräkna kostnaderna för Koljern-grunden krävdes expertis från Evia AB då de tillverkar Koljern-grunden baserat på beställarens ritning. En kostnad per enhet eller liknade finns därmed inte offentligt tillgänglig. Eftersom detaljerade ritningar inte kunde delas vidare beräknades även kostnaderna med hjälp av beräkningsmallen tillhandahållen av Niklas Holmquist på Evia AB. Dessa siffror avser pris för färdigmonterad konstruktion hos kund där

Skanska står som kund i detta fall. Kostnaderna för arbete grundades på Skanskas standardkostnader för arbetare. Beräkningsmallen redovisade arbetstidens längd för en kvadratmeter grund vilket kunde multipliceras med den totala arean för grundkonstruktionen.

3.5.4 Avgränsningar

Kostnadsberäkningarna tar endast hänsyn till de allra största materielgrupperna som anses utgöra en väsentlig skillnad för resultatet. I resultatet framgår endast kostnad av material och arbete. Samtliga värden är baserade på projektets kostnader under det specifika byggskedet alternativt marknadspriser för tidpunkten. Kostnadsanalysen avser endast skede A1-A3 samt A5, där skede A5 endast fokuserar på kostnad för arbetare. Kostnaden tar inte hänsyn till om kunden är ett företag eller en privatperson.

3.6 Validitet & reliabilitet

Reliabiliteten kan betraktas som god eftersom det fanns en konsekvent struktur vid utförandet av metoderna för de olika grundtyperna. Dessutom är författarnas inställning till ämnet neutral och har därav inget intresse att vinkla resultatet. Programvaror som har använts är etablerade på marknaden och företagen är seriösa. Företaget Electosoft, som ligger bakom programvaran Bidcon, har inte heller något intresse av att vinkla resultaten.

Då arbetet är avgränsat och anpassat till Skanskas förskoleprojekt i Gunsta, är resultatet av rapporten inte helt allmängiltiga. Därav kan extern validitet inte garanteras. Dock är Skanska verksam inom byggbranschen, som är en väletablerad stabil bransch, vilket medför stora likheter mellan olika bolag. Förskolan i Gunsta är som tidigare nämnt byggd med grön betong i bottenplattan. Eftersom majoriteten av nybyggnationerna i Sverige använder sig av traditionell betong gjordes valet att involvera även detta material i jämförelsen. Resultatet blir då bredare och kan appliceras och jämföras med flertalet andra byggnader.

3.7 Etiska ställningstaganden

Under arbetets gång har Skanska bistått med projektspecifikt underlag såsom ritningar, kostnadskalkyler och generella klimatberäkningar. Denna information ägs av Skanska och har inte varit tillåten att sprida till andra aktörer i större utsträckning. I forskningsarbetet har en mängd olika företag kontaktats i förhoppning om att kunna tillhandahålla ytterligare information som varit relevant inom ämnet. Denna kontakt har då reglerats med hjälp av generella siffror alternativt renderade ritningar för att inte sprida sekretessbelagda dokument vidare. Dessutom har en tät kontakt erhållits mellan studenter och handledare på Skanska för att säkerställa vad som anses vara acceptabelt att publicera i rapporten. Exempelvis har en egen kostnadskalkyl för referensprojektet skapats. Kalkylen redovisar identiska kostnader likt Skanskas kostnadskalkyl, dock utan att avslöja detaljerad information.

Alla aktörer som kontaktats under arbetet har informerats om kontaktens syfte och mål. Personer som tillhandahållit viktig information för studien har även tillfrågats om godkännande för publicering av personuppgifter samt benämning av titel. Personer involverade i arbetet har

även fått läsa igenom rapporten för godkännande innan publicering. Detta för att säkerställa att rätt information angivits samt att informationen har uppfattats korrekt.

Ämnet fokuserar på en jämförelse mellan två grundläggningsmetoder. Även i denna aspekt har etiken lyfts fram för att poängtera skillnader som uppstår gällande materialval i en grundkonstruktion. Exempelvis tillverkas Foamglas i Tyskland. Detta kan leda till längre transportsträckor. Dessutom gynnar Foamglas då tysk arbetskraft i stället för svensk. Idag transporteras Foamglas med lastbil. Enligt Niklas Holmquist på Evia AB vill Foamglas utveckla sina transportmetoder till att börja transportera material med tåg. För att detta ska bli ekonomiskt hållbart behöver dock Foamglas bredda sitt varumärke och nå ut till fler intressenter än vad de gör idag. Dilemmat är alltså att kunskapen om Foamglas är låg och inköpspriset är relativt högt. På grund av de höga priserna väljer kunden därför alternativa material som är mer bekanta, och till ett lägre pris. Detta resulterar slutligen i att Foamglas lastbilstransporter kvarstår trots att det är ett sämre alternativ ur ett klimatperspektiv. Betongen kan därför anses som ett etiskt bättre alternativ endast sett till transporter och arbetskraft. Däremot anses Foamglas bistå med en betydligt säkrare arbetsmiljö under monteringen på byggarbetsplatsen. Vid arbete med Foamglas bortfaller exempelvis risken för att snubbla på armeringsstänger eller att få vibrationskador. Detta är däremot vanligt förekommande vid arbete med betong.

4. RESULTAT

I följande kapitel presenteras det resultat som studien kommit fram till. Både ur ett miljö- och kostnadsperspektiv. Resultatet för de tre olika grundkonstruktionerna i traditionell betong, grön betong och Koljern-grund redovisas. GWP-total presenteras för de olika byggskedena för att sedan kunna jämföra de totala utsläppen för byggskede A1-A5 samt modul C. Relevant data från Bidcon samt uträknad data med hjälp av EPD:er och generisk klimatdata redovisas. Alla tabeller och figurer som redovisas i följande kapitel är illustrerade och skapade av författarna till rapporten.

4.1 Miljöpåverkan

I tabell 4.1 redovisas GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för grundkonstruktion i grön betong. Värdena är hämtade från EPD och har sedan räknats om utefter projektspecifika mängder för respektive material.

Tabell 4. 1: Redovisning GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för grön betong. *All armering är summerad.

