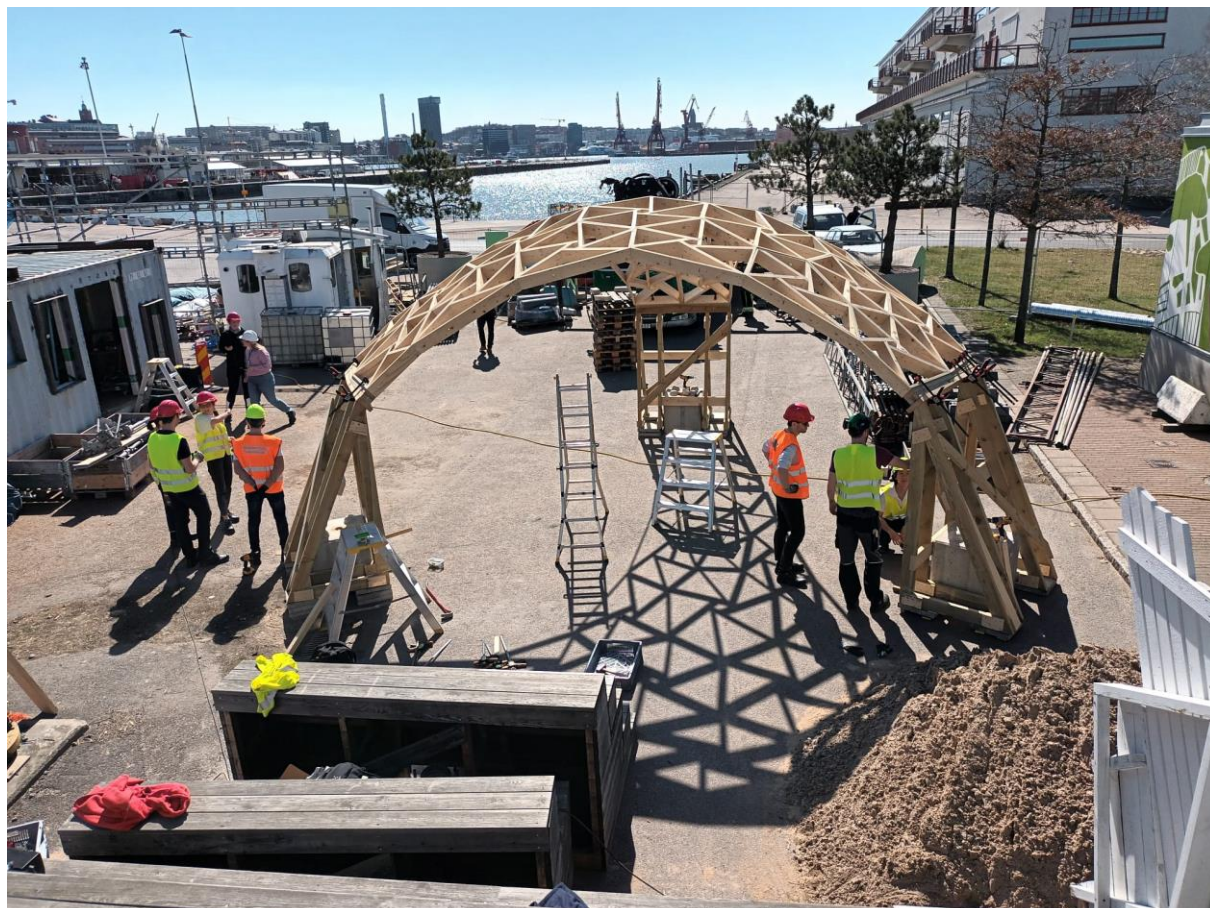




CHALMERS



Hållbart utnyttjande av materialet björkträ i den svenska byggsektorn

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Khaled Daijel
Felix Ngo

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Hållbart utnyttjande av materialet björkträ i den svenska byggsektorn

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Khaled Daijel

Felix Ngo

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Hållbart utnyttjande av materialet björkträ i den svenska byggsektorn

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Khaled Daijel

Felix Ngo

© KHALED DAIJEL & FELIX NGO, 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Byggnation av timmerpaviljong ute i Jubileumsparken, Frihamnen

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2023

Sammanfattning

Detta examensarbete syftar till att upptäcka björkträets praktiska tillämpning som ett potentiellt byggmaterial utifrån dess utsläppsförmåga. På grund av bristande data på försörjningskedjan för svenskt sågat björkträ, samlar rapporten in data genom litteraturstudier, fallstudier och intervjuer för att skapa grund för att utföra en materialflödes- och livscykelanalys. Resultat från fallstudien av en paviljong, referensmodellen i analysen, visade att virkesvolymen var 0,669 m³ medan den totala virkesanvändningen var 1,161 m³. Intervjuer genomfördes med relevanta intressenter för att samla in data om skogsbruk, sågverksprocess och bränsle- och energiförbrukning. En miljövarudeklaration, förkortat EPD, undersöktes för att jämföra björkträ med dess alternativ, gran och tall. För jämförelsen mellan lövträ och barrträ globala uppvärmningspotential, GWP, har även en funktionell enhet definierats enligt per arkitekturdesign, vilket innebär att materialen kommer att jämföras utifrån samma modell som är timmerpaviljongen. Paviljongens mått kommer alltså inte att förändras vid växling mellan olika material vid jämförelse.

En materialflödesanalys utfördes för att skapa flödesscheman som representerade flödet av björkträ. Baserat på dessa resultat skulle en livscykelanalys kunna genomföras. Resultaten av en livscykelinventarie har visat att björkträ har en GWP på 229,7 kg CO₂-ekv/ arkitekturdesign i A1-A3 och 234,2 kg CO₂-ekv/ arkitekturdesign i A1-A5. För Björkträ Timber AB är GWP 25,4 kg CO₂-ekv/ arkitekturdesign i A1-A3 och 49,6 kg CO₂-ekv/ arkitekturdesign i A1-A5. För flisutsläpp gav Vanhälls såg AB 494,7 kg CO₂ / arkitekturdesign medan Björkträ Timber AB gav 95 kg CO₂ / arkitekturdesign. Gran och tall har ett biogent utsläpp på 123 kg CO₂ / arkitekturdesign, vilket är högre än Björkträ Timber AB men lägre än Vanhälls såg AB. Orsaken till de extrema värdena för Vanhälls såg AB är för det första att sågverken själva lägger sina resurser på olika prioriteringar där Vanhälls såg AB prioriterar komponenttillverkning framför virke. För det andra kan storleken på transporterade stockar till sågverket också påverka hur mycket virke som produceras. Med resultatet har björkträet visat potential med nästan samma emission med undantag för extremvärden, medan de egenskaperna för lövträ har gjort det starkare jämfört med barrträ.

Resurshanteringen av björkförsörjningskedjan har också ansetts vara effektiv, eftersom biprodukterna sågspån och överblivet virke antingen återvinns eller återanvänds. Däremot är den nuvarande användningen av bränsleberoende maskiner i produktion och transporter mycket hög. Därför, med mindre beroende av icke-förnybara energikällor, skulle utsläppsmängder potentiellt kunna minskas.

Nyckelord; *Livscykel-och materialflödesanalys, björk, jämförelse mellan hårt och mjukt träslag, GWP*

Abstract

This bachelor's thesis work aims to discover the birch woods practical application as a potential construction material based on their sustainable capabilities. Because of the lack of data on the supply chain for Swedish sawn birch wood, the report collects data through literature studies, case studies and interviews to create groundwork for executing a material flow- and lifecycle analysis. Results from the case study of a timber pavilion, the reference model in the analysis, showed that the wood volume of the was 0.669 m³ while the total wood usage was 1,161 m³. Interviews were conducted with relevant stakeholders to gather data on forestry, sawmill process and fuel- and energy consumption. An environmental product declaration, EPD in short, was researched to compare birch wood with its alternatives, spruce, and pine. For the comparison between hardwood and softwood global warming potential, GWP, a functional unit has also been defined as per architectural design, meaning that the materials will be compared based on the same model which is the timber pavilion. Thus, the dimensions of the pavilion will not change when alternating between different materials when comparing.

A material flow analysis was executed to create flowcharts that represented the flow of birch wood. Based on these results, a life cycle analysis could be conducted. The results of a life cycle inventory have revealed that birch wood has a GWP of 229,7 kg CO₂-eq/architectural design in A1-A3 and 234,2 kg CO₂-eq/architectural design in A1-A5. For Björkträ Timber AB, the GWP is 25,4 kg CO₂-eq/architectural design in A1-A3 and 49,6 kg CO₂-eq/architectural design in A1-A5. For wood chips emission, Vanhälls sg AB resulted in 494,7 kg CO₂ / architectural design while Björkträ Timber AB resulted in 95 kg CO₂ / architectural design. Spruce and pine have a biogenic emission of 123 kg CO₂ / architectural design, which is higher than Björkträ Timber AB but lower than Vanhälls såg AB. The reason for the extreme values for Vanhälls såg AB is firstly that the sawmills themselves allocates their resources to different priorities with Vanhälls såg AB prioritizing component production rather than planks and boards. Secondly, the size of transported logs to the sawmill could also affect how much planks and boards are produced. With the results, the birch wood shows potential with almost the same emission with exception of outliers, whilst having the properties of hardwood, being stronger compared to softwood.

The resource management of birch supply chain has also been seen being efficient as the by-products sawdust and left over timbers were either recycled or reused. However, the current usage of fuel-dependent machinery in production and transportation is high. Thus, with less dependency on non-renewable energy sources, the emission rate could potentially be decreased.

Keywords; *Lifecycle-and material flow analysis, birch, hardwood, and softwood comparison, GWP*

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Förord	v
1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund och litteraturstudier	1
1.2 Hållbarhet inom den svenska byggsektorn	3
1.2.2 Koldioxidutsläpp	4
1.2.3 Användningen av trä i Sverige	4
1.2.3 Resurshantering	5
1.3 Syftet	7
1.4 Frågeställningar	7
1.5 Avgränsningar och förutsättningar	7
2 Teorier	8
2.1 Materialflödesanalys	8
2.2 Livscykelanalys	8
3 Metod och utförandet	11
3.1 Litteraturstudie för datainsamling	11
3.2 Intervjuer med intressenter	11
3.3 Materialflödesanalys	12
3.4 Livscykelanalys	13
3.5 Fallstudie	13
4 Resultat och diskussion	16
4.1 Materialflödesanalys	16
4.2 Livscykelanalys	22
4.3 Diskussion om materialflödes-och livscykelanalys	39
5 Slutsats	42
6 Referenslista	43

Förord

Detta examensarbete är skrivet inom programmet samhällsbyggnadsteknik, 180hp i Chalmers tekniska högskola i samarbete med institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad.

Personer som vi vill tacka är först och främst vår handledare, Yutaka Goto, som har varit med och gett stöd till oss genom hela examensarbetets gång.

Sedan vill vi också tacka verkställande direktören Per-Anders Fransén från Björkträ Timber AB, verkställande direktören Pär Stål från Vanhälls såg AB och skogsbruksutvecklaren Niklas Fogdestam från Sydved AB som har varit med och deltagit i flertal intervjuer och bidragit till rådgivning och stöd inom datainsamlingen samt godkännandet inför publicering av data i samband med rapporten. Vi vill också tacka Erik Kärrman distributionschef i Derome som har hjälpt oss med siffror för användning av kranens dieselförbrukning.

Därefter vill vi även tacka Karl Åhlund för stöd inom både rådgivning och utredning av robotarmen- och sågmotorns specifika energiförbrukningar.

Sen vill vi också tacka Felicia Wallgren och Wilma Dahlberg för att bidra till examensarbetet som våra opponenter.

Slutligen skulle vi också vilja tacka Rodrigo Giorgi för stöd av hantering och navigering inom programmen Rhino 7 och Solibri.

1. Introduktion

Detta är ett examensarbete på en högskoleingenjörsutbildning och rapporten fokuserar på att utforska björkträ praktiska lämplighet som potentiellt byggmaterial i svensk byggsektorn. Forskning har skett med hjälp av datasamling, samt implementering av materialflödesanalys och livscykelanalys i miljökonsekvensanalys samt cirkulär ekonomiobservation i resurshanteringsanalys. Med en uppföljning av resultat av undersökningen som kommer presenteras i arbetet.

Björkträ är det tredje vanligaste träslaget i Sverige och som ur ett historiskt perspektiv spelat en viktig roll enligt Riksskogstaxeringen (2020). Förr i tiden har björkträ främst använts som bränsle för det svenska folket (Valeur, 2014). Detta skedde även så sent som 1800 till 1900 talet. Under detta examensarbete har flera intervjuer utförts utfört med flera företag, som har specialiserat sig på björkträ. De företag som intervjuats är skogsbruksföretaget Sydved AB samt sågverksföretagen Björkträ Timber AB och Vanhälls såg AB.

1.1 Bakgrund och litteraturstudier

Hållbar utveckling är ett begrepp som slog igenom i samband med Brundtlandsrapporten (1987). Gröndahl & Svanström (2010) skriver att Norges dåvarande statsminister, definition enligt (Gröndahl & Svanström, 2010).

”Hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov”.

Begreppet hållbarhet kan delas in i flera olika områden. En hållbar utveckling bygger på tre dimensioner: det sociala, miljön och ekonomin (Gröndahl & Svanström, 2010). Nu för tiden står mänskligheten inför den gemensamma utmaningen att uppnå en hållbar utveckling. Brundtland rapportens definition av hållbar utveckling är nu allmänt accepterad som det övergripande målet för världsutvecklingen, och många länders politiska ställningstaganden är engagerade i att uppnå den beskrivna utvecklingen.

Sveriges befolkning ökar konstant, under de senaste årtionden har Sverige, och i större utsträckning, hela världen sett en ökning i andelen människor som flyttar in till tätorter för att hitta jobb (Statistikmyndigheten, 2022). Den ökade folkvandringen in till tätorterna skapar ett större behov av bland annat färskvatten, nyttig mat och jobbpositioner, och inte minst, boenden. I samband med ökad urbanisering skapar det även en högre användning av resurser och växthusgasutsläpp vilket förbrukar världens knappa resurser (Gröndahl & Svanström, 2010). För att kunna motverka den enorma påverkan på de planetära gränserna så har byggsektorn bland annat använt sig av materialet trä för att bland annat reducera koldioxidavtrycket (Lindholm, 2019). Eftersom materialet trä, jämfört med traditionella byggmaterial såsom betong har en markant lägre miljöpåverkan har det blivit allt vanligare att bygga med trä i vilket skapar en utmaning för samhället att effektivisera användningen. Till en sådan utmaning kan en lösning vara att bredda kunskapen inom materialet trä och för att göra det kan mindre utnyttjade träsorter användas.

Byggbranschens är väl känd för att vara en av de största källor för koldioxidutsläpp, miljöpåverkan och resurskonsumenter under sin livscykel eller produktions gång, samtidigt producering av betongen eller cementen kräver väldigt mycket energi för att kunna bearbetas, som på sin tur leder till stora mängder av utsläpp (Sandanayake, Zhang, Setunge, Li, & Fang, 2016; Zhang & Wang, 2016). Användning av timmer i stället för betong är en av de aktuella forskningsinriktningarna som har vunnit popularitet under de senaste åren, på grund av trä möjligheter så är det bättre än betong och har mindre koldioxidutsläpp. Faktorer som fördelar inom byggt teknik, livscykelkostnader och energibesparingar har övertalat intressenter inom arkitektur, teknik och konstruktion (AEC) att

samtycka till träbyggnader; speciellt vid medelhöga byggnader (Asif, Muneer, & Kelley, 2007; Buchanan, Deam, Fragiacomio, Pampanin, & Palermo, 2008; Ip & Miller, 2012).

Vanligtvis har trä varit det huvudsakliga byggmaterialet som använts under tiden och hade haft långt historia. Trä är ett hållbart och förnybart byggmaterial (Herbert, 1993, Sathre och Gustavsson, 2009). Användningen av trä i byggandet kan påverka kolbalansen genom följande mekanismer, för det första den kan minska förbrukningen av fossila bränslen i tillverkningen jämfört med alternativa material, för den andra kan den undvika utsläpp från cementbearbetning, för det tredje ackumulera kollagring i träprodukter och skogar, för det fjärde kan den undvika utsläpp av fossila bränslen på grund av substitution av biomassa. Trä spela en roll i deponiernas koldynamik (Sathre och O'Connor, 2008). Att öka användningen av trä i byggandet och andra långsiktiga användningar kommer därför att bidra till att uppnå hållbarhetsmålen.

Runt 1950 talet skedde det en förändring, den svenska industrin växte sig allt starkare, däribland sågverksindustrin som använde sig mest av gran och tall.

För att minska beståndet av björk i den svenska skogen försökte man utrota björken. Detta för att ge mer utrymme för de andra träarter industrin använde sig av. Men vi kan se att efter den tekniska utvecklingen som skedde på 70-talet att björken började användas av massaindustrin. Sedan dess kan man notera att fokus på hållbarhet och biologisk mångfald ökat sedan dess och att detta har blivit centralt att tänka på hållbarhet och biologisk mångfald i branschen. Faktorer såsom ökat fokus på hållbarhet och biologisk mångfald har tillsammans med ökad efterfrågan på björk medfört att beståndet av björk har växt i landet (Valeur, 2014).

Ett växande antal tekniska strategier och fallstudier fokuserar på miljöprestandan av att använda trä i byggandet. Exempelvis skriver Koch (1992) att träkonstruktionsprodukter hade lägre lägre kolbalans än andra material som inte är gjorda av trä som aluminium, stål, betong och tegel. Schlamadinger och Marland (1996) studerade träprodukters roll i det internationella kolkretsloppet genom flera stadier, en av de kollagring i biosfären, kollagring i skogsprodukter och användningen av träprodukter i alternativ produktion som kräver fler fossila energialternativ. En annan studie från Canadian Wood Council (CWC, 2004) visade att träbyggnadssystem har lägre miljöpåverkan än stål- och betongsystem när det gäller energiförbrukning, utsläpp av växthusgaser, luftföroreningar, vattenföroreningar och fast avfall.

Sverige är ett rikt land med träresurser och det finns många trätyper. Björk är det tredje vanligaste trädslaget i Sverige (Dahlberg & Forsberg, 2021). För närvarande används inte björk särskilt mycket i byggsektorn utan det används främst som masssved, papper eller i möbler, även om potentialen för denna art borde vara stor (Dahlberg & Forsberg, 2021). En ökad efterfrågan på hållbara byggnader eller mer förnybara produkter skapar möjligheter för nya produkter och marknader.

Användningen av trä ökar alltmer inom byggbranschen. Sverige är ett land som är känt för sina landskap som till största delen består av skog. Granar och tallar är de vanligaste träderna som växer i ett roterandeskogsbrukssystem (Kallmén, 2022). I nuläget ökar användningen av trä vilket öppnar upp en diskussion gällande intensiv användning av skog bör vara ur ett miljöperspektiv avseende.

Kallmén (2022) betonar att när det gäller processen av hantering av biologisk mångfald, klimatkrisen, konsumtionsbeteende samt koldioxidutsläpp finns det olika åsikter. Under det här examensarbetet kommer vi att ta hänsyn samt undersöka hållbarhet ur ett byggbranschen och miljömässigt perspektiv. Byggbranschen är en viktig del av samhället och har en betydande påverkan på miljön och klimat (Lindholm, 2019). För att byggbranschen ska bli mer hållbar är det viktigt att ta hänsyn till klimatmålen och därmed minska utsläppen av växthusgaser. Det är också en viktig framgångsfaktor för byggbranschen, samt för framtida byggnader.

1.2 Hållbarhet inom den svenska byggsektorn

Byggsektorn har en stor påverkan på samhället samt står inför flera utmaningar i sitt arbete med att minska klimat- och miljöpåverkan (Swedish Council, 2019). Vi vet sedan tidigare att den svenska byggsektorn inte bara står för en stor förbrukning av energi och råvaror utan också att den har en stor miljöpåverkan. Både industrin och riksdagen har insett att om Sverige vill minska sin miljöpåverkan och få ett mer hållbart samhälle är det viktigt att innevara, samt använda sig av olika tekniska lösningar för att minska utsläpp och energiförbrukning. Via de olika steg som industrin har tagit är idag en femtedel av Sveriges byggnadsarea miljöcertifierade. Det återstår dock fortfarande flera utmaningar för att öka andelen miljöcertifierade områden och byggnader.