Material	Mängd	Enhet	GWP-total A1-A3 per enhet [kg CO ₂ e]	GWP-total A1-A3 [kg CO ₂ e]	GWP-total A5 per enhet [kg CO ₂ e]	GWP-total A5 [kg CO ₂ e]
Grön betong C40/50	84,91	m ³	240	20 378,4	9,72	825,33
Grön betong C55/67	20,5	m ³	300	6150	12,03	246,65
Radonduk	649	m ²	1,25	811,25	0,19	124,61
Sockelelement	110	m	14,50	1595,55	1,3·10 ⁻²	1,44
Armeringsnät	601,31	m ²	21,45	12 899,42	*	*
Armeringsjärn	2119,72	kg	0,39	843,65	0,17	456,29
Undergjutningsbruk	352,71	kg	0,39	136,15	1,42·10 ⁻⁴	0,05
Spackel	657	m ²	0,21	140,79	1,93·10 ⁻²	12,71
Plastfolie	661,5	m ²	0,21	141,56	2,16·10 ⁻²	14,29
Cellplast S200MX	119,77	m ²	7,86	940,88	3,59·10 ⁻²	4,29
Cellplast S80MX	1847,31	m ²	4,31	7958,30	1,85·10 ⁻²	34,22
Plywood (kantform)	1,37	m ³	-704,56	-965,25	4,22	5,78
Träre gel (avstängare)	0,44	m ³	-1447,56	-326,92	6,68	2,94
				Total: 50 704		Total: 1729

I tabell 4.2 redovisas GWP-total för skede A4 för grundkonstruktion i grön betong. Värdena är hämtade från EPD alternativt Boverkets klimatdatabas och har räknats om utefter projektspecifik sträcka och vikt för respektive material.

Tabell 4. 2: Redovisning GWP-total för skede A4 för grön betong med projektspecifik sträcka och vikt

Material	A4 km per kg [kg CO ₂ e]		Vikt [kg]	Sträcka [km]	GWP-total A4 [kg CO ₂ e]
	EPD	Boverkets klimatdatabas			
Grön betong	$1,18 \cdot 10^{-4}$		252 432	22,1	659,12
Radonduk	$4,98 \cdot 10^{-4}$		250,51	57,6	7,18
Sockelelement	$1,74 \cdot 10^{-4}$		874,50	450,0	68,39
Armering	$1,57 \cdot 10^{-1}$		6149,48	101,0	97,7
Unergjutningsbruk	$8,73 \cdot 10^{-5}$		352,71	80,1	2,47
Spackel	$8,73 \cdot 10^{-5}$		1145,38	80,1	8,01
Plastfolie		$7,37 \cdot 10^{-5}$	67,47	823,0	42,11
Cellplast S200MX		$7,36 \cdot 10^{-5}$	368,31	57,6	1,56
Cellplast S80MX		$7,36 \cdot 10^{-5}$	3128	57,6	13,27
Plywood (kantform)		$6,12 \cdot 10^{-2}$	641,19	32,9	2,01
Träregel (avstängare)		$8,32 \cdot 10^{-5}$	216,154	32,9	0,59
					Total: 902

I tabell 4.3 redovisas GWP-total för modul C för grundkonstruktion i grön betong. Värdena är hämtade från EPD och har räknats om utefter projektspecifika mängder för respektive material. Resultatet baseras på de största materielgrupperna i konstruktionen.

Tabell 4. 3: Redovisning GWP-total C-modul för grön betong

Material	Mängd	Enhet	GWP-total per enhet C-modul, [kg CO ₂ e]	GWP-total C-modul, [kg CO ₂ e]
Betong	105,41	m ³	31,9	3362,58
Armering	6,15	ton	22,35	137,44
Cellplast S80MX	1847,31	m ²	5,24	9679,90
Cellplast S200MX	119,77	m ²	9,85	1179,17
				Total: 14 359

I tabell 4.4 redovisas GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för grundkonstruktion i traditionell betong. Värdena är hämtade från EPD och har sedan räknats om utefter projektspecifika mängder för respektive material.

Tabell 4. 4: Redovisning GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för traditionell betong. *All armering är summerad.

Material	Mängd	Enhet	GWP-total A1-A3 per enhet [kg CO ₂ e]	GWP-total A1-A3 [kg CO ₂ e]	GWP-total A5 per enhet [kg CO ₂ e]	GWP-total A5 [kg CO ₂ e]
Traditionell betong C40/50	84,91	m ³	330	28 019,8	12,89	1094,32
Traditionell betong C55/67	20,5	m ³	425	8712,5	15,95	326,91
Radonduk	649	m ²	1,25	811,25	0,19	124,61
Sockelelement	110	m	14,50	1595,55	1,3·10 ⁻²	1,44
Armeringsnät	601,31	m ²	21,45	12 899,42	*	*
Armeringsjärn	2119,72	kg	0,39	843,65	0,17	456,29
Undergjutningsbruk	352,71	kg	0,39	136,15	1,42·10 ⁻⁴	0,05
Spackel	657	m ²	0,21	140,79	1,93·10 ⁻²	12,7
Plastfolie	661,5	m ²	0,21	141,56	2,16·10 ⁻²	14,29
Cellplast S200MX	119,77	m ²	7,86	940,88	3,59·10 ⁻²	4,29
Cellplast S80MX	1847,31	m ²	4,31	7958,30	1,85·10 ⁻²	34,22
Plywood (kantform)	1,37	m ³	-704,56	-965,25	4,22	5,78
Trärege l (avstängare)	0,44	m ³	-1447,56	-326,92	6,68	2,94
				Total: 60 908		Total: 2078

I tabell 4.5 redovisas GWP-total för skede A4 för grundkonstruktion i traditionell betong. Värdena är hämtade från EPD alternativt Boverkets klimatdatabas och har räknats om utefter projektspecifik sträcka och vikt för respektive material.

Tabell 4. 5: Redovisning GWP-total för skede A4 för traditionell betong med projektspecifik sträcka och vikt

Material	GWP-total km per kg [kg CO ₂ e]		Vikt [kg]	Sträcka [km]	GWP-total A4 [kg CO ₂ e]
	EPD	Boverket klimatdatabas			
Traditionell betong	$1,18 \cdot 10^{-4}$		252 432	22,1	659,12
Radonduk	$4,98 \cdot 10^{-4}$		250,51	57,6	7,18
Socketelement	$1,74 \cdot 10^{-4}$		874,50	450,0	68,39
Armering	$1,57 \cdot 10^{-1}$		6149,48	101,0	97,72
Undergjutningsbruk	$8,73 \cdot 10^{-5}$		352,71	80,1	2,47
Spackel	$8,73 \cdot 10^{-5}$		1145,38	80,1	8,01
Plastfolie		$7,37 \cdot 10^{-5}$	67,47	823,0	42,11
Cellplast S200MX		$7,36 \cdot 10^{-5}$	368,31	57,6	1,56
Cellplast S80MX		$7,36 \cdot 10^{-5}$	3128	57,6	13,27
Plywood (kantform)		$6,12 \cdot 10^{-2}$	641,19	32,9	2,01
Träregel (avstängare)		$8,32 \cdot 10^{-5}$	216,15	32,9	0,59
					Totalt: 902

I tabell 4.6 redovisas GWP-total för modul C för grundkonstruktion i traditionell betong. Värdena är hämtade från EPD och har räknats om utefter projektspecifika mängder för respektive material. Resultatet baseras på de största materielgrupperna i konstruktionen.