Träets egenskaper medför att träet har både svagheter och möjligheter. När det gäller svagheter är trä känsligt mot fukt och kan därav ruttna samtidigt som trä också kan påverkas av skadedjur såsom termiter. Träets möjligheter är att det kan användas i flera tillämpningar som byggmaterial eller andra användningar, trots att det finns flera svagheter för trä eftersom det går att undvika problematik genom att behandla trä med olika skyddsmedel eller förbättra motståndskraft mot fukt (Valeur, 2014). Andra byggmaterial, till exempel betong eller cement, producerar miljöfarliga kemikalier som påverkar miljön negativt. Därför är trä ett bättre alternativ. För att kunna mäta den övergripande miljöpåverkan som en produkt har under sin livscykel krävs det att en materialflödesanalys görs först. Denna materialflödesanalys behövs för att kunna göra och använda livscykelanalys. Utan materialflödesanalysen blir processen för att genomföra en livscykelanalys alltför svår, om inte omöjligt.

Hållbarhet inom byggbranschen har alltid varit en viktig del av samhället och den svenska bygg- och fastighetssektorn (Lindholm, 2019). Byggsektorn svarar för en tredjedel till hälften av miljöbelastningen i samhället, vilket innebär att byggbranschen bidrar till en stor del av miljöpåverkan. Utöver det bidrar byggbranschen till 10–40 % av Sveriges energikonsumtion samt utsläpp av växthusgaser, avfall och farliga kemikalier som koldioxidutsläpp. Till skillnad från betong producerar trä inte farliga kemikalier och därav är trä ett bättre alternativ jämfört med betong. Eftersom denna byggindustri har en sådan stor påverkan på människors hälsa och miljö. Är det viktigt att man fokuserar på att ta fram hållbara lösningar.

Eftersom en stor del av samhällets samlade påverkan på miljön orsakas av bygg- och fastighetsbranschen är de flesta idag också överens om att det är viktigt att beakta miljöhänsyn i denna bransch (UNEP, 2003). I miljösammanhang benämns denna sektor ofta som 40 %-sektorn, eftersom den står för 40 % av energi- och materialresursanvändningen och 40 % av den totala mängden avfall som produceras av människor.

Boverket spelar en stor roll när det gäller att följa upp regelbundet informationscentralerna verksamhet (Christensson, 2022). Boverket har som mål att satsa på att informationscentrum för hållbara byggnader. Det ska gå att förbättra energieffektiva byggnader genom att producera och använda hållbara material och uppnå en låg klimatpåverkan från ett livscykelperspektiv.

Produktens övergripande miljöpåverkan från vagg till grav blir allt viktigare. "Hållbar utveckling" och "cirkulärt samhälle" är två begrepp som föreslogs på 1980- och 1990-talen för att ge en helhetssyn på att lösa miljöproblem (Gröndahl & Svanström, 2010). Samtidigt har kopplingen mellan miljö och ekonomi blivit allt tydligare, vilket innebär att man vinner bra ekonomi med cirkulär ekonomi på miljöresurser. Alla människor har rätt att utnyttja sina behov av miljö utan att påverka andra generationer. Engagemang för hållbar utveckling bygger på olika moraliska principer, såsom alla människors lika värde och rätten att fatta beslut tillsammans och leva ett gott liv. Trähusets virke kan också återanvändas i energianvändning som flis för att värma byggnader eller i andra byggnader efter mer eller mindre avverkning. Hållbarhet handlar främst om att omdefiniera den miljö vi lever och verkar i, med hänsyn till miljöresurser och hur de ska behandlas.

1.2.2 Koldioxidutsläpp

Bland de nio presenterade planetär gränserna är en av observerade parametrarna, koldioxidutsläpp kopplade till klimatförändringar, på väg att överskrida den yttersta toleransnivå för lämplig mängd koncentration av koldioxid i atmosfären (Stockholms Resilience Center, u.å.). När klimatförändringarna intensifieras, Klimatförhållandena har värmts upp och koldioxidutsläppen har också påverkat haven i form av havsförurning. Under de senaste åren är det estimerats att ett värde på andelen av global energirelaterat koldioxidutsläpp från konstruktionssektorn ligger på cirka 39% (Huang L et al., 2018). I dagsläget är det presenterat i rapporten av Huang L., (2018) att det finns två olika kategorier av observerbara koldioxidutsläpp och dessa två delar kan delas in i koldioxidutsläpp före- och under driftsfasen. Vid observation av hållbara indikatorer kring koldioxidutsläppen kommer fokuset att kretsa kring utsläppsdata före driftsfasen inom konstruktionsfasen. Detta innebär att livscykel- och materialflödesanalyserna av koldioxidutsläppen för björkträ kommer att undersökas från vaggan till byggnation.

Vid analys av paviljongens virkesstruktur i termer av hållbarhetsindikatorn CO₂-utsläpp, är den betydande eftersom det mest konsumerade byggmaterialet globalt är betong (Gagg C R., 2014). Concretes koldioxidutsläpp kommer huvudsakligen från cementproduktionen, vilket motsvarar ett globalt koldioxidutsläpp på 7,4%. Baserat på det höga globala koldioxidutsläppet från framställning av betong är det därför realistiskt att undersöka alternativa byggnadsmaterial, såsom björk. Därför är det viktigt att göra en hållbar bedömning av CO₂-utsläppen inom björk enligt relevanta förutsättningar för koldioxidutsläppen som betong, för att få en intuitiv förståelse för fördelarna med att använda björk som byggmaterial utifrån hållbarhetsaspekter.

1.2.3 Användningen av trä i Sverige

Människor har alltid strävat att bygga sina hus med så liten ansträngning som möjligt, både fysiskt och ekonomiskt. För i tiden har transport varit svårt. Det har varit svårt att transportera och flytta byggmaterial. Dessutom har många byggmaterial varit dyra vilket varit ett hinder för många (Ädling, 2008). Tills idag har man alltid försökt att välja byggmaterial utifrån vad man kunde hitta i den närmaste omgivningen där man bygger, eftersom man har flera hinder och en av dem var transporten. Ädling (2008) hävdar att Sverige är ett land som har många berg vilket gör att transporten blir ännu svårare. Vid ökning av nya byggnader har människor valt att använda trä som byggmaterial. Trähusbyggnader har blivit ett grundläggande inslag i svensk kulturhistoria.

Byggbranschen är en viktig del av samhället och har en betydande påverkan på miljön och klimat (Lindholm, 2019). För att byggbranschen ska bli mer hållbar är det nödvändigt att ta hänsyn till klimatmål som satsar på att minska koldioxidutsläpp. Därutöver är det viktigt att minska utsläppen av växthusgaser. Att minska utsläpp av växthusgaser är en viktig framgångsfaktor och avgörande vid nybyggnation. Träbyggandet och användning av trä har ökat i slutet av 1800 och i början av 1900-talet i samband med att många sågverk byggdes (Ädling, 2008). Dessa byggs för att etablera andra byggmaterial och kunna erbjuda människor att köpa samt tillhandahålla prisvärda sågade och hyvlade träprodukter. Under 1950-talet började människor att ersätta timmerstomme med regelstomme regelstomme vid byggande av hus. Detta i sin tur har orsakat att antalet nya trähus kommer att öka igen (Ädling, 2008).

Sundström (2022) framhäver att björkträ länge ansågs vara en olägenhet i skogsbruket – men med tiden har denna inställning förändrats. Björk har spelat en viktig stor roll i Sveriges historia som ett av landets träslag. Idag används björk inte industriellt för byggändamål (Sundström, 2022). Björk har en lång historia i Sverige och används inom olika områden som möbelindustri och papperstillverkning (Håkansson, 2000).

Björk är ett vanligt lövträd i Sverige och har många användningsområden inom byggbranschen (Öhman, 2015). Examensarbete undersöker olika aspekter av björk. De undersökta aspekterna är dess egenskaper som byggmaterial samt miljömässig hållbarhet. Därtill kommer en materialflödesanalys vara en viktig del av undersökningen som visar hur björkträ behandlas. Examensarbetet ska beskriva björk och dess potential som byggmaterial ut från hållbara aspekter. Öhman (2015) skriver i sin text att i Sverige finns det tre olika typer av björk och dessa är vårtbjörk (*Betula pendula*), glasbjörk (*Betula pubescens*) och dvärgbjörk (*Betula nana*). Dessa träd växer i områden på norra halvklotet och är en av de vanligaste lövfällande arterna i Sverige. Björkträdet tillgänglighet i Sverige, tillsammans med dess olika användningsområden, gör det till ett intressant alternativ för hållbart bygg.

1.2.3 Resurshantering

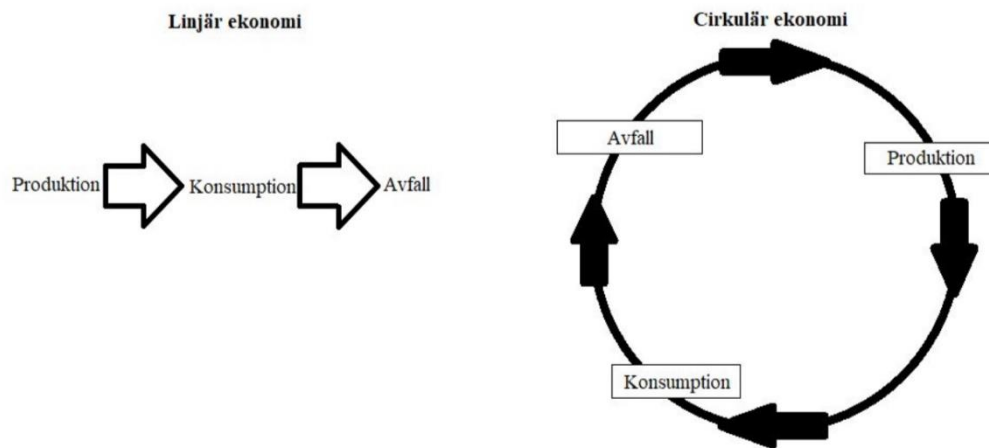
Det är känt att byggsektorn och anläggningsbranschen påverkar hela vår planet, vår natur samt vår globala uppvärmning och det skapar alltså vår omgivning på ett negativt sätt och inte på ett positivt sätt (Ljung & Håkansson, 2020). Byggbranschen utvecklar cirka 15 miljoner ton utsläpp och CO₂- ekvivalenter varje år. Industrin är den största användaren av material och står för 50% av den globala stålproduktionen samt använder mer än 3 miljarder ton återvinningsbara råvaror vid konstruktion av byggnader (Ljung och Håkansson, 2020).

Världen har satt upp nya mål för att bygga hållbara byggnader genom att spara naturresurser för framtida generationer och att använda dem rättvist. I de flesta länderna är byggbranschen den största källan till avfall och har en negativ inverkan på miljön. Sverige har satt upp nationella miljömål för att minska klimat och miljöpåverkan inom byggbranschen. Det finns ungefär 16 miljö kvalitetsmål och 24 fas mål.

Boverket (2016) skriver om hur byggbranschen spelade en viktig roll i samhället genom att beröra 7 miljö kvalitetsmål. Man kan hantera avfallets negativa påverkan på miljön på många sätt som att återanvända byggmaterial, vilket är hållbart för att det sparar på material i rivningsprojekt som vanligtvis skulle kasseras. Genom att återanvända material undviks utvinning av naturresurser (Naturvårdsverket, u.å.)

Om man ska minska avfallet av materialanvändning kan man först minska branschens klimatpåverkan genom cirkulär ekonomi (Ljung & Håkansson, 2020). En cirkulär ekonomi innebär att man återvinner och återanvänder material samt produkter så mycket det bara går (European Parliament, 2023). Cirkulär ekonomi är en viktig faktor för att det ska bli en hållbar framtid. En cirkulär ekonomi är en strategi man kan se på som en lösning för att skapa en hållbar framtid utan att man påverkar miljön på något negativt sätt (Hahn, 1997). Cirkulär ekonomi bygger på att man tar ut en råvara som man sen producerar, använder och som sen blir avfall. Man kan sen åter skapa eller också återvinna råvaran på annat sätt (Hahn, 1997). Hahn anser att alla personer borde bryr sig just om hållbarhet angående att det inte

ska bli något avfall. Linjär och cirkulär ekonomi väl beskrivas i bilden nedan, se på figur 1.



Figur 1. Håkansson, F (2020). En bild som förklarar skillnaden mellan de två typer av ekonomi. linjär och cirkulär ekonomi väl beskrivas i bilden

När det handlar om en äldre forskning angående cirkulär ekonomi via byggda miljön visar resultaten att det mesta kunskapen har en bred inriktning men det skiljer sig mellan sektorer och produkter (Har et al, 2019). Man kan göra mycket idag för att minska dagens beroende av naturmaterialutvinning, och det kan man göra genom att aktivera cirkularitet så att material kan återvinnas, utan att man ska använda mer miljöresurser.

1.3 Syftet

I dagsläget finns ingen data gällande björkträets försörjningskedja i Sverige eller dess miljöpåverkan. Därmed blir syftet med rapporten att utforska materialet björkträ som ett potentiellt byggnadsmaterial genom att genomföra förstudier som bland annat datainsamling för att skapa databas som möjliggör beräkningar av bland annat miljöpåverkan. För att genomföra studien kommer materialflödes- och livscykelanalys att utföras på en paviljongstruktur med huvudsakliga byggnadsmaterialen, massivt trä av gran och plywood som vi utgår från att vara av björk i stället. Målet med arbetet blir att bidra till skapandet av data som ligger till grund för utvecklingen inom byggnadsmaterialet samt breda kunskaper inom hållbart miljöbyggandet genom utnyttjandet av björkträ som potentiellt byggnadsmaterial.

1.4 Frågeställningar

Genom examensarbetets gång kommer ett visst antal frågeställningar utgöra basen för rapporten. Översiktligt kommer fokuset av rapporten att kretsa kring försörjningskedjan av björkträ som ett potentiellt byggnadsmaterial. För att bedöma kvaliteten och den praktiska tillämpbarheten av träslaget så kommer rapporten att utforska de involverande tekniker som finns i björkens materialflöde från skogsbruk till byggnationen. Utöver det kommer även eventuella materialutbyten att undersökas i samband med biprodukter som kan förekomma under produktionsfasen. Därför blir även typen av avfall och dess hanteringsåtgärd relevant för undersökningen av björkträets potential som byggnadsmaterial. I samband med björkens livscykel, som kommer att undersökas och presenteras i litteraturstudien, kommer även hållbara indikatorer att observeras. Dessa indikatorer beskriver graden av miljöpåverkan i form av koldioxidavtryck, energianvändning och resurshantering. För att bedöma björkförsörjningskedjans miljöpåverkan jämförs även materialet med alternativa träslag som används inom byggsektorn. Vid precisering av frågeställning kan de centrala punkterna listas som frågor på följande sätt;

- Hur ser strukturen ut för försörjningskedjan av björkträ?
- Vilka tekniker är involverade för att producera och behandla materialet?
- Vilka materialutbyten sker under produktionsfasen?
- Finns det några biprodukter under processerna och i så fall vilka?
- Vilka typer av avfall produceras i processerna och hur ser avfallshantering ut? Går det att se effektiv resurshantering? Återanvänds eller återvinns materialet?
- Vilken grad av miljöpåverkan har björkens försörjningskedja? Går det att jämföra med andra alternativa träslag som används inom byggsektorn som exempelvis gran och tall?

Tillsammans med dessa centrala frågeställningar kommer rapporten att besvara hur praktiskt tillämpligt materialet björkträ skulle vara och vilka fördelar det finns om materialet utnyttjas, samt vilka hinder som förekommer.

1.5 Avgränsningar och förutsättningar

Eftersom detta specifika examensarbete bygger på data som bland annat inte existerar i dagsläget, kommer det att förekomma ett visst antal avgränsningar. Till följd av bristande data saknas mycket information att utgå från vid utförande av en fullständig livscykel- och materialflödesanalys vilket medför att rapporten kommer vara tungt beroende av datainsamling från genomförda intervjuer och studier. Detta innebär att vid bristande datainsamling från intervjuade aktörer så kommer luckorna att

täckas med alternativa standardvärden, antaganden eller försumning för att möjliggöra utförandet av livscykel- och materialflödesanalys. Utöver avgränsningar vid datainsamlingen, är det också förutsatt att materialet björkträ analyseras utifrån svenska förhållanden för att ge en godtycklig bild på hur praktiskt tillämpbart materialet skulle vara i Sverige. Vid analys så jämförs även materialet med vanligt förekommande träslag som används inom den svenska byggsektorn som exempelvis gran och tall. Detta innebär att material som betong och stål inte kommer att jämföras med björken eftersom de faller utanför trä som ämnet av intresse.

Då livscykel- och materialflödesanalyserna kan bli mycket omfattande så kommer försörjningskedjan för björkträ att utgå från dess produktionsprocess från vaggan till byggnation, det vill säga modulerna A1-A5 (ISO 14040, 2006). Detta innebär att processerna efter byggnationen från driftskede till grav inte beaktas i analysen. Sedan kommer indikatorerna för analyserna att enbart begränsas till inget annat än den globala uppvärmningspotentialen, GWP. Denna utsläppen kommer även att basera sig på en producerad volym björkträmaterial i stället för utsläpp över en viss tid.

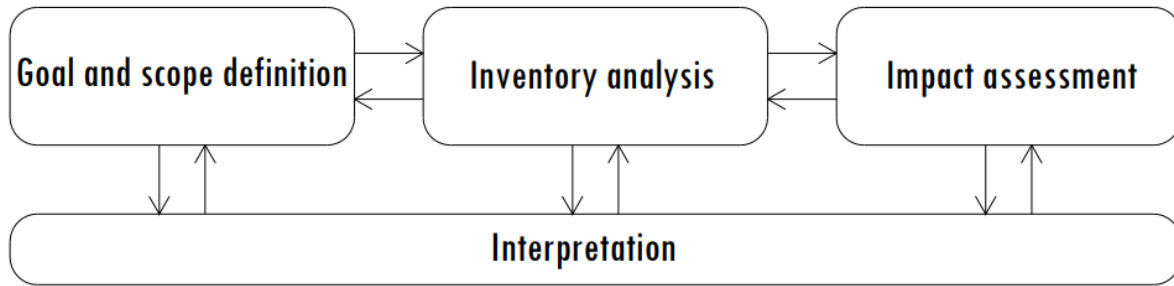
2 Teorier

2.1 Materialflödesanalys

Definition av Materialflödesanalys eller förkortat MFA är en process som görs för att kunna kontrollera och studera in och utflöde av ett material och energi i ett ekonomiskt system (Deisco llc, 2023). Målet med materialflödesanalys är att hantera materialflöden för att minska avfall och onödigt resursutnyttjande, samt att visa processen från vaggan till byggnationen alltså från skogsbruk till byggarbetsplats, samtidigt identifiera förbättringsmöjligheter för att öka effektiviteten och minska miljöpåverkan. Med den här analysen så kan man effektivisera och bättre förstå de olika metoderna man använder sig av i de tillverkningsprocesserna och identifiera olika svagheter i systemet. Det har idag blivit ett viktigt verktyg inom industrin, speciellt när man ska ta hänsyn till hur hållbara ekologiska verktyg man använder sig av. Den här processen är viktig för att utan materialflödesanalys så är det omhöljet att kunna bedöma livscykelanalys för björkträ materialet. För att initiera en materialflödesanalys definieras först målen för analysen. Genom att beskriva syftet som analysen bygger på, och ta hänsyn till livscykelanalys samt parametrarna för den planerade bedömningen och utvärderingen. Detta hjälper till att beskriva LCA analys som kan visa resultat på utsläppen och miljöpåverkan.

2.2 Livscykelanalys

För att utföra en detaljerad analys av den globala uppvärmningspotentialen krävs användning av verktyg som resulterar i siffervärden som kan motsvara materialflödets miljöpåverkan (Boel V., 2017). En av sådana **analysmetoder** är LCA som står för livscykelanalys och genomförandet går ut på att analysera olika hållbara indikatorer genom att följa ett antal olika steg, se figur 2.



Figur 2. De olika stegen i utförandet av en livscykelanalys (Boel V., 2017).

För att initiera en livscykelanalys så bör målet med analysen definieras först genom att beskriva vilket syfte som analysen bygger på samt i vilken omfattning som ramverket för analysen kommer att vara utefter dess systemgränser. Sedan beskrivs vilka ingående funktionella enheter på siffervärden som planeras att bedömas och utvärderas. Därefter bör även systemgränserna som avgränsar analysens omfattning till enbart ett flertal skede av en objekts livscykel att bearbetas och utvärderas (ISO 14040, 2006).

Efter definitionsfasen inleds datainsamlingen för att avgöra och finna vilka data som krävs vid inmatning av värden för varje del av processeringen av björkträ (Boel V, 2017). Denna process kallas även för LCI och står för livscykel-inventarie och det är detta steg som avgör vilka värden som kommer att bearbetas under livscykelanalysen då utredningen söker utefter materialflödet i försörjningskedjan.

Efter sammanställning av data från livscykelinventarie kan impulsen av livscykeln analyseras. Denna fas kallas för LCIA och står för livscykelimpaktanalys vilket är steget där den analysen genomförs utefter den sammanställda data som samlades in under definitions-och datainsamlingsfas (Boel V, 2017). Här kommer data på insats och materialutbyte som beror på resursanvändning respektive effektivitet att bedömas utifrån en hållbar synpunkt på miljöpåverkan. Därefter, när LCIA är genomförd så kan resultatet användas som bas för olika diskussioner av materialets för-och nackdelar samt utforska nya potentiella lösningar för att uppfylla samhällets behov mot en hållbar utveckling.

Gällande systemavgränsningen av skeden som beaktas i analysen så består en livscykelanalys av ett objekt enligt Boverket (2019) generellt av tre stora skeden från produktion vidare till drift och slutligen till slutskedet, se figur 3.

A1-5 Byggskede		
A1-3 Produktskede	A1	Råvaruförsörjning
	A2	Transport
	A3	Tillverkning
A4-5 Byggproduktionsskede	A4	Transport
	A5	Bygg- och installationsprocess
B1-7 Användningsskede	B1	Användning
	B2	Underhåll
	B3	Reparation
	B4	Utbyte
	B5	Ombyggnad
	B6	Driftsenergi
	B7	Driftens vattenanvändning
C1-4 Slutskede	C1	Demontering, rivning
	C2	Transport
	C3	Restproduktsbehandling
	C4	Bortskaffning
D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen		

Figur 3 Skede och informationsmoduler för en livscykel(Boverket, 2019).

Dessa tre huvudsakliga skeden kan därefter indelas i så kallade informationsmoduler och beskriver varje delprocesser som tillsammans utgör varje skede (Boverket, 2019). För modulerna A1-A3 så beskrivs själva produktionsfasen och resursutbyten. Denna aggregatet av modulerna från A1-A3 beskriver processen från råvaruförsörjning till produktion. Vidare i skedena beskrivs A4-A5 som själva byggnationsprocessen och här omfattas stadierna i materialflödet från transporten av material till byggnation i byggarbetsplats. Efter byggnationsmodulen A5 så går livscykeln vidare till skede B. Detta skede beskriver driftskedet av den analyserade objekten och består av modulerna B1-B7. Dessa moduler täcks av användningsprocesser som utifrån ett byggnadsperspektiv består av bland annat drift-och underhåll. Slutligen efter driftskedet så går livscykeln till slutskedet där den analyserade objektet har nått sin slut inför rivning eller borttagning. Här analyseras modulerna C1-C4 och dessa stadier handlar om resurshantering efter slutanvändning.

3 Metod och utförandet

Initieringen av examensarbetet inleddes med litteraturstudier där relevanta fakta och bakgrund söktes upp som förberedelse inför avancerade analysmetoder. Genom arbetets gång inleddes även olika processer för datainsamling som bland annat val av hållbara indikatorer att observera under livscykel- och materialflödesanalyser, intervjuer av sågverk för datainsamling av kvantitativa typer för utvalda hållbara indikatorer samt genomförandet av olika analysmetoder. Under datainsamlingen har också en del försumningar genomförts samt förenklingar vilket också kommer att diskuteras under detta kapitel.

3.1 Litteraturstudie för datainsamling

Gällande transportdata för materielleverans från sågverk till byggarbetsplats så har främst Google Maps använts för att ge en estimerad distans som kommer att bearbetas i analyserna. Sedan kopplade till transportdata så krävs det även information på bränsleförbrukningen samt hur bränsleförbrukning och energiförbrukning kan konvertera till ett siffervärde på globala uppvärmningspotentialen.

Slutligen, för att möjliggöra en tolkning och bedömning av björkens material- och livscykelanalys från dess försörjningskedja så krävs data på den globala uppvärmningspotentialen för andra material. Då gran och tall används mest inom den svenska byggsektorn när det kommer till materialet trä så är det av relevant intresse att kolla upp data på den globala uppvärmningspotentialen från miljövarudeklarationen för svenskt virke av sågat och torkad gran och tall (EPD International, 2018). Miljövarudeklarationen är ett relevant dokument som följer de svenska standarderna för hållbarhet och kan vidare användas för livscykelanalyser då deklarationen beskriver i stora drag hur och vad ett undersökt byggnadsmaterial har för miljöpåverkan under dess livscykel (Boverket, 2019). Från miljövarudeklarationen har därmed datainsamling genomförts och bland innehållen i deklarationen har globala uppvärmningspotentialen för gran och tall presenterat i en tabell från miljödeklarationen av Svenskt Trä tagen från EPD International som bedöms vara av relevant intresse för jämförelse mellan björken som potentiellt byggnadsmaterial och traditionella träbyggnadsmaterial, se tabell 4 (EPD International, 2018).

Tabell 4. Siffervärde på GWP tagen skapat utifrån data från EPD ur Svenskt Trä för sågat och torkat gran och tall för fossila bränslen och biogen för modulerna A1-A3 (EPD International, 2018)

Globala uppvärmningspotential (GWP)	Enhet	Totala A1-A3
Fossila bränsle	kg CO ₂ eq.	31,6
Biogen	kg CO ₂ eq.	106

3.2 Intervjuer med intressenter

Eftersom datainsamlingen från intervjuer ska bidra till grund för innehåll som ännu inte finns tillgängligt så förväntas även litteraturstudie genomföras för att samla in data som intervjuade aktörerna inte har tillgång till men som är viktigt för att livscykel- och materialflödesanalyser kan genomföras.

För att ta reda på vilka företag som kan vara av relevant intresse inför datainsamlingen för livscykel- och materialflödesanalyserna så har sågverken som behandlar svenskt björkträ sökt upp, samt ett företag inom skogsbruksindustrin. Utredningen av vilka sågverk som behandlar björkträ i skogsbruksindustrin resulterade i Sydved AB. För sågverk som sågar björkträ så har sökningen resulterat i Vanhälls såg AB och Björkträ Timber AB (Goto Y., u.å.).

Utredningen av vilka sågverk som behandlar björkträ resulterade i två namn, Vanhälls såg AB och Björkträ Timber AB och företaget inom skogsindustrin, Sydved AB.

Planeringen av intervjuerna började med företagskontakt med Vanhälls Såg AB:s verkställande direktör, Pär Stål, och Björkträ Timber AB:s verkställande direktör, Pär-Anders Fransen, där examensarbetet presenteras i samband med syftet för intervjun genom telefonsamtal. Därefter undergick bokningsprocessen och en gemensam mötestid genom den digitala plattformen, Zoom, bokades. Under intervjun ställdes en mängd relevanta frågor kring sågverken av intervjuare för syftet att samla in data. Därefter, för att få en ökad förståelse och samla data inom skogsbruksstadiet, första steget i livscykelanalysen, det vill säga råvaruförsörjningen av björken, så genomfördes en intervju tillsammans med skogsbruksutvecklaren Niklas Fogdestam från Sydved AB.

Vanhälls såg AB är ett svenskt sågverk företag som ägs av Pär stål, företaget startade i 1984, det ligger i Smedjebacken Län Dalarnas, företaget har specialiserat sig inom sågning av björkträ och har totalt 20 anställda (Vanhälls såg AB, 2023).

Björkträ Timber AB är ett sågverk familjeägt företag som ägs av Per-Anders Fransén, företaget grundat i 1980 och specialiserat på svenskt björkträ, företaget ligger i Östra Norrängevägen Arbrå län (Björkträ Timber AB, 2023).

Sydved AB är ett svenskt skogsbruksföretag som specialiserat på träförädling, företaget grundat i 1999, Sydved AB ägs av Stora Enso och Ahlstrom (Sydved AB, 2023). Det ligger i Barnarpsgatan 39F Jönköping i Jönköpings län. Företaget är specialiserat på sågning och bearbetning av träprodukter för olika ändamål samt att hugga ner trä och transportera det till sågverk.

Syftet med intervjuerna är att skapa möjligheter för datainsamling av rådata kopplade till koldioxidutsläpp, energianvändning och resurshantering under materialflödet av björkträ, samt kunskaper över hela björkens process från vagga till byggnation. Med den insamlade data så kan livscykel- och materialflödesanalyser utföras i samband med bedömningen av eventuella tillämpningar av hållbar resurshantering.

3.3 Materialflödesanalys

I denna rapport har vi tagit hänsyn till studielitteratur som vi har fått, samtidigt har vi utfört flera intervjuar med flera företag som jobbar med björkträ i Sverige samtidigt har vi samlat alla data som behöves för undersökningen.

Med den här texten har vi att beskrivet en metod för att analysera flödet av björkträ och energiförbrukningen i systemet, som kallas materialflödesanalys vilket innebär att man skapar en modell av systemet där beskrivas hur björkträ och energiförbrukning rör sig mellan olika delar av systemet. Detta görs genom att identifiera källor, processer, lagring och avfallshantering av björkträ materialet och energiförbrukning i systemet som björkens bearbetas genom.

Genom att skapa flera flödesscheman av systemet kan man sedan använda MFA-metoden för att identifiera alla steg och genomföra energiförbrukning samt koldioxidutsläpp och problemområden, och för att undersöka effekterna av olika scenarier eller förbättringar det vill säga att vi kommer att se vilka steg kan man minska utsläpp eller energianvändningen. Detta kommer vi att genomföra under examensarbete, med hjälp av litteraturstudier som vi har fått samt data och information som vi fått av företagen.

Under examensarbetet har vi också att samlat data samt information från företag som har specialiserat sig med björkträ som Vanhälls såg AB, Björkträ Timber AB och Sydved AB, som skogsbruk som hugger björkträ och transportera den till sågverket. Efter information samling så kommer att forska hur björkträ behandlas under alla steg från skogen till utställningen i Södra Frihamnspiren 15 Göteborg.

Samtidigt beräkna hur mycket är avkastning och restproduktion av björkträ samt beräkna energiförbrukning och globala uppvärmingspotential som orsakas av björkträ till exempel den totala virkesbehov som behövs för att bygga paviljongmodell som skulle byggas i Frihamnen, totala dieselförbrukning för virkesbehoven och totala globala uppvärmingspotential för virkesbehoven med andra ord från skogen till byggarbetsplatsen.

Efter alla information samt beräkningar har utfört samt analysen är klar, så har vi presenterat resultaten på olika sätt, till exempel i form av flödesschema, Excel tabeller eller grafer.

3.4 Livscykelanalys

I denna rapport kommer livscykelanalysen att basera sig på den funktionella enheten per arkitektursdesign. Med detta innebär det att jämförelsen med alternativa träslag som gran och tall kommer att utgå från samma referensmodell med samma dimensioner. Därmed kommer barrträd gran och tall att jämföras med björk som ett hårt träslag i samma volymvirke oberoende av materialens olika karakteristik.

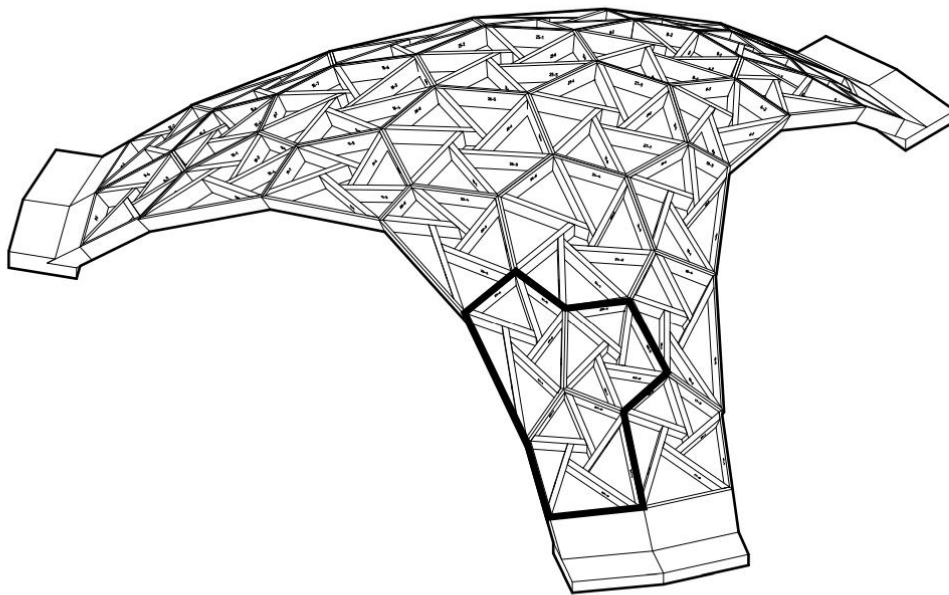
För de hållbara indikatorerna så är det enbart den globala uppvärmningspotentialen, GWP, som undersöks. Gällande livscykelanalysens omfattning så kommer enbart materialet björkträ att analyseras vilket innebär att den globala uppvärmningspotentialen för processer som inte har direkt koppling till materialets försörjningskedja som exempelvis skruvar och skruvmaskiner, kommer inte att tas hänsyn till i analysen.

Vidare in i livscykeln så kommer en livscykelinventarie att skapa utifrån datainsamlingen från litteraturstudier, fallstudier och intervjuer. För att genomföra detta har Microsoft Excel använts för att sammanställa innehållen för utsläpp, energiåtgång och resurshanteringen från björkens materialflöde från modul A1-A5. Utifrån livscykelinventarie som skapas så kan därmed beräkningar genomföras för respektive process utifrån den bearbetade materialflödesanalys.

Med denna kan resultat presenteras i form av stapeldiagram där den globala uppvärmningspotentialen för varje modul från A1-A5 att tolkas och bedömas. I samband med resultat från björkens globala uppvärmningspotential för paviljongen så används miljövarudeklarationen för gran och tall för att skapa en jämförelse mellan björken och andra träslag utifrån hållbara aspekter.

3.5 Fallstudie

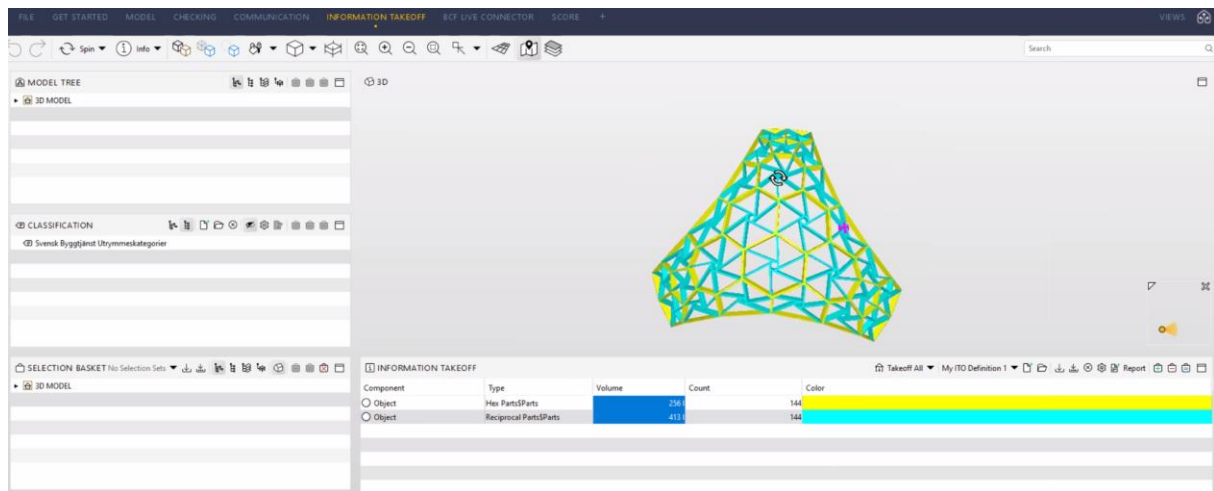
Vid utförandet av materialflödes- och livscykelanalys av björkträ materialet så krävs användning av en referensmodell som både styr typen av datainsamling och vilka dimensioner som analyserna utgår ifrån. I denna rapport kommer analyserna att utgå från en paviljong, se figur 5 (Colome, S.M., et al., 2022).



Figur 5. Paviljongmodellen som kommer användas som referensmaterial vid material-och livscykelanalys (Colome, S.M., et al., 2022).

Uppbyggnaden av paviljongen går framför allt ut på att montera ihop 28 olika kassetter i form av pentagoner, hexagoner och heptagoner (Karl Åhlund, 2022). Genom användningen av bultar och muttrar så kan dessa kassetter slås ihop med varandra och bilda en takstruktur. För att sedan stödja takstrukturen så har tre stöd konstruerats av hyvlat och impregnerat trä som sedan ihopsatts med takstrukturen genom ytterligare bultar och muttrar. Den totala materialåtgången för timmerstrukturen ligger på 1,161 m³ och består av 6 plywoodskivor med dimensionerna 2500x1200 samt 120m byggnadstimmer av 45x145 med korrosivitetsklassen C3. Däremot ligger själva paviljongens trävolym på 0,669 m³ vilket innebär att resterande material används för byggnation av stöden och biprodukterna från sågning gick till återvinning.

Den totala virkesvolymen för paviljongen beräknades med hjälp av programmet Rhino 7 i samband med Solibri. Genom att skapa en IFC fil från programmet Rhino 7 av paviljongmodellen så kan information extraheras från ett annat program, Solibri, se figur 6 för informationsextraktionen. Utifrån informationsextraktionen så har paviljongens trävolym beräknats till 0,669 m³.



Figur 6. Extraktionen av paviljongens volym genom Solibri med IFC fil skapat från Rhino 7 av paviljongmodellen.

För att utforma varje enskilt stycke träbit som tillsammans bygger upp till paviljongen så har programmet Grasshopper använts för att programmera robotarmen KUKA och skapa NC filer som avgör robotarmens rörelser för CNC skärning av timmer genom drift av sågmotor på armen (Karl Åhlund, 2022). Vid hopsättningen av takstrukturen med stöden så har en kran på lastbil använts.

Utöver utformningen av paviljongen så har även polypropenskvivor används för att beklä timmerstrukturen med syftet att skydda trimmern från störningar av yttre klimatet som bland annat nederbörd. För att vidare öka fuktbeständigheten av timmerstrukturen så har även varje enskild del av timmerstrukturen som inte är impregnerat trä blivit målad av trålasyr som fuktskydd. Gällande plastskivorna som använts så är de ursprungligt hämtade i form av granulater av havsplast där utformningen och produktionen av skivorna sker i Chalmers. Slutligen kommer även stöden av timmerstrukturen att bli beklädnad av 3D printade cellulosa komposit med hjälp av robotarmen KUKA i Chalmers.