Tabell 4. 6: Redovisning GWP-total C-modul för traditionell betong

Material	Mängd	Enhet	GWP-total per enhet	GWP-total C
			C-modul [kg CO ₂ e]	[kg CO ₂ e]
Betong	105,41	m ³	31,9	3362,58
Armering	6,15	ton	22,35	137,44
Cellplast S80MX	1847,31	m ²	5,24	9679,90
Cellplast S200MX	119,77	m ²	9,85	1179,17
				Total: 14 359

I tabell 4.7 redovisas GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för Koljern-grund. Värdena är hämtade från EPD och har sedan räknats om utefter projektspecifika mängder för respektive material.

Tabell 4. 7: Redovisning GWP-total för skede A1-A3 samt A5 för Koljern-grund

Material	Mängd	Enhet	GWP-total per enhet [kg CO ₂ e]	GWP-total	GWP-total	GWP-total A5
				A1-A3 [kg CO ₂ e]	per enhet [kg CO ₂ e]	[kg CO ₂ e]
Radonduk	649	m ²	1,25	811,25	0,19	124,61
Koljern-grund	651.5	m ²	57,87	37 702,31	8,73·10 ⁻³	5,69
Utskärning av Foamglas hissgröp	-2.44	m ²	0,30	-0,74		-
Tjälisolering	54,72	m ²	0,61	33,41	1,17	63,94
				Total: 38 546		Total: 194

I tabell 4.8 redovisas GWP-total för skede A4 för Koljern-grund. Värdena är hämtade från EPD och har räknats om utefter projektspecifik sträcka och vikt för respektive material.

Tabell 4. 8: Redovisning GWP-total för skede A4 för Koljern-grund med projektspecifik sträcka och vikt

Material	A4 från EPD [kg CO ₂ e]	Vikt [kg]	Sträcka [km]	GWP-total A4 [kg CO ₂ e]
Radonduk	$4,98 \cdot 10^{-4}$	250,51	57,6	7,18
Koljern-grund	*	22 082,05	552	224,99
Tjälisolering Foamglas	$8,46 \cdot 10^{-5}$	519,84	697	30,65
				Total: 263

I tabell 4.9 redovisas GWP-total för modul C för Koljern-grund. Värdena är hämtade från EPD och har räknats om utefter projektspecifika mängder för respektive material. Resultatet baseras på de största materielgrupperna i konstruktionen.

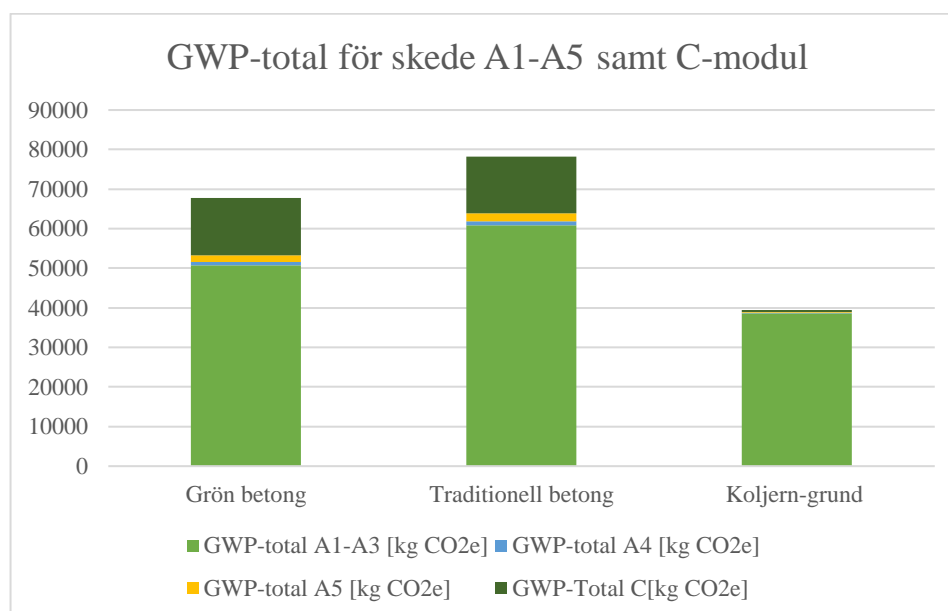
Tabell 4. 9: Redovisning GWP-total C-modul för Koljern-grund

Material	Mängd	Enhet	GWP-total per enhet C-modul [kg CO ₂ e]	GWP-total C-modul [kg CO ₂ e]
Plåtåttbalkar	4169,95	kg	$1,65 \cdot 10^{-2}$	68,80
Foamglas T3+	17 912,4	kg	$2,02 \cdot 10^{-2}$	362,67
				Total: 431

De sammanställda resultaten av GWP-Total för de undersökta grundtyperna presenteras i kilogram koldioxidekvivalenter för hela grundplattan på 651.5 kvadratmeter. Resultaten inkluderar skedena A1 – A5 samt modul C. För att se de olika stadierna och tillhörande moduler, se tabell 2.1. Tabell 4.10 innehåller en redovisning av samtliga undersökta grundkonstruktioner med tillhörande koldioxidutsläpp från fossila källor. Uträkningarna genererade i 67 694 kilo koldioxidekvivalenter för en grundkonstruktion med grön betong, 78 247 för traditionell betong och 39 434 för Koljern-grund. Resultatet presenteras även i form av stapeldiagram för att få en visuell bild av samma värden som presenteras i tabellen, se figur 4.1.

Tabell 4. 10: Redovisning av resultat i [kg CO₂e] för skede A1-A5 samt C

	GWP-total A1-A3 [kg CO₂e]	GWP-total A4 [kg CO₂e]	GWP-total A5 [kg CO₂e]	GWP-total C [kg CO₂e]	GWP-total A1-A5 + C [kg CO₂e / m²]	GWP-total A1-A5 + C [kg CO₂e]
Grön betong	50 704	902	1729	14 359	104	67 694
Traditionell betong	60 908	902	2078	14 359	120	78 247
Koljern- grund	38 546	263	194	431	61	39 434



Figur 4. 1: Stapeldiagram som redovisar kg koldioxidekvivalenter för respektive grundkonstruktion

4.2 Kostnad

I tabell 4.11 redovisas totalkostnad för skede A1-A3 för grundkonstruktion i grön betong. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnadskalkyl för referensprojektet.

Tabell 4. 11: Redovisning kostnad i kronor för material i skede A1-A3 för grund med grön betong

Material	Mängd	Enhet	Kostnad per enhet [kr]	Kostnad [kr]
Traditionell betong C40/50	84,91	m3	2005,01	170 245,69
Traditionell betong C55/67	20,5	m3	2128,76	43 639,62
Radonduk	649	m2	108,7	70 546,30
Socketelement	110	m	309,9	34 088,56
Armeringsnät	601,31	m2	104,21	84 310,04
Armeringsjärn	2119,72	kg	23,14	49 053,2
Undergjutningsbruk	352,71	kg	6,45	2274,98
Spackel	657	m2	28,52	18 737,64
Plastfolie	661,5	m2	12,2	8070,3
Cellplast S200MX	119,77	m2	131,82	15 788,46
Cellplast S80MX	1847,31	m2	81,43	150 423,41
Plywood (kantform)	1,37	m3	18 874,01	25 857,4
Träregel (avstängare)	0,44	m3	12 040,91	5298
				Total: 678 334

I tabell 4.12 redovisas övriga kostnader för skede A1-A3 för grundkonstruktion i grön betong. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnadskalkyl för referensprojektet.