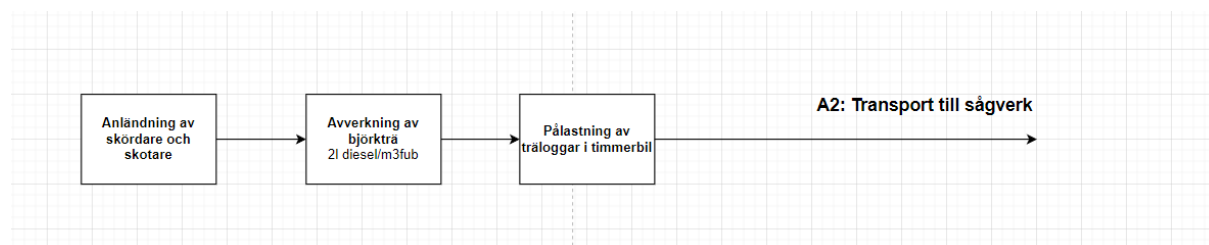
Syftet med paviljongmodellen är för Chalmers att presentera en modell för att fira som en del av Göteborgs 400 årsfirandet och kommer att vara utställd i Jubileumsparken, Södra Frihamnsplan 15 och är planerad i samverkan med Göteborg & Co och Stadsbyggnadskontoret. I detta examensarbete kommer enbart de ingående virkeskomponenterna för paviljongen exkluderande stöden att vara av betydelse för analyserna. Detta innebär att livscykel- och materialflödesanalyserna inte kommer att beakta materialflödet för bland annat polypropenskvivorna och andra ingående strukturer av andra byggnadsmaterial.

4 Resultat och diskussion

4.1 Materialflödesanalys

Arbetet börjar genom att skogsbruk företaget Sydved AB anställda transporterar maskiner och traktorer till skogsområdet för att fälla och bearbeta träden. Skördare och transportörer används för att lyfta upp timmer och lasta det på vagnar och de mest använda maskinerna är John Deere 1270 skördare samt Ponsse Scorpion skördare och skotare.

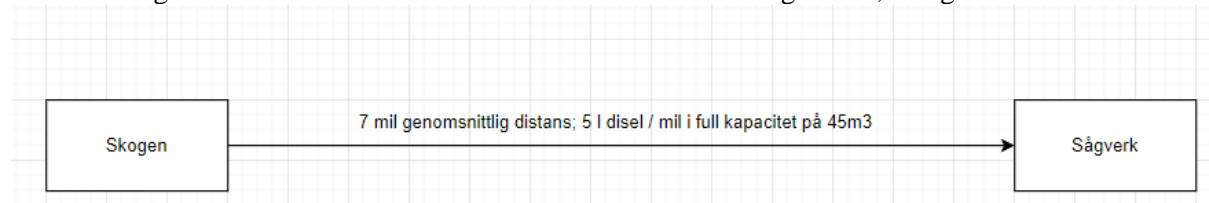
För att beräkna mängden av trä som avverkas och transporteras till sågverken används måttenheterna $m^3\text{fub}$ och $m^3\text{to}$. Skogskunskap (2021) beskriver att $m^3\text{fub}$ står för fastkubikmeter under bark, vilket innebär att volymen av trävirket har räknats ut utan att ta hänsyn till luften mellan stockarna och barken på trädet har tagits bort. $m^3\text{to}$ står för toppkubikmeter, vilket innebär att volymen av trävirket mäts upp till toppen av trädet och inkluderar barken. Efter avverkning sorteras stockarna efter kvalitet och transporteras via specialanpassade släpvagnar till Björkträ Timber AB eller Vanhälls såg AB. Sydved AB använder timmerbilar för att föra björkarna från skogsområdet till sågverken. Alla maskinerna drivs med diesel, se figur 7.



Figur7. figuren visar första steget som görs för att bearbeta Björkträ som råvarumaterial.

Vid ankomst till skogsområdet parkerar föraren transporten på en lämplig plats. En enskild skördare kan skörda ungefär $100 m^3\text{fub/h}$ timmer, medan hälften blir massaved och hamnar i massabruk och blir papper. I slutavverkning, som involverar mogna träd och innebär att alla träd huggs ner, består 70% av timmer och 30% av massaved i form av rundvirke. När gäller utsläppet för maskinerna, så förbrukar en skördare och en skotare tillsammans en mängd av diesel per m^3 där kommer visas i LCA, men detta är en mycket ungefärlig siffra.

Björkträden bearbetas på plats för att minska vikt och volym för transport. Avverkade loggar sorteras enligt kvalitet och skickas vidare för transport. Sydved AB använder timmerbilar för att transportera björkträden från skogsområdet till Vanhälls såg AB och Björkträ Timber AB. Timmerbilarna kan lasta flera träloggar på en gång och är utrustade med specialanpassade släpvagnar. Transporten sker på allmänna vägar som är avsedda för stora lastbilar som leder till sågverken, se figur 8.

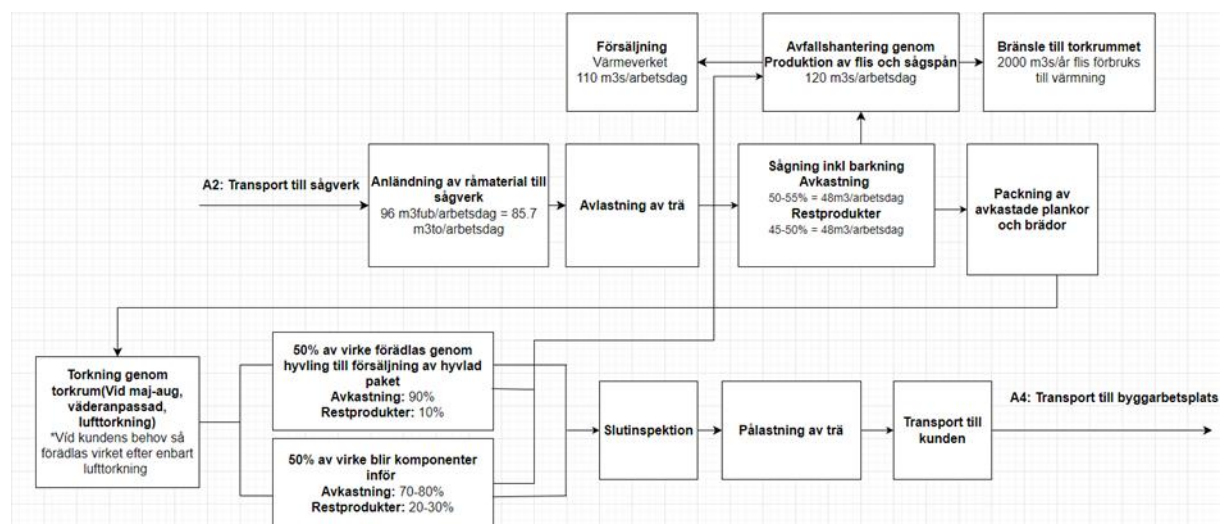


Figur8. figuren visar andra steget när björkträ transporteras från skogen till sågverken.

Om vi tittar på Björkträ Timber AB samt Vanhälls såg AB, kan vi observera att dessa svenska företag har som sina mängder att köpa och producera olika produkter ifrån björkträ med möjlighet att också leverera virke utifrån kundens behov av speciella dimensioner utanför sågverkets standarddimensioner, båda företag har gett godkänt dimensioner. Första steget som företag genomför

är att lägga en order och beställa björkträd, som dom får från skogsbruk till exempel Sydved AB eller andra företag, som ligger nära fabriken på en distans cirka 7 mil enligt Sydved AB.

När timret anländer till inspekteras det för att se om timret har defekter samt den allmänna kvaliteten på träden som har beställts in till sågverket, efter att de har blivit avverkade. Först sågar man träden till mindre stycken med hjälp av maskiner med monterade sågar. Sedan avbarkar man träden, vilket innebär att man tar bort barken. Träden sorterar sedan efter kvalitet och dimension. Sedan sker sågning och barkning av träet på sågverket, vilket ger en avkastning på 50–55% eller 48–52,8 m³to/arbetsdag, det vill säga att bearbetas i genomsnitt 96 m³fub. För att räkna hur mycket avkastning blir kan man omvandla björkträvolym från skogsbruksleveranser till 85,7 m³to, genom att multiplicera avkastningen med 1,12 enligt Björkträ Timber AB. Detta resulterar i att det blir mycket spill och restprodukter. För att minska svinnet används resterna för att producera sågspån och flis. Detta kan sedan användas som bränsle för att värma upp fabriken och torkrummen samt säljas till värmeverket på grund av bristande med information så kunde vi inte räkna utsläppen på den, se figur 9.



Figur 9. figuren visar tredje steget samt hur björkträ behandlas innan den transporteras.

Efter anlände av materialet går björkträloggar vidare till timmersortering inför sågning, torkning och förädling. Vid sågning utgör 55% av materialutbytet plankor och brädor medan resterande 45% går till restproduktion. Därefter blir det genomsnittliga dagliga utfallet 42,86 m³ av plankor och brädor. Detta resultatet har beräknats genom multiplicering av avkastningen med 0,5. På samma sätt har vi beräknats restproduktion genom att multiplicera totala avkastningen med 0,45 vilket ger oss cirka 38,57 m³ av restproduktion. Också kan man räkna Snitt avkastning av timmersågning genom att addera sågning av timmer restprodukter, 45–50% utmatning med sågning av timmeravkastning delad med 2. Vi får Snitt avkastning av timmersågning 45 m³/arbetsdag. På samma sätt har vi räknat snitt restproduktion av timmersågning gnom att addera 45% restproduktion av 85,7 m³to timmer vilket innebär cirka 38,6 till 50% restproduktion av 85,7 m³to timmer 42,9, så får vi ungefär 40,7 m³/arbetsdag.

Restprodukterna från sågningen, som utgör 47,5% eller 43,20–48 m³to/arbetsdag, hanteras genom produktion av flis och sågspån vilket omvandlas till 120 m³s/arbetsdag enligt Björkträ Timber AB. Fabriken använder flis som bränsle till torkrummet med en förbrukning på 2000 m³s/år. Resten av flisen säljs till värmeverket med en volym på 110 m³s/arbetsdag. Det kommer också en viss mängd material från förädlingen, som ska riktas till flisproduktionen. Av en volym på 100 m³fub, blir det cirka 50 gånger 2,5 m³ flis. Sågutbytet är olika det beror på hur stort kommer in. Barken ingår också i flisen och mäts under barken. Mängden sågat virke per dag varierar. Vid behov förädlas virket efter

enbart lufttorkning mellan maj och augusti, vilket kan vara billigare för både kunden och fabriken. Efter detta steg förädlas 50% av virket genom hyvling till försäljning av hyvlade paket med en avkastning på 90% och restprodukter på 10%. De återstående 50% av virket används till att skapa komponenter med en avkastning på 70–80% och restprodukter på 20–30%, vilket påverkar inte vår LCA för att vi behöver ingen komponenter.

Vedvolymen mäts i kubikmeter fast material under barken, och veden mäts när den är torr. Björk krymper med 9 % medan enligt Björk trä Timber AB. För att säkerställa att den levereras i rätt storlek läggs till björken ytterligare 9 % extra innan den krymper. Plankor grov balas efter sågning och placeras i springor så att luften kan cirkulera, mellan maj och augusti, lufttorkning torkar björkträ ner till 16–18% av fuktigheten som björk innehåller. Detta innebär att Björkträ Timber AB behöver extra torkkammare också. Torktiden minskar med 50% om det är lufttorrt först innan man tar den till torkkammaren.

Efter sågning följer hyvling av virke till hyvlade paket. Avkastningen för hyvling är 50% av avkastningen vid sågning vilket motsvarar 19,29 m³ av hyvlade paket. Den här summan fick vi efter multiplicering av hyvling avkastning 90% med sågning av timmeravkastning cirka 42,9 m³/arbetsdag och multiplicera med 0,5.

Man kan också räkna ut hyvling av virke till hyvlat paket restproduktion, 10 % av restproduktion då fick vi den här siffran genom att multiplicera hyvling restproduktion 10% samt multiplicera med 0,5. Genomsnittligt utfall för hyvling av hyvlade paket, vilket vi fick det efter addering 50% av avkastningen vid sågning på ungefär 19,3 m³/arbetsdag. Med 55% av avkastningen vid sågning delad med två. Restproduktion per dag som beräknats av addering 50% av avkastningen vid sågning. Med 55% av avkastningen vid sågning delad med två. Sågverken har restproduktion på cirka 120 kubikmeter/dag, för att använda det som bränsle för att värma upp fabriken och torkrummen eller säljas det till värmeverket.

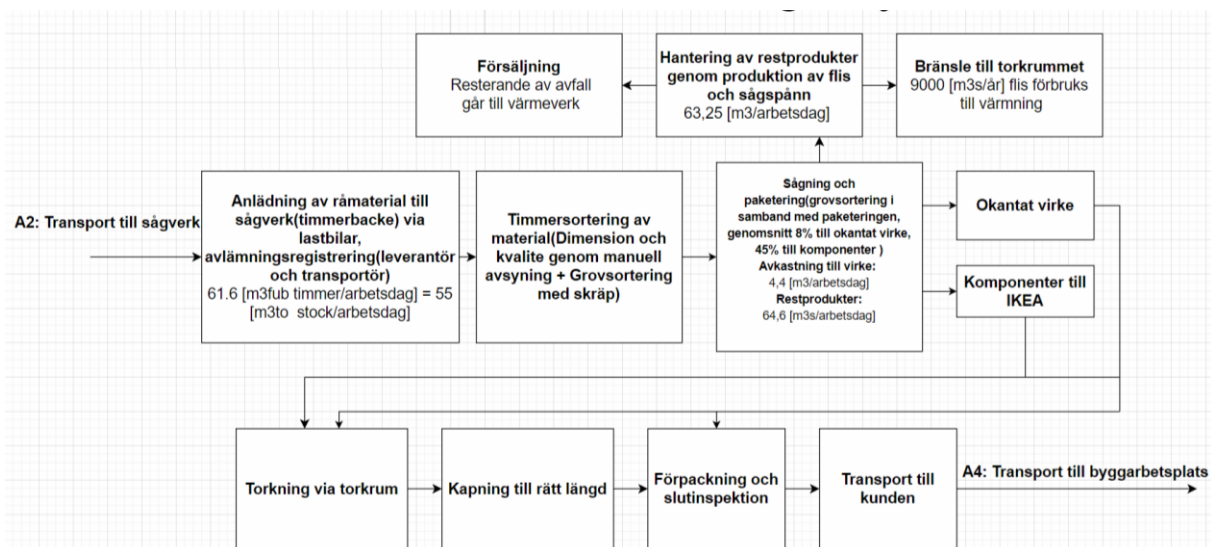
Detta innebär att med den genomsnittliga bearbetat björkträtimmer i Björkträ Timber AB på 55 m³to / produktionsdag så får vi 20,25 m³ producerad okantat virke. Den ger oss den totala producerat övriga komponenter på cirka 16,9 m³. Tillslut får vi den totala producerat flis-och sågspån på cirka 48,6 m³s, se tabell 10.

Tabell 10: Tabell visar beräkningar för volymen virke samt restproduktion för Björkträ Timber AB.

Produktion	Värde	Enhet
Total producerad hyvlat virke	20.25	m ³
Total producerat övriga komponenter	16.87	m ³
Total producerat flis-och sågspån	48.59	m ³ s

Efter förädlingsprocessen genomförs en slutinspektion av det färdiga björkträet för att kontrollera kvaliteten. Björkträ Timber AB har höga kvalitetskrav på sitt trä och genomför noggranna kvalitetskontroller för att säkerställa att produkterna uppfyller de högt ställda kraven. När kvalitetskontrollen är klar, pålastas det färdiga träet med hjälp av en VOLVO 70G-traktor och transporteras till kunderna med lastbil, tåg, båt allt beror på kundens distans.

Gällande materialflödet genom Vanhälls Såg AB så påbörjar processen med anländning av råmaterial till timmerbacken via lastbilar, se figur 8 för fullständigt flödesschema. I detta steg mottas björkträloggar från transportören som vidare skickas till timmersortering där det sker bland annat förinspektion och grovsortering. Enligt resultatet från intervjun med Vanhälls såg AB så bearbetas sågverken i genomsnitt 61.6 m³fub avlämnade timmer från skogsbruksleveransen vilket omvandlas till 55 m³to, se figur 11.



Figur11. Flödesschema för modul A3: Produktion och utformning av björkträ i Vanhälls såg AB

Detta innebär att med den genomsnittliga bearbetat björkträtimmer i Vanhälls såg AB på 55 m³to / produktionsdag så får vi 4,4 m³ producerad okantat virke. Den ger oss den totala producerat övriga komponenter på cirka 24,8 m³. Till slut får vi den totala producerat flis-och sågspån på cirka 64,6 m³s, se tabell 12.

Tabell 12: Tabell visar beräkningar för volymen virke samt restproduktion för Vanhälls såg AB.

Produktion	Värde	Enhet
Total producerad okantat virke	4.4	m ³
Total producerat övriga komponenter	24.8	m ³
Total producerat flis-och sågspån	64.6	m ³ s

Vidare i processen då går björken genom sågning och packning med 53% av avkastning, där det sker avkastning i form av restproduktion av biprodukterna sågspån och flis, men även okantat virke och komponenter. För sågningen ligger avkastningen eller utbytet är 8% från totala sågning enligt Pär Stål. Det vill säga att 8% av totala volymen anlända björk från transport via lastbilar kommer att sågas till virke. Det vill Då blir komponenter resterande 53-8=45%. Spillet 100-53=47% blir sågspånflis 0.47totala volymen x2.5= flisspån.

För flisproduktionen så används förändringsfaktorn 2.5 för att omvandla resterna från sågning till flis och sågspån. Genom omvandlingen så resulterar volymen flis och sågspån till 64.6 m³ stjälp per produktionsdag. Av restproduktionen från sågningsprocessen så återanvänds 9000 m³ stjälp per år som bränsle till torkrummet i sågverket för uppvärmning. Den resterande andelen flis-och sågspån som inte går till sågverkets egna torkrum som bränsle, används i stället som försäljningsvara till värmeverk. På grund av bristande information från datainsamlingen så kunde sågspån-och flisförbränningens utsläpp i torkrummet beräknats fram.

För livscykelanalysen av paviljongen i modulen "A3: Produktion av björkträvirken på Vanhälls såg AB" så kommer det totala timmersbehovet från skogsbruket att ligga på ungefär 24,63 m³fub vilket innebär 21,99 m³to björkträloggar. Detta innebär att avkastningen som blir till virke kommer att landa på cirka 1, 161 m³ vilket också speglar till den totala virkesvolymen som köptes in för byggnation.

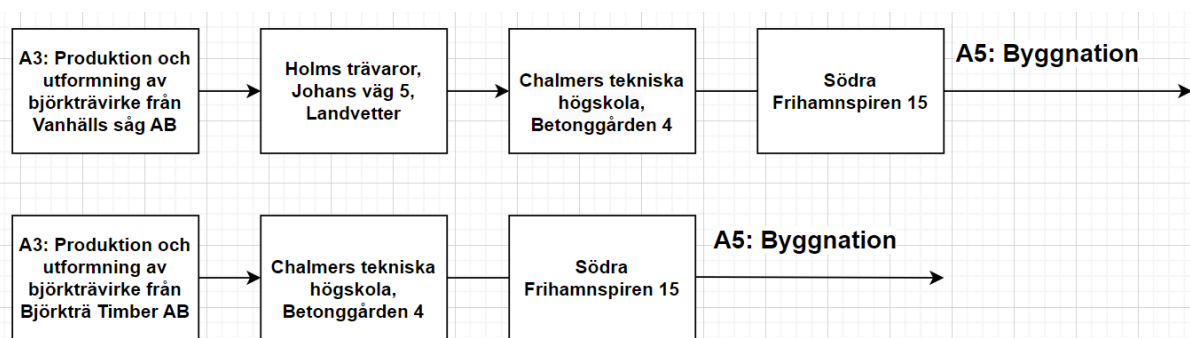
I samband med sågningsprocessen så paketeras plankorna och bräderna i grovsorteringar och paketeringen inför torkning. När det kommer till virke från sågningen och packning så förflyttas materialen till torkrum där det placeras i jämna mellanrum så att varm luft kan cirkulera mellan paketen av björkträvirke. Beroende på beställning och säsong så kan även lufttorkning tillämpas för att bland annat spara på energiförbrukning.