Tabell 4. 12: Redovisning kostnad i kronor för övriga kostnader i skede A1-A3 för grund med grön betong

Övriga kostnader	Kostnad [kr]
Grön betong, dyrare inköp	10 000
Socketelement, dyrare inköp	10 000
Offert svetsade armeringskonstruktioner	10 934
Armering, dyrare inköp	52 938
Cellplast, dyrare inköp	104 500
	Total: 188 372

I tabell 4.13 redovisas kostnader för arbetare för skede A5 för grundkonstruktion i grön betong. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnadskalkyl för referensprojektet.

Tabell 4. 13: Redovisning kostnad i kronor för arbetare i skede A5 för grund med grön betong

Arbetare	Kostnad [kr]
Betongarbetare	61 048,34
Betongarbetare montage plinthskaft	9428,02
Betongarbetare tillägg för utförande	6440,7
Yrkesarbetare	887,61
	Total: 77 805

I tabell 4.14 redovisas total kostnad för skede A1-A3 för grundkonstruktion i traditionell betong. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnads kalkyl för referensprojektet.

Tabell 4. 14: Redovisning kostnad i kronor för material i skede A1-A3 för grund med traditionell betong

Material	Mängd	Enhet	Kostnad per enhet [kr]	Kostnad [kr]
Traditionell betong C40/50	84,91	m ³	2005,01	170 245,69
Traditionell betong C55/67	20,5	m ³	2128,76	43 639,62
Radonduk	649	m ²	108,7	70 546,30
Socketelement	110	m	309,9	34 088,56
Armeringsnät	601,31	m ²	104,21	84 310,04
Armeringsjärn	2119,72	kg	23,14	49 053,2
Undergjutningsbruk	352,71	kg	6,45	2274,98
Spackel	657	m ²	28,52	18 737,64
Plastfolie	661,5	m ²	12,2	8 070,3
Cellplast S200MX	119,77	m ²	131,82	15 788,46
Cellplast S80MX	1847,31	m ²	81,43	150 423,41
Plywood (kantform)	1,37	m ³	18 874,01	25 857,4
Träregel (avstängare)	0,44	m ³	12 040,91	5298
				Total: 678 334

I tabell 4.15 redovisas övriga kostnader för skede A1-A3 för grundkonstruktion i traditionell betong. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnad för arbetare.

Tabell 4. 15: Redovisning kostnad i kronor för övriga kostnader i skede A1-A3 för grund med traditionell betong

Övriga kostnader	Kostnad [kr]
Socketelement, dyrare inköp	10 000
Offert svetsade armeringskonstruktioner	10 934
Armering, dyrare inköp	52 938
Cellplast, dyrare inköp	104 500
Total: 178 372	

I tabell 4.16 redovisas kostnader för arbetare för skede A5 för grundkonstruktion i traditionell betong. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnadskalkyl för referensprojektet.

Tabell 4. 16: Redovisning kostnad i kronor för arbetare i skede A5 för grund med traditionell betong

Arbetare	Kostnad [kr]
Betongarbetare	61 048,34
Betongarbetare montage plinthskaft	9428,02
Betongarbetare tillägg för utförande	6440,7
Yrkesarbetare	887,61
	Total: 77 805

I tabell 4.17 redovisas totalkostnad för skede A1-A3 för Koljern-grund. Värdena är hämtade från beräkningsmall tillhandahållen av Evia AB.

Tabell 4. 17: Redovisning kostnad i kronor för material i skede A1-A3 för Koljern-grund. *Inkluderad i priset för Koljern-grund.

Material	Mängd	Enhet	Kostnad per enhet [kr]	Total kostnad [kr]
Radonduk	649	m ²	*	*
Koljern-grund	651,5	m ²	2729,99	1 778 594.75
Utskärning av cellglas hissgröp	-2,44	m ²	-250	-610
Tjälisolering	54,72	m ²	499	27 305,28
				Total: 1 805 289

I tabell 4.18 redovisas kostnader för arbetare för skede A5 för Koljern-grunden. Värdena är hämtade från Skanskas interna kostnad för arbetare.

Tabell 4. 18: Redovisning kostnad i kronor för arbetare i skede A5 för Koljern-grund

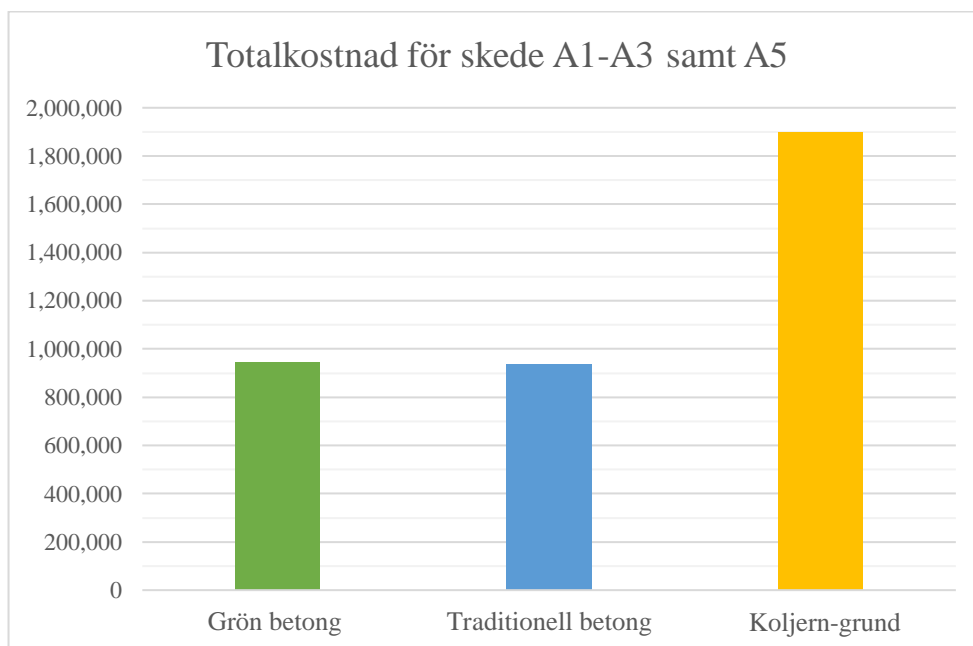
Arbetare	Kostnad [kr]
Arbetare	92 839
	Total: 92 839

De sammanställda resultaten av kostnader för de undersökta grundtyperna presenteras i kronor för hela grundplattan med avgränsningar. Resultaten inkluderar kostnader för skedena A1 – A3 samt A5.