Vid torkningen så är det förväntat att virken kommer att krympa sig, och krympmånen enligt sammanställda data från intervjun hamnar på 4% om torkningen sker genom lufttorkning och ytterligare 4% krympning om virken placeras därefter till torkrummet. För att dimensionera rätt så överdimensioneras träloggarna inför sågning. Detta innebär bland annat att om kunden vill ha 50 mm nertorkad så bör det vara 54 mm vid sågning. Uppskattningen av eventuella krympningar tas hänsyn till vid bestämning av andelen för avkastning. För eventuella böjningar och krokningar så är det även i sågningsprocessen också förväntat att det kan förekomma.

Efter sågningsprocessen och torkningen så kapas virke till rätt längd med hjälp av en kapningsmaskin. Den totala andelen avkastning för sågning inkluderar även denna förädlingsprocess och därmed sker det inga beräkningar vid denna process.

Slutligen, efter torkning och kapning så går virken till slutinspektion inför förpackning och transport till kunden.

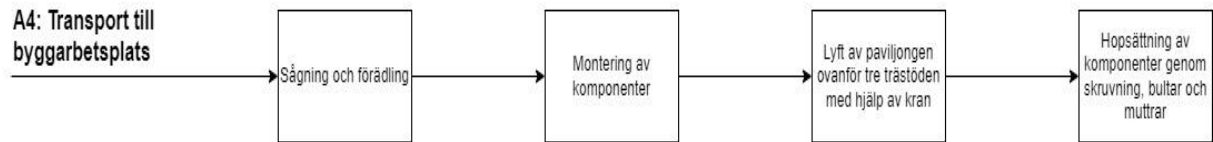
Vidare till transportprocessen till byggarbetsplats för björkträ från Björkträ Timber AB och Vanhälls såg AB till byggarbetsplatser så kan detta ske på olika sätt beroende på beställaren se figur 7. För att transportera stora mängder björkträ beställer Vanhälls såg AB en stor lastbil från DHL för att leverera till en trävaruhandel som Holms trävaror i Landvetter. Chalmers tekniska högskola kan sedan beställa sina behov av björkträ från Holms trävaror, där små lätt lastbilar används för att transportera björkträ till högskolan. Björkträ Timber AB samlar och packar sina björkträprodukter utanför fabriken och beställer sedan en transportbil från DHL, antingen en stor lastbil eller en små lätt lastbil beroende på beställarens behov. DHL levererar sedan björkträet direkt till kunden, som kan vara verksam inom möbeltillverkning eller Chalmers tekniska högskola. När DHL-bilen kommer till Chalmers tekniska högskola lastas björkträprodukterna av och utformas till komponenter, som sedan transporteras till Frihamnen i Södra Frihamnspiren 15 inför slutbyggnation, se figur 13.



Figur13. figuren visar fjärde steget samt hur björkträ transporteras till byggarbetsplats/utställning i Södra Frihamnspiren 15 i Göteborg.

I det slutliga stadiet av materialflödet så beskrivs byggnationen vilket i detta fall blir bygget av paviljongen i samband med dess tre stöd, se figur 8. Början av byggnationen inleds med dimensionering av önskade mått på delarna genom sågning av robotarm i Chalmers tekniska högskola.

På grund av behovet av en mer komplex utformning där allt fler vinklar tas hänsyn till vid sågning så landade drifttiden av sågning med robotarmen på ungefär 22 timmar. Efter sågningsprocessen så monteras varje del ihop och bildar rutnätsutformningen av paviljongen. I samband med hopsättningen av delarna så byggs även stödet emellertid. När paviljongen och stöden är färdigbyggda så transporteras komponenterna till Frihamnen där den slutliga monteringen tar plats. Transporten till Frihamnen är indelad i två omgångar då lastkapaciteten överskreds vid full belastning av första transporter. När komponenterna slutligen anlände i Frihamnen så kördes en lyftkran i 30 minuter för att lyfta paviljongen över de tre stöden inför hopskruvning, se figur 14.



Figur14. Figuren visar femte modulen samt hur paviljong byggs.

4.2 Livscykelanalys

4.2.1 A1: Råvaruförsörjning genom skogsbruk

Skogsbruket Sydved AB kör all sina maskiner med diesel, vilket i sin tur kan leda till en mängd av utsläppen från maskinerna. Denna utsläppen har beräknats genom av omvandling l/diesel som ger cirka 2,6 kg CO₂-ekv enligt Jonson, U, Westerberg, N (2023). Genom att beräkna 2 liter diesel per m³fub enligt Sydved AB, vilket ger ett värde beräknat som är 2 multiplicerat med 2,6 kg CO₂-ekv som ger 5,2 kg CO₂-ekv per m³.

För Vanhälls såg AB har totalt sett uppgår virkesbehovet till 16,25 m³fub enligt köplistan den här siffran har vi fått av köplistan för virke, vilket innebär totala virkesvolymen som köptes in för byggnation. Med en dieselförbrukning på 32,51 l diesel som beräknats av multiplicering av totala virkesbehovet med dieselförbrukning. Samt för att få totala globala uppvärmingspotential för virkesbehoven så beräknats det av totala dieselförbrukning för virkesbehoven gånger med 2,6 som ger den totala globala uppvärmingspotential på 83,87 kg CO₂-ekv.

För Björkträ Timber AB har totalt sett uppgår virkesbehovet till 2,75 m³fub, den här siffran har vi fått av multiplicering 1,12 med avkastning 47,25% vilket är 2.5 m³to. Dieselförbrukning på 5,50 l/diesel som beräknats av multiplicering av totala virkesbehovet med dieselförbrukning. Samt för att få totala globala uppvärmingspotential för virkesbehoven så beräknats det av totala dieselförbrukning för virkesbehoven gånger med 2,6 som ger den totala globala uppvärmingspotential på 14,20 kg CO₂-ekv. Björkträ Timber AB och Vanhälls såg AB gör nästan samma sak men det blir andra siffror för att de har andra avkastning, se tabell 15.

Tabell 15. Beräkningar på globala uppvärmingspotential från skogsbruket som sker efter första modulen, A1.

Ingående parameter för A1: Råvaruförsörjning genom skogsbruk	Värde	Enhet
Genomsnittlig dieselförbrukning från avverkning med skotare och skördare:	2	l diesel / m ³ fub
Totala global uppvärmingspotential för avverkning:	5.16	[kg CO ₂ ekv / m ³ björkträ]
Alternativ köp av björkträvirke från Vanhälls såg AB		
Totala virkesbehov från skogsavverkning:	16.25	[m ³ fub]
Totala dieselförbrukning för virkesbehoven:	32.51	[l diesel]
Totala global uppvärmingspotential för virkesbehoven:	83.87	[kg CO ₂ ekv]
Alternativ köp av björkträvirke från Björkträ Timber AB		
Totala virkesbehov från skogsavverkning:	2.75	[m ³ fub]
Totala dieselförbrukning för virkesbehoven:	5.50	[l diesel]
Totala global uppvärmingspotential för virkesbehoven:	14.20	[kg CO ₂ ekv]

4.2.2 A2: Transport till sågverk

I beaktande av steg två i virkesproduktionen hos Björkträ Timber AB samt Vanhälls såg AB, är transporten av björkträden från skogen till sågverket av betydelse. För att reducera vikt och volym av björkträden på plats bearbetas de innan de sorteras efter kvalitet och vidarebefordras för transport. Transporten utförs av timmerbilar från Sydved AB, som kan lasta 45 ton av träloggar på en gång och är utrustade med anpassade släpvagnar. Transporten sker på allmänna vägar som är avsedda för stora lastbilar och leder till sågverken Vanhälls såg AB eller Björkträ Timber AB. Den genomsnittliga transportdistansen är ungefär 7 mil enligt Sydved AB från skogsbruksområdet till skogsindustrin.

När det gäller transport till sågverken Vanhälls såg AB så är den totala transporterade virke är 16,254 m³fub enligt köplistan. vilket leder till en total dieselförbrukning vid full kapacitet (45 m³) på 5 l/diesel enligt Sydved AB. Detta ger oss den totala dieselförbrukning för virkesbehoven på 12,64 l/diesel, som beräknats av dividering av den totala transporterade virke med full kapacitet, resultat har vi gångrat med den totala dieselförbrukningen vid full kapacitet, samt multiplicerat med den totala transporterade virke. För att beräkna den totala globala uppvärmingspotential för virkesbehoven så har vi beräknat det genom multiplicering den totala dieselförbrukningen för virkesbehoven med 2,6 kg CO₂-ekv, så blir det ungefär 32,62 kg CO₂-ekv.

För Björkträ Timber AB blir den totala dieselförbrukningen för virkesbehoven på 2,75 l/diesel, som beräknats av dividering av den totala transporterade virke, med full kapacitet 45 m³fub. Samt gångrat med den totala dieselförbrukningen vid full kapacitet. Efter det har vi multiplicerat med den totala transporterade virke. För att beräkna den totala globala uppvärmingspotential för virkesbehoven så har det beräknat av multiplicering den totala dieselförbrukningen för virkesbehoven med 2,6 kg CO₂-ekv, så blir det cirka 5,52 kg CO₂-ekv. Processen för båda företag är nästan samma men det blir andrasiffror för att de har andra avkastning, se tabell 16.

Tabell 16: Tabell värdet på beräkningar transport till sågverk som är andra modulen i livscykeln, A2.

Ingående parameter för A2: Transport av björkträloggar till sågverk		Värde	Enhet
Alternativ transport från skogsbruk till Vanhälls såg AB			
Totala transporterade virke:		16.254	[m ³ fub]
Totala transportdistans:		7	[mil]
Totala dieselförbrukning vid full lastbil på 45m ³ :		5	[l diesel / mil]
Totala dieselförbrukning för virkesbehoven:		12.64	[l diesel]
Totala global uppvärmningspotential för virkesbehoven:		32.62	[kg CO ₂ ekv]
Alternativ transport från skogsbruk till Björkträ Timber AB			
Totala transporterade virke:		2.75	[m ³ fub]
Totala transportdistans:		7	[mil]
Totala dieselförbrukning vid full lastbil på 45m ³ :		5	[l diesel / mil]
Totala dieselförbrukning för virkesbehoven:		2.14	[l diesel]
Totala global uppvärmningspotential för virkesbehoven:		5.52	[kg CO ₂ ekv]

4.2.3 A3: Produktion av björkträvirken på Björkträ Timber AB

Arbetet försätta till nästa modul där när virket har analedat till sågverken Björkträ Timber AB , inleds steget med att beskriva resursförbrukningsdata, se tabell 17 för mer information.

Tabell 17. Tabellvärden på Björkträ Timber AB:s årliga förbrukningar av resurser, avkastning och antalet produktionsdagar.

Tabellvärden	Värde	Enhet
Årlig energiförbrukning:	800 000	[kWh/år]
Årlig dieselförbrukning:	14 000	[l/år]
Antal arbetsdagar	200	[dagar]
Sågning avkastning	50-55%	[%]
Sågning restproduktion	40-50%	[%]
Hyvling avkastning:	90%	[%]
Hyvling restproduktion:	10%	[%]
Utformning till komponent avkastning	70-80%	[%]
Utformning till komponent restproduktion	20-30%	[%]

Efter datasamling av Björkträ Timber AB, så har vi räknat snitt avkastning av timmersågning på 45 m³/arbetsdag. Samtidigt har vi räknat snitt restproduktion av timmersågning på 40,7 m³/arbetsdag. Vi har också räknat ut snitt hyvling av virke till hyvlat paket (avkastning) med cirka 20,25 m³/arbetsdag. På samma sätt har vi fått snitt hyvling av virke till hyvlat paket (restprodukten) på cirka 2,25 m³/arbetsdag, se tabell 18.

Tabell 18. Beräkningsgången för volymen plankor och bräder samt restproduktion i Björkträ Timber AB.

Sågning av timmer(Avkastning, 50-55% utmatning)	värde	Enhet
Snitt avkastning av timmersågning	45	[m ³ /arbetsdag]
Snitt restproduktion av timmersågning	40.7	[m ³ /arbetsdag]
Hyvling av virke		
Snitt hyvling av virke till hyvlat paket(avkastning)	20.25	[m ³ /arbetsdag]
Snitt hyvling av virke till hyvlat paket(restproduktion)	2.25	[m ³ /arbetsdag]

När det gäller beräkning av flis-och sågspånförbränning för Björkträ Timber AB.Vi har fått data från intervju att processerad björkträloggar är 85,71 m³fub, samt arbetsdagar är 200 dagar. Fabriken producerar utbyte till hyvlat virke på cirka 0,23625%. Detta ger oss hur mycket är utbyte till övriga komponenter. Vi får den totala utbyte till flis-och sågspån på cirka 0,566875%, den här siffran fick vi av beräkningen som har utfört för ett minus utbyte till hyvlat virke - utbyte till övriga komponenter. Produktion har vi räknat från den total processerad hyvlat virke 20,25 m³, den här siffran fick vi från beräkningen av utbyte till hyvlat virke med processerad björkträloggar. Med det kunde vi räkna den totala processerad övriga komponenter som är cirka 16,9 m³, detta fick vi av multiplicering av utbyte till övriga komponenter med processerad björkträloggar. Tillslut fick vi den totala processerad flis-och sågspån på cirka 48,6 m³s, detta fick vi av multiplicering av utbyte till flis-och sågspån med processerad björkträloggar.

För flisproduktionen så används förändringsfaktorn cirka 20.25 m³, för att omvandla resterna från sågning till flis och sågspån. Genom omvandlingen så resulterar volymen flis och sågspån till 68.4 m³ stjälp per produktionsdag. Årlig flisförbrukning till torkrummet är 2000 m³s, som är räknat av totala flisförbrukning på 220 arbetsdagar som ger efter multiplicering 9717,4 m³s. Av den totala flisåtgång till försäljning (Resterande som inte går till torkrummet) så 7717,4 m³s, den här siffran fick vi av 9717,4 – 2000 m³s det vill säga den totala flisförbrukningen på 220 arbetsdagar - Årlig flisförbrukning till torkrummet. För att veta andelen användning av flis-och sågspån till torkrummet så har vi delat årlig flisförbrukning till torkrummet med totala flisförbrukning på 200 arbetsdagar som gav oss cirka 20%. För att veta den totala volymen flis-och sågspån per m³ hyvlat virke, så har vi delat den totala producerat flis-och sågspån som är 48,6 m³s med total producerad hyvlat virke som är 20,25 m³ detta har gett oss cirka 1,3 m³s. Totala volymen flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke har vi räknat genom multiplicering av andelen användning av flis-och sågspån till torkrummet med den totala volymen flis-och sågspån per m³ okantat virke som gett oss cirka 0,3 m³s, se tabell 19.

Tabell 19: Tabell visar beräkningar på flis och sågspån-förbrukning i Björkträ Timber AB.

Flis och sågspån	Värde	Enhet
Årlig flisförbrukning till torkrummet enligt intervju	2000	m ³ s/år
Totala flisförbrukning på 220 arbetsdagar enligt beräkningar	9717.3713	m ³ s/200 dagar
Totala flisåtgång till försäljning (Resterande som inte går till torkrummet)	7717.3713	m ³ s
Andelen användning av flis-och sågspån till torkrummet	0.205817	
Totala volymen flis-och sågspån per m ³ hyvlat virke	1.3088023	m ³ s
Totala volymen flis-och sågspån som används till torkrummet per m ³ hyvlat virke	0.2693737	m ³ s

När det gäller omvandling till kg flis-och sågspån / m³ okantat virke, så är förhållande för 1 m³to björkträlog till m³s blir cirka 2,5 m³s. Med densitet på 480 kg/ m³ och 2,5 m³s flis-och sågspån i kg ger 480 kg. Vi fick veta att 1 m³s flis och sågspån i kg ger 192 kg, den här siffran fick vi av dividering av 2.5 m³s flis-och sågspån i kg med förhållande för 1 m³to björkträlog till m³s. Den totala vikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke. Vi fick den här siffran av multiplicering av 1 m³s flis och sågspån i kg med den totala volymen flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke. Detta leder till genomsnittligt vatteninnehåll från intervju baserad på luft och inomhustemperatur på cirka 13,75% enligt beräkningarna. Vilket kan ge oss totala torrvikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) på cirka 44,6 kg torrsvikt, siffran fick vi av multiplicering av den totala vikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) med (100 - genomsnittligt vatteninnehåll från intervju baserad på luft och inomhustemperatur) delad med 100. Till slut får vi omvandling till kg CO₂ på cirka 94,9 kg CO₂/arkitektursdesign okantat virke, detta fick vi av multiplicering av den totala torrvikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) med 0,5 och 44 delad med 12, till slut får vi EPD Biogen på cirka 123,066 kg CO₂/arkitektursdesign, beräkningen av den här siffran är att multiplicera 106 kg CO₂ / m³ med 1,161 m³, se tabell 20.

Tabell 20: Tabell visar omvandling till kg flis-och sågspån/m³ okantat virke i Björkträ Timber AB.

Omvandling till kg flis- och sågspån / arkitektursdesign	Värde	Enhet
Förhållande för 1 m ³ to björkträlog till m ³ s	2.5	m ³ s
Densitet från Skogforsk	480	kg / m ³
2.5 m ³ s flis-och sågspån i kg	480	kg
1 m ³ s flis och sågspån i kg	192	kg
Totala vikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m ³ okantat virke(14 m ³ s)	51.72	kg
Genomsnittlig vatteninnehåll från intervju baserad på luft och inomhustemperatur från Vanhälls såg AB	13.75	%
Totala torrvikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m ³ okantat virke(14 m ³ s)	44.61	kg torrsvikt
Omvandling till kg CO ₂	94.9	kg CO ₂ / arkitektursdesign
EPD Biogen	123.07	kg CO ₂ -ekv / arkitektursdesign

En Volvo L70G traktor användes vid flyttning av materialet och transport av nästa restprodukt i form av spån och sågspån. Dessa lastare är den enda källan till en årlig dieselförbrukning på 14 000 liter/år den här summan beräknats av dieselförbrukning till traktorn som är 70 l diesel/arbetsdag multiplicerat med antal arbetas dagar per år vilka är 200 dag. Björkträ Timber AB beställer transport från DHL för att transportera produktioners varor till kunderna, företaget transporterar små packet som kan börja med 30 kg till stora 45 ton mängder till kunder, se tabell 21.

Tabell 21. Beräkningar på produktion och utformning av björkträ i Björkträ Timber AB fabrik.

Björkträ Timber AB	
Totala processerad loggar från skogsbruk i m ³ to:	2.46 [m ³ to]
Totala processerad loggar från skogsbruk i m ³ fub:	2.75 [m ³ fub]
Totala output på virken efter sågning med 47,25% avkastning från björkträloggar:	1.16 [m ³]
Totala energiförbrukning per m ³ virke:	107.74 [kWh/m ³ björkträvirke]
Totala energiförbrukningen för totala output på virke:	125.09 kWh
Totala global uppvärmningspotential för energiförbrukning:	1.63 [kg CO ₂ ekv]
Totala dieselförbrukningen per m ³ virke:	1.89 [l diesel/m ³ björkträvirke]
Totala dieselförbrukningen för totala output på virke:	2.19 [l diesel]
Totala global uppvärmningspotential för virken:	5.65 [kg CO ₂ ekv]

När det gäller att beräkna den totala energiförbrukningen för produktionen i Björkträ Timber AB, av trävaror kan den beräknas, genom att multiplicera den genomsnittliga energiförbrukningen per m³ virke, i fabriken med den totala produktionsvolymen. Enligt Vattenfall (2023) omvandlingssiffror, vilket motsvarar över ungefär 13 g/kWh. Detta ger en total energiförbrukning på 125,1 kWh. Detta kan ge oss totala energifaktorn cirka 1.6 kg CO₂ ekv. Från det kan vi få den siffran av multiplicering den totala energiförbrukningen för virkesbehoven med 0.013g/kWh.

För att beräkna den totala dieselförbrukningen för företaget Björkträ Timber AB, så kan man enkelt multiplicera den genomsnittliga dieselförbrukningen per m³ virke, med avkastningen på 47,25% av sågningen som går till plankor och bräder. Resultaten på den beräkning som gjort ger en total bränsleförbrukning på 4,6 l/diesel. Detta kan hjälpa till för att beräkna den totala utsläppsfaktorn för dieselförbrukningen, så kan man multiplicera den genomsnittliga dieselförbrukningen per m³ virke med 11,9 kg CO₂-ekv l/diesel.

Slutligen görs en slutinspektion på björken innan den packas och förberedas till transport. För Björkträ Timber AB så kommer leveransen att ske med hjälp DHL till kunderna.

4.2.4 A3: Produktion av björkträvirken på Vanhälls såg AB

Vidare till nästa delmoment av virkesproduktionen genom sågverken i Vanhälls Såg AB så inleds första steget med beskrivning av resursförbrukningsdata, se tabell 22.

Tabell 22. Tabellvärden på Vanhälls såg AB:s årliga förbrukningar av resurser, avkastning och antalet produktionsdagar.

Tabellvärden	Värde	Enhet
Årlig energiförbrukning:	910,000	[kWh/år]
Årlig dieselförbrukning:	32,000	[l/år]
Antal arbetsdagar	220	[dagar]
Förändringsfaktor 1m3 virke till 2.5 m3s flis	2.5	-
Total sågning avkastning(såg + uppkapning)	8%	[%]
Total sågning restproduktion	47%	[%]

För "A3: Produktion av björkträvirke på Vanhälls såg AB" så är kapningsmaskinen, sågningen och torkrummets fläktar källorna som bidrar till den totala energiförbrukningen i sågverken på 910 000 kWh/år. Viktigt däremot är att värdet inte bara motsvarar produktion av björkträvirke utan är ett översiktligt värde som reflekterar hela sågverkets energianvändning.

Vid flyttning av materialen samt transporter av biprodukter flis och sågspån från sågning så används lastmaskiner av modellerna Volvo L60G, L60F och L120G. Dessa lastmaskiner är bland annat de enstakliga källorna till den årliga dieselförbrukningen på 32 000 l diesel med motsvarande 4,9 l diesel / m³ producerad björkträvirke, se tabell 23 för mer detaljerade värden.

Tabell 23. Värden på ingående parametrar för beräkning av globala uppvärmingspotential från produktion av björkträvirke från Vanhälls såg AB.

Ingående parameter för A3: Produktion och utformning av björkträvirke	Värde	Enhet
Vanhälls såg AB		
Totala processerad loggar från skogsbruk i m ³ to:	14.51	[m ³ to]
Totala processerad loggar från skogsbruk i m ³ fub:	16.25	[m ³ fub]
Totala output på virken efter sågning med 8% avkastning från björkträloggar:	1.16	[m ³]
Totala energiförbrukning per m ³ virke:	940.08	[kWh/m ³ virke]
Totala energiförbrukningen för totala output på virke:	1091.44	kWh
Totala global uppvärmingspotential för energiförbrukning:	14.19	[kg CO ₂ ekv]
Totala dieselförbrukningen per m ³ virke:	33.06	[l diesel/m ³ björkträvirke]
Totala dieselförbrukningen för totala output på virke:	38.38	[l diesel]
Totala global uppvärmingspotential för virkesbehoven från diesel:	99.02	[kg CO ₂ ekv]

Genom materialflödesanalysen har behovet av volymen björkträloggar transporterat till Vanhälls såg AB resulterat i 14,51 m³to för att motsvara virkesvolymen 1, 161 m³ efter sågning vilket reflekterar den totala virkesvolymen som köptes in för byggnation av paviljong. Genom att sätta in värdet och multiplicera med den totala energiförbrukningen för varje m³ virke på cirka 940,08 kWh/ m³ så hamnar den totala energiförbrukningen för virkesbehoven på omkring 1091,44 kWh som leder till globala uppvärmingspotential på 14,19 kg CO₂-ekv genom att konvertera kWh till kg CO₂-ekv med förhållandet 1 kWh: 13g CO₂-ekv. Genom att sätta in värdet och multiplicera med den totala energiförbrukningen för varje m³ virke på cirka 940,08kWh/ m³ så hamnar den totala energiförbrukningen för virkesbehoven på omkring 1091,44kWh som leder till globala uppvärmingspotential på 99,02 kg CO₂-ekv.

När det gäller beräkning av flis-och sågspånförbränning för Vanhälls såg AB. Det finns cirka 2,9 m³ virke från 55 m³to med ett utbyte på 8% av totalsågning. Detta ger oss 24,8 m³ total producerat övriga komponenter från 55 m³to med ett utbyte på 45% av totalsågning. Detta ger oss processerad björkträloggar 55 m³to, med 220 arbetsdagar.

När det gäller utbyte till okantat virke (8% av total sågvolym) ger oss 0,08. Vi fick utbyte till övriga komponenter på cirka 45%. Allt ger 47% för utbyte till flis-och sågspån. Produktionen räknas ungefär på samma sätt, där den totala producerat okantat virke på cirka 4,4 m³.

Den totala producerat övriga komponenter är cirka 24,8 m³. Till slut är den totala producerat flis-och sågspån på cirka 64,6 m³s, se tabell 24.

Tabell 24: Tabell visar beräkning av flis-och sågspånförbränning för Vanhälls såg AB.

Vanhälls såg AB		
Information om företaget	Värde	Enhet
Processerad björkträloggar;		55 m ³ to
Arbetsdagar		220 d
Utbyten	Värde	Enhet
Utbyte till okantat virke(8% av total sågvolym med 66% utbyte)		0,08
Utbyte till övriga komponenter		0,45
Utbyte till flis-och sågspån		0,47
Produktion	Värde	Enhet
Total producerat okantat virke		4,4 m ³
Total producerat övriga komponenter		24,8 m ³
Total producerat flis-och sågspån		64,6 m ³ s

För flisproduktionen så används förändringsfaktorn 2.5 m³, för att omvandla resterna från sågning till flis och sågspån. Genom omvandlingen så resulterar volymen flis och sågspån till 68.4 m³ stjälp per produktionsdag. Årlig flisförbrukning till torkrummet är 9000 m³s, som är räknat av totala flisförbrukning på 220 arbetsdagar som ger efter multiplicering med 1 421 7,5 m³s. Av den totala flisåtgång till försäljning (Resterande som inte går till torkrummet) så 5217,5 m³s den här siffran fick vi av 14217,5 – 9000 m³s. För att veta andelen användning av flis-och sågspån till torkrummet så har vi delat årlig flisförbrukning till torkrummet med totala flisförbrukning på 220 arbetsdagar som gav oss cirka 0,6%. För att veta den totala volymen flis-och sågspån per m³ okantat virke så har vi delat den total producerat flis-och sågspån som är 68,4 m³s med total producerat okantat virke som är 2,5 m³ detta har gett oss cirka 2,5 m³s. Totala volymen flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke har vi räknat genom multiplicering av andelen användning av flis-och sågspån till torkrummet med den totala volymen flis-och sågspån per m³ okantat virke som gett oss 1,4 m³s, se tabell 25.

Tabell 25: Tabell visar beräkningar på flisförbrukning i Vanhälls såg AB.

Flis- och sågspån	Värde	Enhet
Årlig flisförbrukning till torkrummet enligt intervju		9000,0 m ³ s/år
Totala flisförbrukning på 220 arbetsdagar enligt beräkningar		14217,5 m ³ s/220dagar
Totala flisåtgång till försäljning (Resterande som inte går till torkrummet)		5217,5 m ³ s
Andelen användning av flis-och sågspån till torkrummet		0,6
Totala volymen flis-och sågspån per m ³ okantat virke		2,2 m ³ s
Totala volymen flis-och sågspån som används till torkrummet per m ³ okantat virke		1,4 m ³ s

När det gäller omvandling till kg flis-och sågspån / m³ okantat virke, så är förhållande för 1 m³to björkträlog till m³s blir cirka 2,5 m³s. Med densitet på 480 kg/ m³ enligt Skogforsk(2021), och 2,5 m³s flis-och sågspån i kg ger 480 kg. Vi fick veta att 1 m³s flis och sågspån i kg ger 192 kg, den här siffran fick vi av dividering av 2,5 m³s flis-och sågspån i kg med förhållande för 1 m³to björkträlog till m³s. Den totala vikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) ger cirka 269.5kg, vi fick den här siffran av multiplicering av 1 m³s flis och sågspån i kg med den totala volymen flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke. Detta leder till genomsnittligt vatteninnehåll från intervju baserad på luft och inomhustemperatur på cirka 13,75%. Vilket kan ge oss totala torrvikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) på cirka 232,4 kg torrsvikt, siffran fick vi av multiplicering den totala vikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) med (100 - genomsnittligt vatteninnehåll från intervju baserad på luft och inomhustemperatur) delad med 100. Tillslut får vi omvandling till kg CO₂/ m³ okantat virke vi kan se ekvationen för mer förklaring, (massa * 50 % * atomvikt av CO₂/12) på cirka 494,7 kg CO₂/arkitektursdesignen okantat virke, detta fick vi av multiplicering av den totala torrvikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m³ okantat virke (14 m³s) med 0,5 och 44 delad med 12, detta ger en slut resultat på EPD Biogen 123.1 kg CO₂/arkitektursdesignen, se tabell 26.

Tabell 26: Tabell visar omvandling till kg flis-och sågspån/ m³ okantat virke och CO₂ utsläpp som kommer från flis.

Omvandling till kg flis-och sågspån / arkitektursdesign	Värde	Enhet
Förhållande för 1 m ³ to björkträlog till m ³ s		2,5 m ³ s
Densitet från Skogforsk		480 kg / m ³
2.5 m ³ s flis-och sågspån i kg		480 kg
1 m ³ s flis och sågspån i kg		192 kg
Totala vikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m ³ okantat virke(14 m ³ s)		269,5 kg
Genomsnittlig vatteninnehåll från intervju baserad på luft och inomhustemperatur från Vanhälls såg AB		13,75 %
Totala torrvikten flis-och sågspån som används till torkrummet per m ³ okantat virke(14 m ³ s)		232,40 kg torrsvikt
Omvandling till kg CO ₂		494,7 kg CO ₂ / arkitektursdesign
EPD Biogen		123,066 kg CO ₂ -ekv / arkitektursdesign

Slutligen går materialflödet vidare till pålastningen av materialen inför transport till grossist. För Vanhälls såg AB så kommer leveransen av virken att ske genom frakt-och logistikföretaget DHL.

4.2.5 A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats

Vidare i materialflödet efter modulen ”A3: Produktion av björkträvirke på Björkträ Timber AB” och ”A3: Produktion av björkträvirke på Vanhälls såg AB” så hamnar virken under transport av fraktservicen DHL i modulen ”A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats”. Enligt intervjun från Vanhälls såg AB så sker utkörning av materialen på trailers med lastkapaciteten 28 ton med motsvarande värde på 35m³ i volym. På grund av att virkesbehoven är markant lägre än lastkapaciteten så förväntas virkesbehoven inte vara lönsam att hantera för sågverket. Detta innebär att virkesbehoven kommer att transporteras i samband med övriga virke från Vanhälls såg AB i Smedjebacken till bland annat Holm Trävaror i Landvetter som agerar grossist. Därefter kommer utkörning av leverans genom DHL med lastbilar på lastkapaciteten 3,5 ton från Holm Trävaror till Betonggården 4 där leveransen för Chalmers mottas.

Om virken hade köpts från sågverken Björkträ Timber AB så fraktas virken i stället direkt från sågverken till Betonggården 4 i en körning, det vill säga från Östra Norrängevägen 20 i Arbrå till Betonggården 4. Även här antas DHL leverans men med lägsta lastkapaciteten på 3.5ton och med ändamålet att leverera virken till byggarbetsplatsen i Chalmers utan att först gå genom grossist som Holm Trävaror.

Slutligen körs de färdiga och konstruerade strukturerna från Betonggården 4, Chalmers till Södra Frihamnspiren 15 där utställningen av paviljongen kommer att ta plats. Återigen så antas samma fraktservice, det vill säga DHL och lastkapaciteten för lastbilen antas den lägsta på 3,5 ton.

För att beräkna globala uppvärmingspotential för modulen ”A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats” så inleds arbetet med att först definiera hur materialet flödar genom transporten. Då det inte sker någon form av materialutbyte i denna process så kommer det vara lika stor volym björkträvirke från Vanhälls såg AB till Södra Frihamnspiren 15 samt för Björkträ Timber AB till Södra Frihamnspiren 15 där skulle paviljong byggas, se figur 19 för hela beräkningsgången för modulen ”A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats”, se tabell 27.

Tabell 27. Värden på ingående parametrar för beräkning av globala uppvärmingspotential för hela modulen ”A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats”.

Transport av björkträvirke från Vanhälls såg AB till Betonggården 4 genom grossisten Holm trävaror	Värde	Enhet
Totala virkesvolymen som transporteras till Holm Trä:	1,161	[m ³]
Totala virkesvolymen som transporteras till Betonggården 4:	1,161	[m ³]
Totala transportdistansen från Vanhälls såg AB till Holm trävaror:	410	[km]
Totala transportdistansen från Holm trävaror till Betonggården 4:	19,4	[km]
Totala global uppvärmingspotential för transporten:	1,05	[kg CO ₂ ekv]
Transport av björkträvirke från Björkträ Timber AB till Betonggården 4		
Totala virkesvolymen som transporteras till Betonggården 4:	1,161	[m ³]
Totala transportdistansen från Björkträ Timber AB till Betonggården 4:	634	[km]
Totala bränsleförbrukning för virkesbehoven:	3,71	[l bränsle / mil]
Totala global uppvärmingspotential för transporten:	20,77	[kg CO ₂ ekv]
Transport av björkträvirke från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15		
Totala virkesvolymen som transporteras från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15:	0,67	[m ³]
Totala transportdistansen från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15:	7,60	[km]
Totala bränsleförbrukning för virkesbehoven:	3,71	[l bränsle / mil]
Totala global uppvärmingspotential för transporten:	0,25	[kg CO ₂ ekv]

I nästa stadiet av beräkningsgången så krävs det att reda ut distansen mellan sågverken och grossisten, distansen mellan grossisten och byggarbetsplatsen, och distansen mellan byggarbetsplatsen och utställningen. För att ta reda på distanserna så används Google Maps för en approximativ distans mellan områdena.

Efter sökandet av distanserna mellan de olika områdena så kommer beräkningen av antalet bränsleförbrukning som har förbrukats under färden mellan de olika transporterna. För att ta reda på värdena så har konversation genomförts tillsammans med DHL för att kunna tillägna oss essentiella data. På grund av begränsningar inom innehållet som kan publiceras i examensarbetet så kan inte alla bearbetade data publiceras och därmed kommer värdena enbart att diskuteras utifrån hur de hade räknats fram.

Bland data som getts av DHL så är emissionsstabeller en som hade använts för del av emissionsberäkning. I den givna data så har värden på globala uppvärmingspotential för respektive bränsletyp getts ut i form av kg CO₂-ekv WtW. Enheten kg CO₂-ekv WtW motsvarar den globala uppvärmingspotential beräknade för bränsletypen från dess produktion till förbrukning i motor (European Commission, 2016). I samband med tabellen som innehåller emissionsfaktorerna för respektive bränsletyp så används även en annan tabell som innehåller andelen användning av varje bränsletyp för det året presenterad för lastbilars transportkapaciteter. Genom att kombinera tabellerna så togs andelen användning för varje använt bränsletyp och multiplicera med dess emissionsfaktor. Slutligen så sätts emissionsfaktorn för varje bränsletyp med dess andel användning ihop genom

addition och detta resulterar i ett värde på cirka 2 kg CO₂-ekv WtW/l bränsle med antagandet att alla transportslag som bearbetas i analysen använder de bearbetade emissionsfaktorn för bränsletypen.

När globala uppvärmingspotentialen för bränsleförbrukningen så har bearbetats så kan globala uppvärmingspotential för modulen ”A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats” beräknats fram. Beräkningsprocessen går ut först på att multiplicera distansen med bränsleförbrukningen per tonkm, se figur 20 för tabell på bränsleförbrukningen per tonkm för respektive lastkapacitet skapat med data tagen från DHL:s emissionsdeklaration (DHL, 2021), se tabell 28.

Tabell 28. Bränsleförbrukningen i liter per tonkm utifrån DHL:s emissionsdeklaration(DHL, 2021).

Typ av truck(lastkapacitet)	Bränsleförbrukning(l / tonkm)
3,5 tons	0,18
28 tons	0,018

Sedan multipliceras det nya värdet med emissionsfaktorn och andelen vikt för virkebehoven i förhållande till den totala lastkapaciteten. Då det inte förväntas att enbart leverera den eftersökta virkesbehovens volym i transporten av lastbil med 28 ton lastkapacitet så förväntas inte heller livscykeln för björkträmaterialiet att täcka hela utsläppen för transport från sågverk till byggarbetsplats. För transport till utställningen däremot så förväntas hela paviljongmodellen täcka för hela lastkapaciteten på grund av utrymmet som strukturerna tar i lastbilen inte tillåter transport av annat tillsammans med paviljongen.

För transportereringen av virke från Vanhälls såg AB till grossisten Holm trävaror och sedan därifrån till Betonggården 4 så blir den totala globala uppvärmingspotential ungefär 1,05 kg CO₂-ekv, se tabell 29 för tabellvärden på ingående parametrar.

Transport av björkträvirke från Vanhälls såg AB till Betonggården 4 genom grossisten Holm trävaror	Värde	Enhet
Totala virkesvolymen som transporteras till Holm Trä:	1,161	[m ³]
Totala virkesvolymen som transporteras till Betonggården 4:	1,161	[m ³]
Totala transportdistansen från Vanhälls såg AB till Holm trävaror:	410	[km]
Totala transportdistansen från Holm trävaror till Betonggården 4:	19,4	[km]
Totala global uppvärmingspotential för transporten:	1,05	[kg CO ₂ ekv]

Tabell 29. Värden på ingående parametrar för beräkning av globala uppvärmingspotential för transport till Betonggården 4 från Vanhälls såg AB

För transportereringen av virke från Björkträ Timber AB direkt till Betonggården 4 så blir den totala globala uppvärmingspotential ungefär 20,8 kg CO₂-ekv, se tabell 30 för tabellvärden på ingående parametrar.

Tabell 30. Värden på ingående parametrar för beräkning av globala uppvärmingspotential för transport till Betonggården 4 från Björkträ Timber AB

Transport av björkträvirke från Björkträ Timber AB till Betonggården 4	Värde	Enhet
Totala virkesvolymen som transporteras till Betonggården 4:	1,161	[m ³]
Totala transportdistansen från Björkträ Timber AB till Betonggården 4:	634	[km]
Totala bränsleförbrukning för virkesbehoven:	3,71	[l bränsle / mil]
Totala global uppvärmingspotential för transporten:	20,77	[kg CO ₂ ekv]

För transporten från byggarbetsplatsen till utställningen så blir den totala globala uppvärmingspotential ungefär 0,25 kg CO₂-ekv, se tabell 31 för tabellvärden på ingående parametrar.

Transport av björkträvirke från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15	Värde	Enhet
Totala virkesvolymen som transporteras från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15:	0,67	[m ³]
Totala transportdistansen från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15:	7,60	[km]
Totala bränsleförbrukning för virkesbehoven:	3,71	[l bränsle / mil]
Totala global uppvärmingspotential för transporten:	0,25	[kg CO ₂ ekv]

Tabell 31. Värden på ingående parametrar för beräkning av globala uppvärmingspotential för transport till Frihamnen.