Tabell 4.19 innehåller redovisning av samtliga undersökta grundkonstruktioner med tillhörande totalkostnad. Beräkningarna genererade i 944 510 kronor för en grundkonstruktion i grön betong, 934 510 kronor för traditionell betong och 1 898 128 kronor för Koljern-grund. Resultatet presenteras även i form av stapeldiagram för att få en visuell bild av samma värden, se figur 4.2.

Tabell 4. 19: Redovisning av resultat i kronor för skede A1-A3 samt A5

	Kostnad A1-A3 samt A5 per m²	Total kostnad A1-A3 samt A5
Grön betong	1450 kr	944 511 kr
Traditionell betong	1434 kr	934 511 kr
Koljern-grund	2913 kr	1 898 128 kr



Figur 4. 2: Stapeldiagram som redovisar kostnader i kronor för respektive grundkonstruktion

5. ANALYS & DISKUSSION

I detta kapitel utförs en analys av studien med utgångspunkt i det teoretiska ramverket och den data som utgör grunden för resultatet. Svar på samtliga frågeställningar presenteras samt en återkoppling till studiens syfte. Dessutom diskuteras resultatet samt fördelar och nackdelar med valen av de olika metoderna.

5.1 Analys av resultat

Traditionell betong är som tidigare nämnt en större klimatbelastning. Rapporten gynnas av jämförelsen trots att referensförskolan är byggd med grön betong då många andra byggnader fortfarande använder sig av traditionell betong i dagens läge. Resultatet blir därmed enklare att applicera på andra byggnader.

Rapporten grundar sig i syftet med två tillhörande frågeställningar. Första delen av syftet har varit att ta fram underlag för att utreda huruvida Koljern-grund är ett bra alternativ till betong som grundkonstruktion. Syftet har uppnåtts då ett relevant resultat presenterats. För att godtyckligt kunna jämföra de olika grundtyperna med varandra har antagandet gjorts att U-värdena för de olika grundkonstruktionerna är likvärdiga. Detta har kunnat göras i enlighet med tidigare forskning. Eftersom tidigare rapporter visar att U-värdena är relativt lika mellan Koljern-grunden och betonggrunden kan därför ett antagande om likvärdiga U-värden fastställas för denna studie. Detta för att utformningen av respektive grundkonstruktion från rapporterna är likvärdiga utformningen av grundkonstruktionerna i denna studie. Resultaten rapporten presenterar kan användas av företag eller beställare som själva kan avgöra om en Koljern-grund är ett bra alternativ för sitt projekt. Då olika projekt har olika krav när det gäller utsläpp, ekonomi, arbetstid med mera är det inte rimligt att med underlag från rapporten konstatera att Koljern-grunden är ett allmänt bättre alternativ.

Sett till spill av material har Koljern-grunden överlägset lägst andel spill vid installation. Detta beror främst på att Koljern-elementen är prefabricerade och tillverkade enligt projektspecifika mått. Genom att använda sig av prefabricerade element minskas spill eftersom det redan vid produktion är kalkylerat hur mycket materialåtgång som krävs.

I resultatet framgår det att C-modulen för Koljern-grunden är avsevärt lägre i jämförelse med grundkonstruktionerna i betong. I en betongkonstruktion är det betongen och cellplasten som är bidragande till den höga siffran, dock är det tydligt att cellplasten bidrar mest. Detta beror på att i princip all cellplast förbränns. Koljern-grundens restproduktsbehandling ser väldigt annorlunda ut då inget av de ingående materialen förbränns eller elimineras. Både cellglaset och plåtlättbalkarna går att återbruka alternativt återvinna. Resultatet kan även bero på att cellglaset och plåtlättbalkarna enkelt kan demonteras då de inte är förankrade i marken eller sammangjutna på något vis. Betongen är däremot fastgjuten vilket kräver betydligt mer arbete vid demontering.

I de fall där snabbare byggtid är prioriterat kan en Koljern-grund vara av intresse eftersom intäkterna kommer in snabbare om byggnaden kan starta sin verksamhet tidigare. Enligt den tidigare forskningen skiljer det 23 dagar i produktionstid mellan en betong- och Koljern-grund sett till en grundplatta på 100 kvadratmeter. Detta betyder att kostnader för exempelvis byggmaskiner, arbetare och etablering skiljer sig i och med att kostnaden blir förlängd vid en längre byggtid. För stora projekt med större dimensioner kommer denna kostnad att vara ännu mer påtaglig. Att markarbetet inför grundläggningens start ser identiskt ut för de olika grundkonstruktionerna är ytterst fördelaktigt då detta gör jämförelsen ännu tydligare.

Det är viktigt att ta i beaktning att kostnaden för en Koljern-grund är baserad på en beräkningsmall som riktar sig till slutkund, som i detta fall är Skanska själva. Detta skiljer sig från betonggrunden som är beräknad på Skanskas interna produktionskostnad. Eftersom Evia AB och Skanska inte har en etablerad relation i dagens läge är det därför svårt att räkna fram en rättvis prisbild för Koljern-grunden. I denna studie antas det att Skanska köper in en Koljern-grund likt ett prefabricerat element och sedan adderar en schablon-marginal på sin slutgiltiga konstruktion. Detta resulterar i en jämförelse som inte är fullt applicerbar i verkligheten eftersom inköpskostnaden för en Koljern-grund förmodligen skulle vara lägre om det fanns specifika avtal företagen emellan.

Även om denna studie är avgränsad till transportsträckor inom Sverige är det en relevant jämförelse mellan materialens klimatavtryck med avseende på transport. Koljern-grunden väger betydligt mindre och har därför ett lägre klimatavtryck i jämförelse med betong trots att färdsträckan för betong är betydligt kortare i detta fall. Ur denna aspekt är det därför inte alltid riktigt att argumentera för att material med kortast transportsträcka är det mest fördelaktiga eftersom utsläppens påverkan i sin helhet beror på total sträcka i kombination med total vikt.

En väsentlig del i rapporten är återbruksmöjligheterna för de olika materialen. Det är ett aktuellt ämne som bör värderas högre i samband med kostnadsfrågan. Det faktum att betongen är svår att demontera och återbruka medan Koljern-grunden är betydligt enklare är ett intressant ställningstagande. I teorin kan Koljern-grunden med fördel användas igen om 100 år utan försämrad kvalitet. Detta borde ligga i företagets intresse inför val av material. Ett material som är dyrare i inköpspris kan eventuellt löna sig på sikt om det går att demontera och återbrukas flertalet gånger. Dessutom är det en stor miljövinst.

Hur skiljer sig en Koljern-grund mot en betonggrund i byggskede A1-A5 samt modul C med avseende på koldioxidutsläpp?

Koljern-grunden har 28 260 färre koldioxidekvivalenter i jämförelse med grön betong, detta motsvarar en skillnad på närmare 42%. Koljern-grunden har 38 813 färre koldioxidekvivalenter än traditionell betong, vilket motsvarar en skillnad på närmare 50%. Slutligen har grön betong 10 553 färre koldioxidekvivalenter i jämförelse med traditionell betong, vilket motsvarar närmare 13% skillnad.

Hur skiljer sig en Koljern-grund mot en betonggrund i byggskede A1-A3 samt A5 med avseende på kostnad?

Koljern-grunden är 953 617 kronor dyrare i jämförelse med grön betong, detta motsvarar en skillnad på närmare 101%. Koljern-grunden är 963 617 kronor dyrare i jämförelse med traditionell betong, vilket motsvarar en skillnad på närmare 103%. Slutligen är grön betong 10 000 kronor dyrare i jämförelse med traditionell betong vilket motsvarar en skillnad på närmare 1%.

5.2 Metoddiskussion

Under rapportens gång har flera olika metoder använts. Metoderna har utvecklats under tid. Vid arbetets start gjordes en noga övervägning över vilka metoder som skulle användas och vilka programvaror som skulle vara involverade. Med hjälp av handledare och sakkunniga inom området kunde beräkningsunderlag och andra tillvägagångssätt implementeras ytterligare.

5.2.1 Referensprojekt

Förskolan i Gunsta valdes som referensbyggnad då den är byggd med tekniken platta på mark i betong. En platta på mark i betong har en likvärdig process för markförberedelse som Koljern-grund. Kraven på mark är också liknande. Förskolan i Gunsta var även en byggnad av rimlig storlek för en Koljern-grund. Valet av Gunsta som referensprojekt gjordes även för att förskolan är en del av Skanskas modulförskolor vilket innebär att sannolikheten är hög för att en identisk byggnad kommer att byggas igen. Därav var det av intresse för Skanska att utvärdera och undersöka möjligheten för ett mer miljövänligt alternativ, om framtida beställare skulle önska det. Då referensprojektet redan var i byggnadsskedet under forskningsarbetet var det ett bra val då det fanns mycket dokumentation om byggnaden. Det fanns också sakkunniga som arbetade på projektet under tiden som kunde ge värdefull vägledning. I efterhand hade det dock varit bra att välja en byggnadskonstruktion utan pelarlaster eftersom Koljern-grunden inte hanterar detta lika bra som en bottenplatta i betong. Materialet som ingår i pelarlösningarna har i denna studie summerats med stommen och därmed avgränsats från rapporten. Dock är det viktigt att ha i åtanke att pelarna faktiskt existerar och kommer att påverka grundkonstruktionen om grunden byts ut till Koljern-grund i detta projekt. Som tidigare nämnt finns det olika pelarlösningar att komplettera med för att uppnå en duglig konstruktion trots förekommande punktlaster.

5.2.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien spelade en avgörande roll eftersom den gav grundläggande förståelse och kunskap om de material som senare analyserades. Dessutom bidrog litteraturstudien med kunskap om de två metoderna LCA och LCC som senare användes för att analysera miljöpåverkan och kostnader. Litteraturstudien skapade även en förståelse kring tidigare forskning och gav en bild av rimliga och trovärdiga resultat. Resultat från tidigare forskning gav en grund för att kunna analysera studiens trovärdighet samt resultat.

Att hitta bra information om de olika grundteknikerna var av varierande svårighetsgrad. Koljern-tekniken är relativt ny och inte standard att välja vid nybyggnation av en husgrund. Detta gjorde att vetenskapliga undersökningar samt relevant och opartisk information om materialen var begränsad. Tillgång till information om betong var god då betong länge varit ett självklart val för husgrunder.

5.2.3 LCA & LCC

Vid projektstart valdes en annan programvara för att kunna genomföra LCA och LCC. Denna programvara var One Click LCA. Eftersom One Click LCA inte kunde tillgodose projektspecifik data beslutades därför att eftersöka en ny programvara. Valet av Bidcon fastlogs och simuleringen kunde därmed genomföras mer specifikt. I efterhand är det rimligt att reflektera kring om valet av andra programvaror hade kunnat underlätta ytterligare. En programvara som undersöktes under samma tidsperiod var Byggsektorns beräkningsverktyg BM. Detta verktyg hade kunnat bidra med ytterligare beräkningsmallar för att underlätta processen. Dessvärre lyckades inga programlicenser tillhandahållas i tid och Bidcon fick därmed anses som godtyckligt.

I allmänhet har LCC och LCA ansetts som de enda rimliga metoderna för att beräkna kostnader och koldioxidutsläpp. Om mer tid och erfarenheter hade funnits hade det varit önskvärt med färre avgränsningar för att kunna få en bredare helhetsbild.

5.2.4 Datanalys

Genom att utgå från ett referensprojekt med tillhörande dokumentation och data har möjligheten funnits att relativt enkelt jämföra kostnader för betong. Dock har det varit utmanande att fastställa korrekt klimatdata, eftersom inte alla material som användes i projektet hade en tillgänglig EPD. Som ett resultat har antaganden behövt göras genom att ersätta dessa material med liknande alternativ. Dessa antaganden kan leda till variationer i klimatavtrycket och introducera flera felkällor. Koljern-grunden har beräknats baserat på generella data. Detta bedömdes vara det enda rimliga alternativet på grund av begränsningar beträffande spridning av detaljerad information om projektet. Det har reflekterats över möjligheten att dela information om ytor och inkludera värden för laster till Evia AB. Detta skulle ha kunnat ge en mer realistisk bild av materialfördelningen i Koljern-grunden utan att avslöja ritningar eller viktig information om Skanskas projekt.

Eftersom en betydande del av informationen om Koljern-grunden är baserad på muntliga möten med vice VD på Evia AB, är det rimligt att ifrågasätta informationens objektivitet. Det är naturligt att Evia AB strävar efter att marknadsföra sig som ett bättre alternativ till betong. Särskilt med tanke på att de är den enda tillverkaren av denna typ av grundkonstruktion. Ett betydande tidsåtagande har gjorts för att försöka etablera kontakt med olika aktörer som arbetar med Koljern-grund och Foamglasisolering. Försök har också gjorts att nå olika projekt som har använt Koljern-grund för att få en bredare förståelse för arbetet och resultaten. Tyvärr har få

parter responderat, vilket har gjort det svårt att jämföra olika källor. Det hade naturligtvis varit mer givande att ta del av olika perspektiv på Koljern-grunden från flera olika parter. Dock anses källan vara högst trovärdig då tidigare forskning indikerar på liknande resultat.

Källorna som har använts för forskning kring betong har varit mer lättillgängliga och föremål för enklare jämförelse och analys. Detta beror på betongens etablerade status som byggmaterial. Däremot har det varit utmanande att analysera faktainformation om Koljern-grunden. Både på grund av dess anpassning till beställarens specifika önskemål och på grund av dess begränsade utbredning på marknaden. Dessa faktorer har påverkat tillgången till tillförlitliga och jämförbara data om Koljern-grunden i forskningssammanhanget.