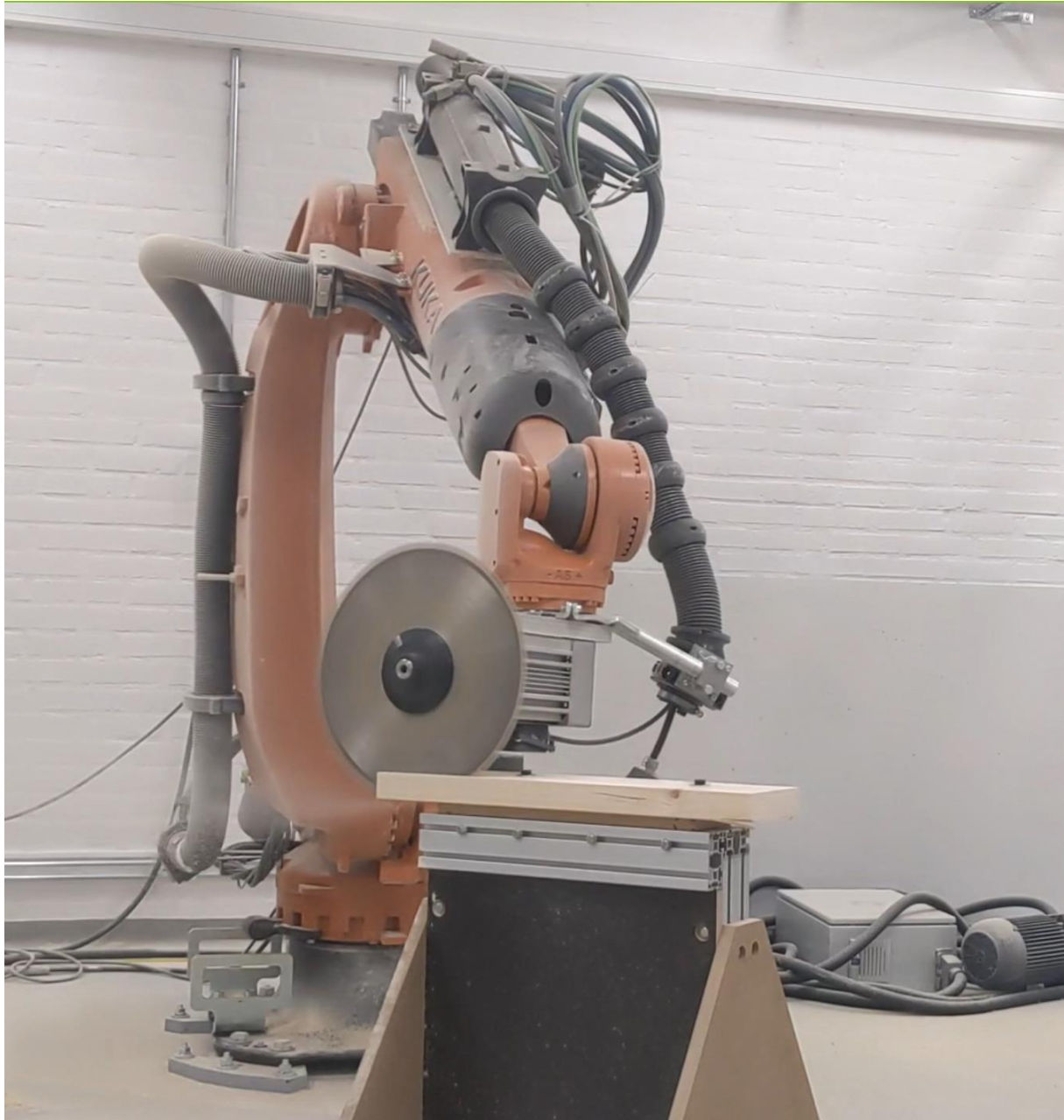
4.2.6 A5: Byggnation av paviljong

Vidare från ”A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats ” till det slutliga stadiet så landar materialflödet i modul ”A5: Byggnation av paviljongen”. se tabell 32 för hela de ingående parametrarna och beräknade värden.

Tabell 32. Värden på ingående parametrar för beräkning av globala uppvärmningspotentialen för A5: Byggnation av paviljong

Ingående parameter för A5: Byggnation av paviljong	Värde	Enhet
Totala virkesanvändningen till paviljongen:	0,67	[m ³]
Totala virkesbehov för att bygga paviljongen:	1,16	[m ³]
Totala drifttiden för KUKA robotarm:		
	22,00	[h]
Totala energiförbrukningen för KUKA robotarm:	-	[kW]
Totala global uppvärmningspotential för robotarmen:	-	[kg CO ₂ ekv]
Totala drifttiden för sågmotorn på KUKA robotarm:		
	22,00	[h]
Totala energiförbrukningen för sågmotorn på KUKA robotarm:	7,50	[kW]
Totala energiförbrukningen för sågmotorn på KUKA robotarm för hela drifttiden:	165,00	[kWh]
Totala global uppvärmningspotential för sågmotorn på KUKA robotarm för hela drifttiden:	2,15	[kg CO ₂ ekv]
Totala drifttiden för kran:		
	30,00	[min]
Totala dieselförbrukning för kran:	1,00	[l bränsle / h]
Totala bränsleförbrukning för drifttiden av kran	0,50	[l diesel]
Totala global uppvärmningspotential för kranen:	1,29	[kg CO ₂ ekv]

För byggnationen av paviljongen så inleds första momenterna med att såga de köpta virken från sågverken respektive grossist på 1,16 m³ virke med hjälp av robotarmen KUKA och sågmotor, se figur 33 för sågningsprocessen.



Figur 33. Sågning av virke med hjälp av KUKA robotarm (Åhlund K, 2022).

Den totala drifttiden för sågmotorn på robotarmen hade varit under sågningsprocessen för virkesbehoven på 0,669 m³ var 22h totalt. Detta ledde till energiförbrukningen för sågmotorn på 165 kWh vilket slutligen leder till globala uppvärmingspotential cirka 2,15kg CO₂-ekv. På grund av komplicerad utformning av KUKA robotarmen så hade energianvändningen dessvärre inte kunnat reda ut och därmed utelämnad i livscykelanalysen.

Efter sågningsprocesserna så monteras de sågade virken till strukturer som levereras från Betonggården 4 till Södra Frihamnspiren 15 genom antagandet att DHL också står som fraktservicen med deras lastbilar av lastkapaciteten 3.5ton.

För monteringsprocessen så har flera skruvmaskiner använt i samband med andra maskineri men dessa försummas i livscykelanalysen på grund av att de ligger utanför ramverket för materialet björkträ.

Slutligen i Södra Frihamnspiren 15 så använts en kran på lastbil från Derome för att lyfta upp paviljongen över stöden inför slutmontering, se figur 34.



Figur34. Kran som lyfter paviljongen över dess tre stöd.

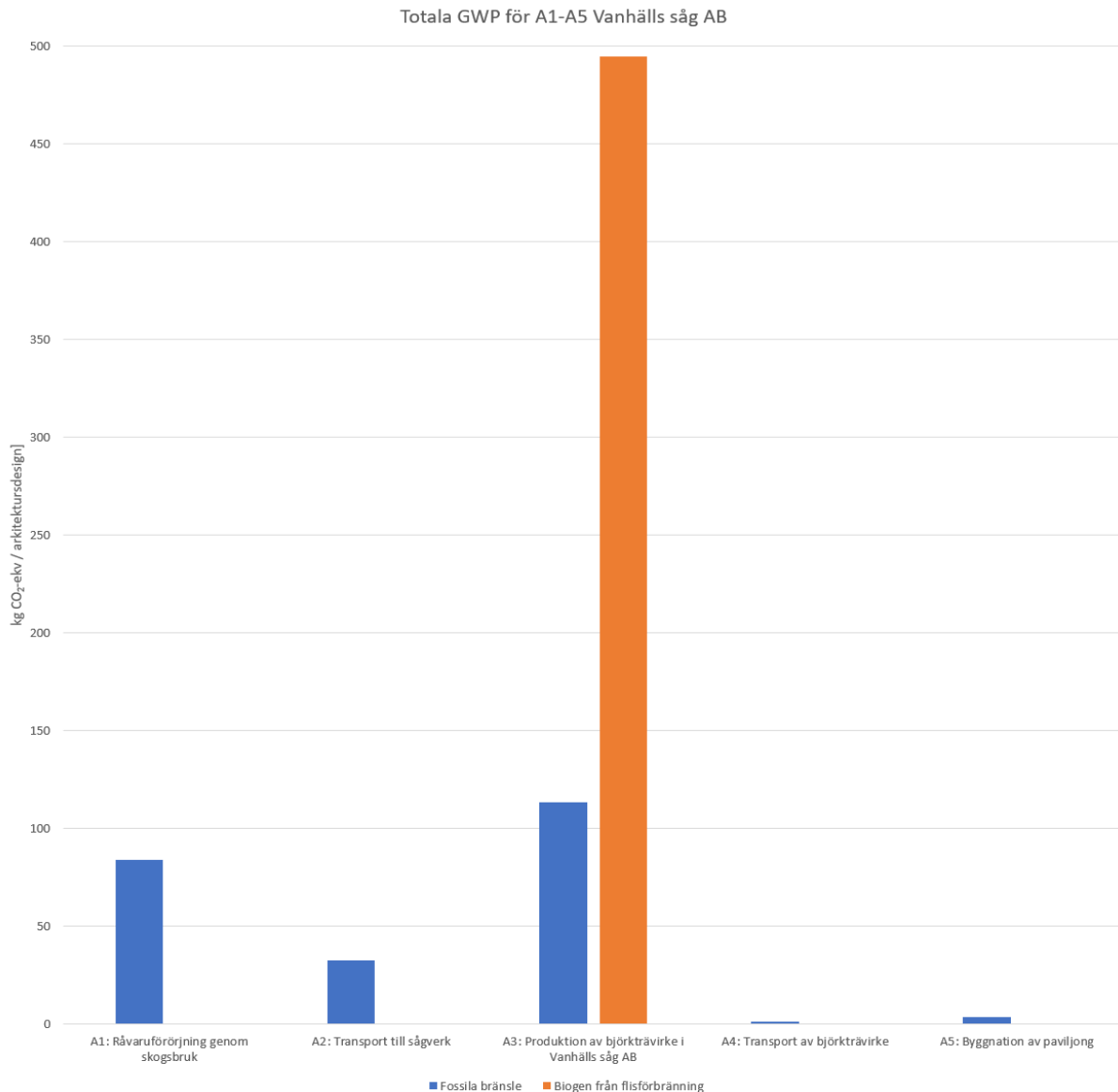
Genom samtal med Derome så har bränsleförbrukningen för en kran med 500-1000kg lastkapacitet som passar för paviljongens vikt på ungefär 300 kg, ligger på ungefär 1–1,5 l diesel / h. För paviljongen så hade en kran på 500kg maxkapacitet räckt och därför hade 1 l diesel / h används. Med drifttid för kranen på ungefär 30 minuter så hamnar dieselanvändningen på 0,5 l diesel och därmed en globala uppvärmingspotential på 1,29 kg CO₂-ekv.

4.2.7 Presentation av slutresultat

Efter samling av alla data och information samt alla beräkningar som utföras och enligt våra resultat har kommit fram till att materialflödet genom Vanhälls såg AB mest utsläpp i produktionsstadiet. Där när man använder maskiner som drivs med diesel, och dessa utsläpp kan kopplas till flera steg i deras produktion, se figur 25 för stapeldiagram med samtliga globala uppvärmingspotentialer för respektive modul från A1-A5.

Enligt vår undersökning så är råvaruförsörjningen A1, som är förste modulen genom skogsbruk, så producerar det också utsläpp, för att där användes många skördare och skotare samt många lastbilar som transporterar stora maskiner till skogen, samt timmerbilar som transporterar björkträ loggar, med cirka 83,9 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign. Vid A2 vilket är transporten till sågverket som är transporten av björkträvirke är också en källa till utsläpp med cirka 32,6 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign. Vanhälls såg AB brukar transporterar stora mängder av björkträ till en trävaruhandel som Holms trävaror i Landvetter. A3 som är produktionen av björkträvirke i Vanhälls såg AB har visat att den är den största källan till utsläpp, med cirka 113,2 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign björkträ. För flisförbränningen i torkrummet vid produktion av virke så resulterade utsläppet på 494,7 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign producerat okantat virke.

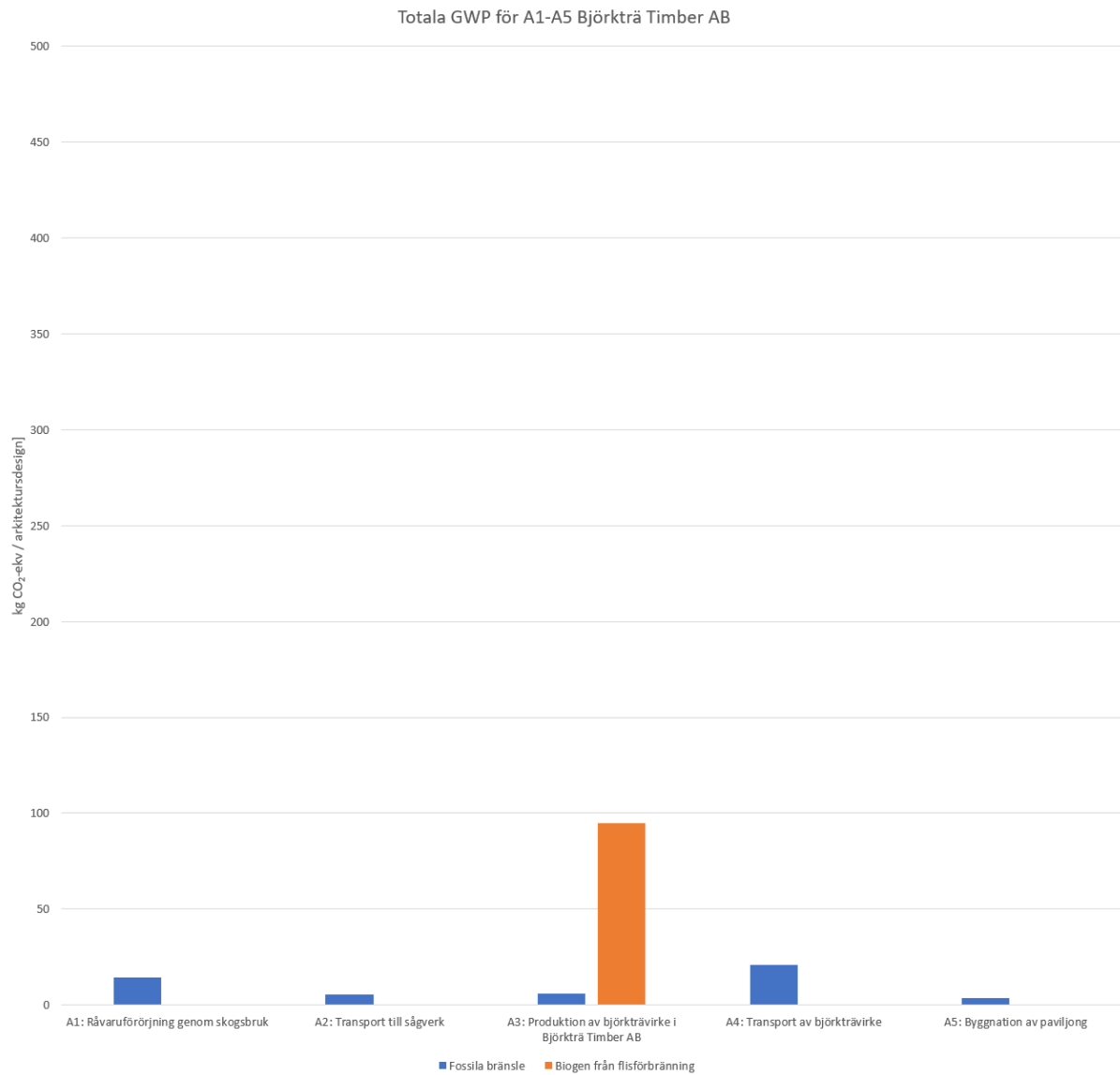
När det gäller stadiet A4, vilket är transport av björkträvirke så får vi en mängd på utsläpp 0,906 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign. I slut stadiet vilket är A5, då bidrar byggnationen av en paviljong till utsläppen med 3,4 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign björkträ, se figur 25. För alla modulerna från A1-A5 landar den globala uppvärmingspotentialen vid passering av Vanhälls såg AB på 234,2 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign. För A1-A3 så hamnar den globala uppvärmingspotentialen på 299,7 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign, se figur 35.



Figur 35. Stapeldiagram på globala uppvärmingspotentialer för Vanhälls såg AB genom modulerna A1-A5

Björkträ Timber AB jobbar på ett sätt och deras process är nästan samma sak båda företag har olika andel materialutbyte av trä det därför mängden av kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign, av björkträ i föste modulen A1 när råvaruförörjning genom skogsbruk är på cirka 114,2 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign. Med andra stadiet som är A2 i materialflödet när trädet transporterar till sågverk då blir en annan mängd av utsläpp av kg med cirka 5,5 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign kg björkträ. A3 som är produktionen av björkträvirke i Björkträ Timber AB är också en stor källa till utsläpp, med cirka 5,6 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign björkträ. Men här kan vi se att stadiet A4, som är transporten av björkträvirke, verkar generera det högsta antalet utsläpp av CO₂-ekv/ arkitektursdesign björkträ på cirka 20,8kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign björkträ, vilket är det högsta värdet av de fem stegen som vi ser i diagrammet. Björkträ Timber AB kan transportera små pakter eller stora mängder av björkträ till kunder, vilket gör att utsläppen av transporten av björkträvirke är mest i det här steget. För flisförbränningen under produktionen av hyvlat björkträvirke så resulterar utsläppet på cirka 95 kg CO₂ / arkitektursdesign producerat hyvlat virke.

I slut stadiet som är A5, byggnationen av paviljong till en mängd av utsläpp med cirka 3,4 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign björkträ, se figur 26. Vid summering av A1-A5 så resulterar den globala uppvärmningspotentialen genom Björkträ Timber AB på cirka 49,6 kg CO₂-ekv / arkitektursdesign björkträvirke medan för A1-A3 så landar siffran på 25,3 kg CO₂-ekv / arkitektursdesign björkträvirke, se figur 36.



Figur 36. Stapeldiagram på globala uppvärmningspotentialer för Björkträ Timber AB genom modul A1-A5

4.3 Diskussion om materialflödes-och livscykelanalys

Efter genomförandet av materialflödes-och livscykelanalysen så har flera delar av björkens materialflöde visat sig ha flera processer som kan diskuteras. När det gäller första modulen, ”A1: Råvaruförsörjning genom skogsbruk”, så har livscykelanalysen visat att en stor mängd av globala ligger på dieselförbrukningen. För att minska den globala uppvärmingspotentialen så kan en alternativ lösning byta ut bränsletypen till antingen en mix av fler bättre förnybara bränslen med lägre utsläpp. Om det inte planeras att använda bränslemix så kan även motorn på skördaren och skotaren byta ut från att vara beroende av dieselbränsle till elektricitet i stället.

Utöver bränsleförbrukningen av skördaren och skotaren så kan även teknik och kommunikation spela en stor roll över livscykelanalysen för björkträ. Om driften av maskinerna sker på ett mer effektivt sätt där drifttiden kan på något sätt minskas genom att flera avverkningsprocesser förbättras så kommer hela skogsbruksprocessen att kunna effektiviseras både i avkastning och bränsleförbrukning. Gällande kommunikationsaspekten av denna stadiet så är det ett samspel mellan skogsbruken och skogsindustrin på sådant sätt att om trädet avverkas i en mer exakt dimension så kan det potentiellt leda till att det helt enkelt blir mindre restproduktion i sågverken.

För övrigt så är resurshanteringen i första modulen A1 väldigt lönsamt då slutavverkningen enligt Sydved AB, alltså vid avslutad huggnings av alla träd, så går restproduktionen från kapning av träd i form av massaved till bland annat massindustrin. Detta innebär åtminstone att det finns en cirkulär resurshandling då materialen återvinns eller återanvänds.