När det gäller skede A4, som avser transport, har likaså antaganden varit nödvändiga. Många material saknade helt dokumentation med avseende på skede A4. Detta ledde till att värden för skede A4 fick beräknas med hjälp av generiska data. Valet att använda generiska data gjordes för att möjliggöra en form av jämförelse, men det kan naturligtvis påverka resultatet och introducera ytterligare felkällor. I ett tidigt skede beslutades att begränsa transportsträckorna till inrikes transporter inom Sveriges gränser. Detta beslut fattades med tanke på den svårighet som skulle uppstå vid beräkning av transporter utanför Sveriges gränser, där metoder och kostnader är okända. Denna avgränsning anses vara rimlig, samtidigt som det är relevant att beakta den totala transportsträckan för ett material.

Även för skede A5 har generiska data använts ihop med data från EPD:er. Dessa siffror beräknas redovisa koldioxidekvivalenter för överblivet spill. Dock redovisas det inte alltid i dokumenten vad som är inräknat i spillet. Därav kan olika parametrar räknas med och jämföras med varandra. Detta kan leda till felkällor även här men anses vara försumbart och inte ha någon direkt inverkan på resultatet.

För C-modulen har endast värden från EPD:er använts. En sökning gjordes för att hitta generisk data att jämföra med, dock hittades inget användbart. Då Skanskas betong inte hade något värde på C-modul valdes en annan EPD för en betong med samma hållfasthet. Därav är det av värde att påpeka att C-modulen inte speglar verkligheten på ett korrekt vis. Dock har modulen valts att tas med då slutskedet har stor påverkan på det totala resultatet. C-modulen är även delvis missvisande då alla material som ingår i konstruktionen inte tagits i beaktning.

6. SLUTSATS

Studiens syfte grundar sig i att byggbranschen har en negativ påverkan på miljön vilket behöver förändras för att nå de globala målen. Studien har undersökt olika metoder för att bygga platta på mark och presenterat de olika metodernas miljöpåverkan i skede A1-A5 samt modul C i form av koldioxidutsläpp. Studien har även undersökt kostnader för de olika metoderna i skede A1-A3 samt A5. Utifrån resultatet av studien har följande slutsatser dragits:

- En Koljern-grund är 103% dyrare än en grund i traditionell betong och 101% dyrare än en grund i grönbetong
- En Koljern-grund har 50% lägre miljöpåverkan jämfört med en grund i traditionell betong och 42% lägre miljöpåverkan jämfört med en grund i grön betong med avseende på GWP-total
- Om miljön prioriteras är Koljern-grunden ett bättre alternativ än en grund i betong
- Om ekonomi prioriteras är grund i betong det bästa alternativet
- Grön betong rekommenderas starkt över traditionell betong då kostnaden endast höjs med cirka 1% och koldioxidekvivalenterna minskas med cirka 13%
- Klimatavtryck med avseende på transporter kan skilja sig markant beroende på vikt och transportsträcka för materialet
- För att inte slösa på resurser anses Koljern-grunden vara ett bättre alternativ då den genererar lägst andel spill av produkt vid installation
- En Koljern-grund har bättre förutsättningar för återbruk i jämförelse med en betonggrund

6.1 Vidare forskning

- Undersöka C-modulen för alla material i en grundkonstruktion för att få information om energiförbrukningen under hela konstruktionens slutskede. Dessa värden kan skilja mycket sett till ett materials totala livscykel.
- Beräkna skillnad i kostnader och klimatavtryck med avseende på demontering och återbruk efter 100 år.
- Beräkna kostnad och koldioxidutsläpp med avseende på skillnad i byggtid. Exempelvis jämföra kostnad och miljöpåverkan för den extra tid som bodar, maskiner och arbetare utgör beroende på val av material i en grundkonstruktion.

6.2 Rekommendationer till Skanska & övriga intressenter

En rekommendation till Skanska är att överväga att inkludera en upphandlingsplan för betongfria konstruktioner i deras ABCD-koncept för förskolor. Detta alternativ kan erbjudas till beställare som önskar kortare byggtider för att snabbt generera intäkter och samtidigt minska klimatbelastningen. Med tanke på att Koljern-grunden fungerar bäst utan pelarlaster, rekommenderas en omstrukturering av dimensionering för förskolor som avser användning av Koljern-grund. En optimal konstruktion skulle vara en konstruktion med linjelaster, vilket skulle eliminera behovet av ytterligare pelarfötter och infästningar.

Det är också viktigt att Skanska tar i beaktning att Koljern-grunden har fördelaktiga förutsättningar för återbruk. Detta bör prioriteras vid val av material i grundkonstruktion. Även om inköpspriset för Koljern-elementen kan vara högre, kan detta komma att planas ut på lång sikt eftersom dessa element kan demonteras och återbrukas. Detta främjar en cirkulär ekonomi. Denna aspekt bör beaktas både ur en kostnads- och klimatperspektiv, med hänsyn till kommande projekt och generationer.

7. Referenser

Adolfsson, L. & Yaku, N., 2022. *Jämförelse av Foamglas och massivt KL-trä mot betong sett ur ett klimatmässigt och ekonomiskt perspektiv – platta på mark*, Gävle: Högskolan i Gävle.

Aktuell hållbarhet, 2022. *Svårt för bygg att nå mål om återvinning*. [Online]

Available at: <https://www.aktuellhallbarhet.se/miljo/cirkular-ekonomi/svart-for-bygg-att-na-mal-om-atervinning/>

[Använd 23 Mars 2023].

Björkman, K. & Kardell, I., 2021. *Drivkrafter och hinder med återbruk inom byggbranschen*, Stockholm: KTH.

Blom Westergren, E., 2017. *Grund av cellglas jämfört med traditionell platta på mark*.

[Online]

Available at: <https://www.byggahus.se/bygga/grund-cellglas-jamfort-traditionell-platta-mark>

[Använd 23 Mars 2023].

Boverket, 2019. *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>

[Använd 13 Maj 2023].

Boverket, 2019. *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljo-varudeklaration-for-byggprodukter-epd/>

[Använd 15 Maj 2023].

Boverket, 2023. *Boverket.se*. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

[Använd 16 05 2023].

Boverket, 2023. *Miljöindikatorer – aktuell status*. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/>

[Använd 23 Mars 2023].

Boverket, 2023. *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

[Använd 23 Mars 2023].

Derome, 2021. *Klimatarbete Hoppet*, u.o.: Derome.

Elecosoft, u.d. *Kalkylprogrammet för bygg-, anläggnings- och installationsbranschen*.

[Online]

Available at: <https://www.elecosoft.se/programvaror/bidcon>

[Använd 24 April 2023].

Energimyndigheten, 2017. *Manual till verktyg för beräkning av livscykelkostnad*, u.o.: CIT Industriell Energi AB.

EPA, 2023. *Understanding Global Warming Potentials*. [Online]

Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

[Använd 15 Maj 2023].

Evia AB, 2022. *Monteringsanvisning Koljern® grund*. [Online]

Available at:

<https://static1.squarespace.com/static/60548facbabcaa49971a3962/t/636377956885b9015634>

[9de9/1667463098924/Monteringsanvisning+Koljern+Grund+221020+%281%29.pdf](https://static1.squarespace.com/static/60548facbabcaa49971a3962/t/636377956885b90156349de9/1667463098924/Monteringsanvisning+Koljern+Grund+221020+%281%29.pdf)

[Använd 22 05 2023].

Evia , u.d. *Byggelement med Koljern®-tekniken*. [Online]

Available at: <https://koljernnordic.se/vara-produkter/vad-ar-koljern-tekniken>

[Använd 12 05 2023].

Evia , u.d. *Koljern-grunden*. [Online]

Available at: <https://koljernnordic.se/faq>

[Använd 11 Maj 2023].

Evia, 2022. *Monteringsanvisning Koljern-grund*. [Online]

Available at:

<https://static1.squarespace.com/static/60548facbabcaa49971a3962/t/636377956885b90156349de9/1667463098924/Monteringsanvisning+Koljern+Grund+221020+%281%29.pdf>

[Använd 10 Maj 2023].

Evia, u.d. *För att bygga hållbart måste man börja från grunden*. [Online]

Available at: <https://koljernnordic.se/vara-produkter/husgrund>

[Använd 20 04 2023].

Foamglas, 2020. *Förskolan Hoppet*. [Online]

Available at: <https://www.foamglas.com/sv-se/referensprojekt/sweden/hoppet>

[Använd Maj 9 2023].

Foamglas, u.d. *Vad är cellglasisolering?*. [Online]

Available at: <https://www.foamglas.com/sv-se/radgivningscenter/general-advice/what-is-cellular-glass-production-process>

[Använd 11 Maj 2023].

Grund Bäck, L. & Lagerbielke, E., 2018. *ETERNAL GLASS*, Kalmar: Linnéuniversitetet.

Holmquist, N., 2023. *Lösning av punktlaster*. [Ljudupptagning] (Koljern Nordic).

Holmquist, N., 2023. *Återbruk av Koljern-grund*. [Ljudupptagning] (Evia AB).

Holmquist, N., 2023. *Återrbruk av Koljern-element*. [Ljudupptagning] (Koljern Nordic).

Jensen förskola , u.d. *FÖRSKOLA MED NATURNÄRA LÄGE*. [Online]

Available at: <https://www.jensenforskola.se/gunsta/om-forskolan-i-gunsta>

[Använd 13 04 2023].

Kleven, J. & Skarin, R., 2006. *Grundläggning med cellglas*, Karlstad: Karlstads universitet .

Lagerlund, J., 2021. *Återbruk och återvinning av betongstommar hos byggnader* , Luleå :

Luleå tekniska universitet.

Liljenström, C. & Malmqvist, T., 2015. *Byggandets klimatpåverkan*, Stockholm: IVL.

Naturskyddsforeningen, 2022. *Cement, klimat och miljö*. [Online]

Available at: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>

[Använd 23 Mars 2023].

Naturvårdsverket , u.d. *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. [Online]

Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>

[Använd 23 Mars 2023].

Naturvårdsverket, 2020. *Möjligheter till minskad klimatpåverkan genom cirkulär användning av plast i byggsektorn*. [Online]

Available at: <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/6900/mojligheter-till-minskad-klimatpaverkan-genom-cirkular-anvandning-av-plast-i-byggsektorn/>

[Använd 23 05 2023].

NE, u.d. *Glas*. [Online]

Available at: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/glas#historik>

[Använd 28 April 2023].

Olsson, S. & Rydin, S., 2019. *En jämförelse av koldioxidutsläpp i en byggnads klimatskal beroende på val av isoleringsmaterial*, Jönköping : Jönköpings universitet .

Skanska, 2023. *Konstruktionsritning*. Uppsala: Skanska AB.

Skanska, u.d. *Grön betong*. [Online]

Available at: <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/gron-betong/>

[Använd 25 04 2023].

Skanska, u.d. *Välkommen till ABCD-förskolorna*. [Online]

Available at: <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/byggverksamhet/byggnader/skolor-och-utbildningslokaler/abcd-forskolor/>

[Använd 7 Maj 2023].

SLU, 2022. *Vad är livscykelanalys?*. [Online]

Available at: <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/>

[Använd 17 Maj 2023].

Statens geotekniska institut, 2019. *Grundläggningsmetoder*. [Online]

Available at: <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/grundlaggning-och-forstarkning/grundlaggning-metoder/>

[Använd 25 Mars 2023].

Sundström, E., 2023. *Platta på mark*. [Online]

Available at: <https://www.byggahus.se/bygga/borja-ordentlig-dranering>

[Använd 22 April 2023].

Vetenskapsrådet, 2017. *God forsknings sed*, Stockholm: Vetenskapsrådet.

Yeih Ngoye, S., 2021. *ROLE AND EFFECTS OF SILICA SAND ON THE QUALITY OF GLASS*, Karleby: Centria University .

Bilagor

Bilaga 1: EPD:er, produktlistor och klimatdata

Byggnadsdel	Typ	Länk
Radonduk	EPD	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311166-1568919427/EPDer/Byggevarer/Takbelegg_membraner/EPD_RMB400_EN.pdf
Betong	EPD	https://www.skanska.se/49f098/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/gron-betong/epd-gron-betong.pdf
Betong	Produktlista	https://www.skanska.se/499028/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/gron-betong/produktlista-gron-betong.pdf
Socketelement	EPD	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1331642-1679923936/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-4313-3543_SIROC-FIBERCEMENT-L-ELEMENT-400-600-.pdf
Plastfolie	EPD	https://www.teccaworld.com/media/oj0nbtve/epd-t-foil-basic-standard-robust_1-1.pdf
Cellplast S200MX	EPD	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/dd519af9-12f8-41c1-accf-8208ef82add5/Data
Cellplast S80MX	EPD	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/dd519af9-12f8-41c1-accf-8208ef82add5/Data
Armering	EPD	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/f383f12a-fce6-42d2-ebba-08d98d4c9ead/Data
Plywood (kantform)	EPD	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/8741be9d-c67b-4d27-0bb9-08d9a5a517d4/Data
Lagningsundergjutning sbruk	EPD	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316665-1608733374/EPDer/Byggevarer/Teknisk-kjemiske%20byggevareprodukter/NEPD-2616-1328_weber-EXM-702-expanderbetong-fin.pdf
Träregel (avstängare)	EPD	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/8ef05152-0174-4b7f-4141-08d92a4c0fd0/Data
Foamglas T3+	EPD	https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download/15561
Plåtlättbalkar	EPD	https://www.epd-norge.no/getfile.php/1314072-1652185680/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-2269-1037_ConstruLine.pdf
Spackel	EPD	https://docs.keskofiles.com/f/btt/ASSET_MISC_28764207
Samtliga material	Klimatdatabas	https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/boverkets-klimatdatabas/