Vidare till andra modulen, A2, i materialflödes-och livscykelanalysen så landar björkträloggarna under ”A2: Transport till sågverk”. I denna modul sker det enbart utsläpp genom transport av materialet i form av dieselförbrukning. För detta så kan bland annat transportföretagen använda sig av fler elektrifierade fordon för att minska klimatavtrycket.

Efter transportereringen av björkträloggarna till sågverken så hamnar materialet i den tredje modulen för respektive företag, ”A3: Produktion av björkträvirke i Björkträ Timber AB” och ”A3: Produktion av björkträvirke i Vanhälls såg AB”. I denna modul har det visat sig vara en mix av globala uppvärmingspotential från både dieselförbrukning och energianvändning. Genom resultatet från livscykelanalysen så består denna modul i materialflödet av dominerande koldioxidkvivalenter från dieselförbrukningen. Då traktorerna var de enda bidragande faktorerna till dieselförbrukningen för respektive sågverken så hade det möjligtvis varit mer miljövänligt om modellerna hade kunnat, återigen, använt av el i stället som drivmedel.

Kring avkastningen för respektive företag så hamnar andelen virkesproduktion från sågning på omkring hälften av processerad björkträloggar vilket siffermässigt innebär att det finns potential för vidare utveckling av sågningsprocessen. Gällande restproduktionen så kan även en cirkulär resurshandling observeras i respektive sågverk då flis-och sågspån går både till sågverkets egen torkrum som bränsle och försäljning till värmeverken. För torkningsprocessen av paketerade björkträvirke så är processen också ganska effektiviserad då lufttorkning applicerades i mån av vädret. Detta innebär en minskad användning av torkrummet vilket slutligen också innebär att sågverken sparar på energiförbrukningen och minskat utsläpp från flisen vilket gör att de kan agera ekonomiskt och miljövänligt. Vid lufttorkning av virke så är det även fördelaktigt för utformningen då torkningsprocessen genom torkrummet kan räknas som ”forcerad, eller påtvingad torkning” och leda till önskade böjningar och krökningar.

Vid beräkningen av utsläppet som utgörs av flisförbränningen så hade däremot ett flertal antagandet genomförts. När utsläppet beräknades så hade vi först antagit att den producerade virke med dess unika dimensioner utifrån paviljongens behov hade alltid behövt gå genom torkrummen. Detta kan möjligtvis leda till överberäkningar av utsläpp som i verkligheten inte hade behövts om virke i stället hade lufttorkats. Paviljongen är utformat i dagsläget utifrån uteklimatsförhållanden vilket gör att lufttorkade virke möjligtvis också hade fungerat. Sedan hade en genomsnittlig beräkning genomförts för att beräkna fukthalten inne i flis-och sågspån. För detta hade beräkningar utgått från medelvärde av lufttorkade fukthalt och fukthalt inomhus. För att vara mer precis i metoden så hade vi kunnat exempelvis göra mer utförlig undersökning inom materialens fukthalt för respektive sågverk istället för att utgå från samma värde av fukthalt för båda sågverken. Detta innebär då att vid jämförelse med miljövarudeklarationen för alternativa träslagen gran och tall så är utsläppet från björken inte den mest precisa.

Vidare från sammanställning av virkesproduktionen i sågverken och redo att skickas ut till kunderna så går materialflödet till "A4: Transport av byggnadsmaterial till byggarbetsplats". I detta stadie av materialflöde-och livscykelanalys så går det att observera att det finns markant höga globala uppvärmingspotentialer från transporten. En av anledningarna till detta kan bero på att transporten av virken antogs transporteras genom lastbil med 3,5 ton kapacitet hela vägen från sågverken till Chalmers. På grund av detta antagande så blir globala uppvärmingspotentialen utifrån tonkm relativt högt då en liten mängd material transporteras en lång distans samt att bränsletypen antogs vara mix av flera olika typer. För att minska miljöpåverkan så kan både sågverken beställa fraktservice som skickar ut lastbilar som använder sig av el som drivmedel i stället för traditionella icke-förnybara bränsle. På grund av begränsande data på exakta fordonsmodell och bränsletyp så hade antaganden behövts genomföra vilket också innebär att vid mottagning av mer precisa information på bränsletypen och fordonsmodell så kan resultatet bli mer korrekt.

Slutligen, när virken hamnar i byggnationsfasen, det vill säga modul "A5: Byggnation av paviljong" så har datainsamlingen led till ett flertal svårigheter då detaljer på energiförbrukningen för robotarmen KUKA hade varit allt för avancerat att få tag på och därmed utesluts i livscykelanalysen. På grund av den låga konverteringsfaktorn från enheten kWh till g CO₂-ekv / kWh på 13 g CO₂-ekv / kWh så går det däremot att bedöma robotarmens energiförbrukning som mindre påverkande i livscykelanalysen. Bortsett från datainsamlingsprocessen för detta stadie så är ändå användning av verktygen effektivt då kranen som lyfte paviljongen inför montering på dess 3 stöd, satte på lastbilen som transporterade strukturerna till utställningsplatsen på Södra Frihamnspiren 15. Återigen, för att möjligtvis minska på den översiktliga globala uppvärmingspotential för detta stadie så kan fordonsmodellen ersättas med en som använder sig av elektricitet.

Utifrån material-och livscykelanalys för björkens försörjningskedja så har stapeldiagram skapats för att presentera den globala uppvärmingspotentialen genom A1-A5 och med detta kan jämförelse göras med alternativa trämaterialen, gran och tall. Enligt tabellen från miljövarudeklarationen av gran och tall så hamnar den genomsnittliga globala uppvärmingspotentialen för fossila bränslen på ungefär 36,6 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign genom modulerna A1-A3 medan för björken så ligger den globala uppvärmingspotentialen genom Björkträ Timber AB på ungefär 25,4 kg CO₂-ekv/arkitektursdesign. För modulerna A1-A3 genom Vanhälls såg AB så ligger den globala uppvärmingspotentialen på 229,7 kg CO₂-ekv/ arkitektursdesign.

Som det går att se så har Vanhälls såg AB i modulerna A1-A3 en enormt hög siffra jämfört med Björkträ Timber AB. För detta så kan två olika faktorer identifieras som avgörande. Den första faktorn handlar om hur sågverket tilldelar sina resurser vid sågning av björkträ. För Björkträ Timber AB så hamnar materialutbytet som blir till hyvlade virkespaket på 23,6% av totala sågvolymer medan ungefär 20% går till övriga komponenter. Jämfört med Vanhälls såg AB så ligger materialutbytet för okantat virke på 8% av den totala sågvolymer. Detta innebär att ungefär 45% av sågvolymer planeras till komponenter. Sedan är också flisförbrukningen till bränsle i torkrummet också mycket varierande mellan sågverken då Vanhälls såg AB återanvände 9000 m³s flis om året och resten försäljs vidare. För Björkträ Timber AB så används i stället enbart 2000 m³s flis om året och resterande säljs vidare till värmeverk. Genom att analysera värdena så går det att se att mellan de olika sågverken så är tilldelningen av resurser i olika prioriteringar. På grund av detta så kommer utsläppet för Vanhälls såg AB med lägre utbyte till virke att ha en markant högre utsläpp från virkesproduktion jämfört med Björkträ Timber AB. Detta, också kopplade till hur effektiv sågningen också är då för båda sågverken så ligger avkastningen för biprodukter och produkter ganska balanserat i andel.

För den andra faktorn så är storleken av björkträloggarna som sågas också avgörande. Enligt sammanställda data från intervjuer så har det visat sig att kommunikationen mellan skogsindustrin och skogsbruket mycket viktigt. Om björkträloggarna som transporteras till sågverken inte är stora nog så blir det naturligtvis också en svårighet att producera fler virke.

Genom att jämföra emissionen från björken i samband med dess alternativa träslag som gran och tall så har det visat sig att björken verkar ha lägre utsläpp för Björkträ Timber AB i A1-A3 men högre flisförbränning medan för Vanhälls såg AB är modulerna A1-A3 och flisförbränningen mycket högre. Detta, bortsett från extremvärden från Vanhälls såg AB som prioriterar mer produktion av komponenter av björk, så visar björken potential med lägre utsläpp än gran och tall. När det gäller gran och tall som är barrved så går det också att konstatera att björken som är ett hårt träslag kommer att kunna bära mer last än barrveden vid konstruktion av paviljongen. Vid analys utifrån den funktionella enheten per arkitektursdesign så kan björken därmed ligga till en viss fördel med att vara hårdare men ungefär densamma i utsläpp som en arkitektursdesign. Detta däremot beroende på sågverken och främst deras tilldelning av resurser.

Däremot, som tidigare nämnt så på grund av ett flertal försumning och ansättningar vid analyserna så finns det en viss osäkerhet inom preciseringen av resultatet. För att därmed vidare studera björkens potentiella förmåga som ett byggnadsmaterial så kan forskning genomföras för att hitta alternativa förbättringar inom hållfasthet, fuktbenägenhet och tillgänglighet. Sedan kan också mer och precisa data samlas under datainsamlingsprocessen för att ge en mer korrekt analys av björkförsörjningskedjans miljöpåverkan.

5 Slutsats

Efter alla samlingar av data och information har vi kommit fram till slutsatsen att björkträmaterialiet kan potentiellt ha en låg grad av utsläpp jämfört med dess alternativa träslag som används inom byggsektorn, gran och tall. Detta, beroende på vilken sågverk och hur de tilldelar sina resurser. När det gäller björkens försörjningskedja från Vanhälls såg AB så har det observerats flertal extremvärden. Detta, eftersom sågverken tilldelar sina resurser till framförallt komponentsproduktion och mindre till virke. Däremot, vid studie om Björkträ Timber AB så har det visat sig att utsläppen är lägre än gran och tall i A1-A3 men högre flisförbränning. Möjligtvis kan detta bero på deras högre materialutbyte till virke vid sågning vilket innebär att modulerna A1-A2 har mindre materialflöde och därmed lägre utsläpp. Generellt genom björkens försörjningskedja så har det visat sig att mestadels av utsläppen kommer från produktionsfasen genom modulerna A1-A3 för båda sågverken med undantag från Björkträ Timber AB som har en hög utsläpp från transport.

Genom att jämföra björkens grad av miljöpåverkan utifrån den globala uppvärmningspotentialen så går det att se potential med dess möjligtvis mindre utsläpp och starkare hållfasthet med hård träkaraktistik. Detta leder till att om paviljongen som var referensmodellen för analyserna hade byggt i björk i stället så hade strukturen varit av en högre hållfasthetsklass om samma arkitektursdesign jämförs. Däremot är fuktegenskaperna inte studerade då det hamnar utanför forskningsområdet och hade varit en fördjupning för vidare studier.

Utifrån studien så har det även visat sig finnas förbättringsområden inom materialflödet. Exempelvis hade en ökad användning av elmaskiner varit bättre än dieselmaskineri givet att elen har förmågan att komma från mer förnybar källa. Med detta kan utsläppen möjligtvis minskas genom modulerna A1-A5.

Eftersom arbetet är centrerad kring framställning av data som ännu inte finns tillgängligt så är datainsamlingsprocessen mycket avgörande för vilket resultat som faller ur studien och därmed innehåller preciseringen av samlingsprocessen en stor förbättringsmöjlighet. På grund av en viss grad mindre noggrannhet inom datainsamlingen så hade ett flertal försumningar och antagningsar använts. Vid kritisk utvärdering av resultatet så kan mer precisa frågor ställas under intervjuer i mån av att intressenterna har svar till mer detaljerade frågor.

Därmed, baserat på studien och resultat som getts ut från detta arbete så har det visat sig att materialet björkträ har en potential som byggnadsmaterial utifrån dess hållbara aspekt med lägre utsläpp än gran och tall samt att björken har sin hårda träkaraktistik. Utsläppen däremot, är tungt beroende på vilken sågverk som bearbetar då tilldelningen av verksamhetens resurser går till olika prioriteringar mellan varje sågverk.

6 Referenslista

Annsophie Öhman. (2015). Björken – ett folkkärt träd.

<https://www.sydved.se/aktuellt/inspiration/djur-och-natur/bjorken>

Boel V., Corte W D., Dossche C. (2017). Use of Life Cycle Assessments in the Construction Sector: Critical Review. *Procedia Engineering*. Volym 171. Sida 302-311. ISSN 1877-7058:

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.338>

Boverket, (2016). Miljö- och klimatanpassade byggregler. Förstudie. Rapport 2016:14. Myndigheten för samhällsplanering, byggande och boende. (Hämtad 2023-03-27).

<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2016/miljo-och-klimatanpassade-byggregler.pdf>

Boverket. (2023). *Bygg- och fastighetssektorns uppkomna mängder av avfall*.

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

Boverket. (2019). Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD).

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

Boverket. (2019). Introduktion till livscykelanalys (LCA)

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

Christensson, A. (2022). *Informationscentrum för hållbart byggande*. Karlskrona: Boverket:

<https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/avslutade-uppdrag/informationscentrum-for-hallbart-byggande/>

DHL. (2021). Deklaration av emissionsberäkning. <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/local/se/dhl-freight/documents/pdf/se-freight-emissionsdeclaration-se.pdf>

European Commission. (u.å). Well-to-Wheels Analyses. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses_en

European Parliament. (2023). *Circular economy: definition, importance and benefits*.

https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2015/12/story/20151201STO05603/20151201STO05603_en.pdf

Forsberg, J., & Dahlberg, S. (2021). Sågbara björktimmervolymer i Sverige.

https://stud.epsilon.slu.se/18447/1/Dahlberg_Forsberg_221108.pdf

Goto Y., (u.å.). Sustainable Utilization of Birch In Timber cOnstructions (SUBITO).

Gröndahl, F., & Svanström, M. (2010). *Hållbar utveckling* (5 uppl.). Stockholm, Sweden.

Hansson, J. (2020). *Hållbarhetsforum*. Lund: Lunds universitet:

<https://www.hallbarhet.lu.se/forskning/vad-ar-hallbarhet>

- Hahn, T. (1997). Miljöekonomi och ekologisk ekonomi – en teoretisk introduktion. Institutionen för ekonomi, Naturresurs- och miljöekonomi. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D. D., Pomponi, F. (2019) Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. (Hämtad 2020-03-12).
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>
- Industry, B. T. (2003). Sustainable building and construction: facts and figures. Ind Environ, 26(2-3)
<https://es.ircwash.org/sites/default/files/UNDP-2003-Vol26.no2-3part2.pdf>
- Ingar Lindholm. (2019). Hållbarhet allt viktigare inom bygg och fastighet: <https://miljo-utveckling.se/hallbarhet-allt-viktigare-inom-bygg-och-fastighet/>
- Jackson, T. (2012). Välfärd utan tillväxt, så skapar vi ett hållbart samhälle. Stockholm: Ordfront förlag.
- Jonson, U., Westerberg, N (2023) Växthusgasutsläpp. Energimyndigheten. (Hämtad 2023-05-07)
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>
- Kallmén, S. (2022). Trä som byggnadsmaterial: <https://stud.epsilon.slu.se/18060/1/kallmen-s-20220706.pdf>
- Kellner, J. (2017). Klimat Energi Hållbarhet - Är byggsektorn en miljöbov? Balkong Förlag
- Gallego-Schmid, A., Chen, H., Sharmina, M., Mendoza, J, M, F. (2020) Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment. (Hämtad 2023-03-27).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121115>
- Lizhen Huang, Guri Krigsvoll, Fred Johansen, Yongping Liu, Xiaoling Zhang. Carbon emission of global construction sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 81, Part 2, 2018, Pages 1906-1916. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
- Lindholm, I. (2019). Hållbarhet allt viktigare inom bygg och fastighet: <https://miljo-utveckling.se/hallbarhet-allt-viktigare-inom-bygg-och-fastighet/>
- López, C. D., Carpio, M., Martin-Morales, M., & Zamorano, M. (2019). A comparative analysis of sustainable building assessment methods. Sustainable Cities and Society.
- Lundgren, J. (2022). Kursrapport – BOOKLET – ARK338 Material & Detail s.268
- Ljung, M., & Håkansson, F. (2020). Cirkulär ekonomi inom byggsektorn-En kvalitativ intervjustudie kring byggbranschens förhållande till cirkulär ekonomi för hållbar framtid. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1483313/FULLTEXT01.pdf>
- Michael Håkansson. (2000). Skogsencyklopedin, utgiven av Sveriges Skogsvårdsförbund , Stockholm: <https://www.skogen.se/glossary/bjork>
- Naturvårdsverket. (u.å). *Avfall - både resursslöseri och negativ miljöpåverkan*.
<https://www.naturvardsverket.se/annesomraden/avfall/avfall--bade-resurssloseri-och-negativ-miljopaverkan/>
- Riksskogstaxeringen (2020b). Skogsdata 2020. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/statistik-om-skog/skogsdata/>

SCB. (2022). Sveriges befolkning. Hämtad 13 april, 2023, från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/sveriges-befolkning/#Nyckeltal>

Skogforsk. (2021). Björkens möjligheter - en kunskapssammanställning. [https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2021/bjorkens-mojligheter-en-kunskapssammanstallning/#:~:text=Bj%C3%B6rkens%20densitet%20\(torrsubstans%20per%20volym%20senhet,70%20procent%20av%20tallens%20volymproduktion](https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2021/bjorkens-mojligheter-en-kunskapssammanstallning/#:~:text=Bj%C3%B6rkens%20densitet%20(torrsubstans%20per%20volym%20senhet,70%20procent%20av%20tallens%20volymproduktion)

Skogskunskap (2021). Volymmått. Hämtad 6 maj, 2023 <https://www.skogskunskap.se/aga-skog/matt-och-matning/volymmatt/>

<https://www.skogskunskap.se/ordlista/m/mfub/>

Stockholms Resilience Center. (u.å.). The nine planetary boundaries. <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/the-nine-planetary-boundaries.html#:~:text=Climate%20Change,ice%20is%20almost%20certainly%20irreversible.>

Swedish Standards Institute. (2006). Miljöledning – Livscykelanalys – Principer och struktur (ISO 14040:2006). Svenska institutet för standarder. <https://www.sis.se/produkter/ledningssystem-e07b0fe8/ledningssystem-for-miljo/sseniso140402006/>

Svensk Hälsokost. (u.å.). Björksocker . Hämtad 27 mars, 2023, från <https://www.svenskhalsokost.se/bjorksocker>

Sydved AB (2023). Björkträ. Hämtad 16 Maj,2023 från <https://www.sydved.se/>

Swedish Wood. (2018). Environmental Product Declaration. <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/18afe9ab-4c75-403c-809f-a2e61527d625/Data>

Sandanayake, M., Lokuge, W., Zhang, G., Setunge, S., & Thushar, Q. (2018). Greenhouse gas emissions during timber and concrete building construction—A scenario based comparative case study. Sustainable cities and society. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717311381>

TUMAYER, D., & SHAMELI, P. (2017). Byggbranschens påverkan på Globala målen förhållbarutveckling. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/252511/252511.pdf>

Valeur, C. (2014). Björken- älskad, hatad och älskad igen. Skogshistoriska Sällskapetets Årsskrift, 32–40. <https://skogshistoria.se/wpcontent/uploads/2018/08/%C3%85rsskrift-2014-s-32-40-Christian-ValeurBj%C3%B6rken-%C3%A4lskad-hatad-och-%C3%A4lskad-igen.pdf>

Vanhälls såg AB (2023). Sågverk. Hämtad 16 Maj, 2023, från <https://www.sagverk.com/kontakt>

Vattenfall (2023). Energi omvandlingssiffror. Hämtad 12 Maj, 2023, från <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/elprisprognos/?icmp=301>

Wang, L., Toppinen, A., & Juslin, H. (2014). Use of wood in green building: A study of expert perspectives from the UK. *Journal of cleaner production*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613005623>

Åhlund, K. (2022). Reciprocal Shell. <https://karlahlund.com/Reciprocal>

Ädling, A. (2008). Timmerhusets historia och framtid: En studie av timmerhusets energianvändning: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:120349/FULLTEXT01.pdf>

INSTITUTIONEN ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS