



CHALMERS

Strukturella batteriers applikation inom fordonsindustrin

En studie om strukturella batteriers ekonomiska och miljömässiga möjligheter för lastbilar och färjor

Kandidatarbete inom teknikens ekonomi och organisation

FREDRIK HELLICHIUS MARTIN ENGELSEN

SIMON GUSTAFSSON MIKAEL KARLSSON

HANNA JOHANSSON NILS MANN

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE TEK18-23-06

Strukturella batteriers applikation inom fordonsindustrin

En studie om strukturella batteriers ekonomiska och miljömässiga
möjligheter för lastbilar och färjor

Structural battery composites application in the automotive industry

A study about structural battery composites economical and
environmental opportunities in trucks and ferries

FREDRIK HELLICHIOUS	MARTIN ENGELSEN
SIMON GUSTAFSSON	MIKAEL KARLSSON
HANNA JOHANSSON	NILS MANN

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelningen för Miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

Strukturella batteries application inom fordonsindustrin
En studie om strukturella batteriers ekonomiska och miljömässiga möjligheter för
lastbilar och färjor

FREDRIK HELLICHIUS MARTIN ENGELSEN
SIMON GUSTAFSSON MIKAEL KARLSSON
HANNA JOHNSON NILS MANN

© FREDRIK HELLICHIUS, 2023 © MARTIN ENGELSEN, 2023
© SIMON GUSTAFSSON, 2023 © MIKAEL KARLSSON, 2023
© HANNA JOHNSON, 2023 © NILS MANN, 2023

Handledare: Frida Hermansson, Avdelningen för Miljösystemanalys
Examinator: Erik Bohlin, Teknikens Ekonomi och Organisation

Kandidatarbete TEKX18-23-06
Teknikens Ekonomi och Organisation
Avdelningen för Miljösystemanalys
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46(0) 31 772 1000

Göteborg, Sverige 2023
Gothenburg, Sweden 2023

Structural batteries composites application in the automotive industry
A study about structural battery composites economical and environmental oppor-
tunities in trucks and ferries

FREDRIK HELLIHIUS MARTIN ENGELSEN

SIMON GUSTAFSSON MIKAEL KARLSSON

HANNA JOHANSSON NILS MANN

Teknikens Ekonomi och Organisation

Chalmers Tekniska Högskola

Abstract

The automotive fleet of today is mainly fueled by fossile fuels, all while there is an increased emphasis on achieving a fossile free society. Therefore, the electrification of the automotive fleet is becoming an increasingly important factor in reducing our emissions. However, heavy lithium-ion batteriers contribute to heavy vehicles and an alternative to these could be found in structural battery composites, which have the capacity to store energy and carry structural load.

The study aims to examine whether applying structural battery composites to trucks and ferries could lead to environmental gains, as well as indentifying indicators regarding where and when structural batteries can lead to decreased emissions of greenhouse gases in vehicles.

The theoretical framework describes structural battery composites, as well as the electrification of trucks and ferries.

Interviews with experts in difference fields has been conducted as well as a broad literature-analysis of relevant literature. Calculations to examine economical and environmental aspects has also been done. Additionally, a decision tree has been made to identify indicators that helps to show when and where structural battery composites might be a good idea to implement.

The study has shown that, from an enviromental perspective, it is beneficial to implement structural battery composites in ferries, but not in trucks as the reduced energy consumption in the user phase is larger then the increased energy consumption in the production phase för ferries, and vice versa for trucks. Furthermore, caulculations indicate that as of now there is no economic benefits from implementing structural battery composites in any of the two vehicle types.

Keywords: Structural battery composites, composites, carbon fiber composite

Note: The report is written in Swedish

Sammanfattning

Fordonsflottan idag drivs främst av fossila bränslen, samtidigt som en allt större vikt läggs på att uppnå ett fossilfritt samhälle. Därmed, blir elektrifieringen av fordonsflottan en allt mer viktig faktor i att minska dagens utsläpp, där prevalensen av eldrivna fordon blir allt högre. Tunga litiumjonbatterier medför dock tunga fordon och ett alternativ till dessa kan tänkas utgöras av strukturella batterier, som medför förmågan att kombinera energilagring med strukturella egenskaper.

Studiens syfte är att undersöka huruvida en applikation av strukturella batterier kan leda till miljövinster i lastbilar och färjor, samt att ta fram indikatorer på var och när strukturella batterier kan bidra till minskade utsläpp av växthusgaser hos fordon.

Det teoretiska ramverket beskriver strukturella batterier, samt elektrifieringen av lastbilar och färjor.

Intervjuer med experter inom relevanta områden har genomförts, samt en litteraturstudie av relevant litteratur. Vidare har det även genomförts beräkningar för att bedöma ekonomi- och miljöaspekter, samt har ett beslutträd tagits fram för att hitta indikatorer för att visa var strukturella batterier kan tänkas vara gynnsamma att implementera.

Studien har visat att det, ur ett miljöperspektiv, är lönsamt att implementera strukturella batterier i färjor då energibesparingen i användarfasen är större än den ökade energiåtgången i produktionen för färjor, men inte i lastbilar, då energiåtgången ökar. Vidare indikerar beräkningar att det i dagsläget inte är ekonomiskt lönsamt att implementera strukturella batterier i någon av fordonstyperna.

Nyckelord: Strukturella batterier, komposit, kolfiberkomposit

Notera: Rapporten är skriven på svenska.

Förord

Den här rapporten är ett kandidatarbete som skrevs under våren 2023 för avdelningen Miljösystemanalys vid Chalmers Tekniska Högskola. Rapportens författare kommer samtliga från ett civilingenjörsprogram på Chalmers Tekniska Högskola. De representerade programmen är Industriell Ekonomi (MK & SG), Maskinteknik (ME, FH & NM) samt Globala System (HJ).

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Frida Hermansson som stöttat oss i vårt rapportskrivande genom högt och lågt. Utifrån Fridas forskning, stöttning och rådgivning har vi byggt stora delar av vår rapport. Rapporten hade således inte kunnat vara vad den är utan henne.

Vi vill även tacka samtliga som har ställt upp på intervju och guidat oss genom deras expertisområden och hjälpt oss framåt i arbetet.

Innehåll

Figurer	xi
Tabeller	xii
1 Introduktion	1
1.1 Inledning	1
1.2 Bakgrund	1
1.3 Syfte	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Problemformulering & frågeställningar	3
2 Teori	5
2.1 Strukturella batterier	5
2.1.1 Produktion och återvinning	6
2.1.2 Materialegenskaper	7
2.1.3 Miljöpåverkan	7
2.2 Elektrifiering färjor	7
2.3 Elektrifiering lastbilar	8
3 Metod	10
3.1 Litteraturstudie	10
3.1.1 Semi-systematisk litteraturstudie	10
3.1.2 Integrerande litteraturstudie	10
3.1.3 Litteraturstudie av strukturella batterier	11
3.2 Intervjustudie	11
3.3 Beslutsträd	12
3.3.1 Beslutsträd för strukturella batterier	14
3.4 Beräkningar	15
3.4.1 Dimensionering energilager	15
3.4.2 Elasticitetsmodul	15
3.4.3 Energi	16
3.4.4 Miljöpåverkan	16
3.4.5 Ekonomi	16
4 Resultat och Diskussion	18
4.1 Lastbilar	18
4.1.1 Förutsättningar för implementering av SB	18

4.1.1.1	Fjarrtransporter	18
4.1.1.2	Lokala transporter	21
4.1.2	Energibehov & Energikapacitet	22
4.1.3	Miljöpåverkan	23
4.1.3.1	Aluminiumvägg	23
4.1.3.2	Hybridmaterial	24
4.1.4	Strukturella batteriers begränsningar	25
4.1.5	Ekonomi	26
4.1.6	Beslutsträd Lastbilar	28
4.2	Färjor	29
4.2.1	Förutsättningar för implementering av SB	29
4.2.2	Miljöpåverkan	30
4.2.3	Ekonomi	32
4.2.4	Beslutsträd färjor	33
4.3	Återvinning och andrahandsmarknaden	35
5	Slutsats	36
5.1	Slutsats	36
5.2	Förslag till vidare forskning	38
	Bibliography	39
A	Appendix 1	I
A.1	Intervju A	I
A.2	Intervju B	I
A.3	Intervju C	I
A.4	Intervju D	II
A.5	Intervju E	II
A.6	Intervju F	II
A.7	Intervju G	III

Figurer

2.1	Uppbyggnad av SB.	5
3.1	Beslutsträd baserat på den binära målvariabeln Y	13
4.1	Beslutsträd för lastbilars implementation av SB.	28
4.2	Beslutsträd för en färja.	34

Tabeller

3.1	Studiens intervjuobjekt.	12
3.2	Egenskaper beroende på val av batteri i fordonet.	15
3.3	Elasticitetsmodul för det initiala samt konceptuella materialet i fordonskomponenten.	16
3.4	Miljöpåverkan i kg CO_2 -ekv för respektive material som används i fordonen.	17
3.5	Marknadspriser för SB och litium i [USD/kg].	17
4.1	Densitet för olika material som används i släpets sidor.	18
4.2	Volym och massa på en sida av ett lastbilssläp för olika material.	19
4.3	Bränsleförbrukning i förhållande till vikt och strukturella batterier.	20
4.4	Ökad körsträcka som funktion av massförändring.	20
4.5	Volym och massa på en sida av ett lastbilssläp för olika material på en lätt lastbil.	21
4.6	Bränsleförbrukning i förhållande till vikt och strukturella batterier på lokala transporter.	21
4.7	Ökad körsträcka som funktion av massförändring.	22
4.8	Viktförändring fjärrtransporter samt lokala transporter:	24
4.9	Miljöpåverkan från fjärrtransporter och lokala transporter med hänsyn till produktionen av materialen samt energibesparingen till följd av viktminskningen.	24
4.10	Viktförändring transporter:	25
4.11	Miljöpåverkan fjärrtransporter och lokala transporter.	25
4.12	Ekonomi för tunga lastbilar.	26
4.13	Ekonomi för lätta lastbilar.	26
4.14	Ekonomi för tunga lastbilar.	27
4.15	Ekonomi för lätta lastbilar.	27
4.16	Dimensioner för en mindre färja, volymen är beräknad utifrån antagandet att skrovet är rektangulärt och färjans totala energiåtgång vid dimensionering av litiumjonbatterier.	29
4.17	Viktförändring för den mindre färjan i kg.	30
4.18	Total miljöpåverkan i kg CO_2 -ekv efter hänsyn till produktionen av materialen samt energibesparingen till följd av viktminskningen.	32
4.19	Kostnad för det utbytta initiala skrovmaterialiet med ett antaget värde för aluminium.	32
4.20	Beräkningar för skillnad i pris.	33

1

Introduktion

1.1 Inledning

Dagens fordonsflotta drivs till största del av fossila bränslen, och en tredjedel av Sveriges totala utsläpp utgörs av inrikes transporter som drivs av fossila bränslen (Statistikmyndigheten, 2016). Ett fossilfritt samhälle är viktigt då målet enligt Parisavtalet är att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5°C fram till år 2100. En lösning till detta är en allt större elektrifiering av transportsektorn för att minska dessa utsläpp av växthusgaser. Elbilar blir allt vanligare i trafiken (Statistikmyndigheten, 2020), övergången till elektrifiering av fordonsflottan leder till en högre elförbrukning och det är därför av intresse att undersöka om det finns något sätt att effektivisera framdrivningen. Dagens elbilar har massiva litiumjonbatterier för framdrivningen, samt tunga strukturer för att säkerställa den strukturella och mekaniska hållfastheten i fordonet. Det leder till att en stor mängd energi går åt till att driva de tunga fordonen. En lättare vikt har som fördel att en mindre mängd upplagrad energi förbrukas (Hermansson et al., 2021).

En möjlig lösning för att minska vikten på fordon är att använda strukturella batterikompositer (SB). SB är ett material bestående av kolfiber i kombination med en elektrolyt (Asp et al., 2021). Kolfiber är ett sprött material och är ett av de starkaste materialen som tillverkas kommersiellt (Nationalencyklopedin, n.d). SB har egenskapen att kunna kombinera energilagring med strukturella egenskaper. Forskning visar att SB skulle kunna minska fordonets vikt då delar av en strukturell komponent byts ut mot SB, därmed kan litiumjonbatterierna reduceras, vilket leder till minskad fordonsvikt och följaktligen kan fordonets energiförbrukning minska under användningsfasen (Hermansson et al., 2021). Enligt Johannisson et al. (2019) har strukturella batterier potentialen att spara 26 % av massan som annars hade behövts med en-funktionella fordonskomponenter.

1.2 Bakgrund

Undersökning av miljönytta från SB relaterar till de globala målen som FN har tagit fram. Det globala målet hållbar industri, innovationer och infrastruktur gäller hur industrier och infrastrukturer ska göras mer inkluderande och hållbara, där innovation och teknologiska framsteg är vägen framåt för att hitta nya hållbara lösningar för bland annat miljöinriktade utmaningar (Globala målen, 2022a). Då SB är en

ny teknologi och har obesvarade frågor samt utmaningar är det högst relevant att undersöka huruvida det kan bidra till att uppnå målet eller ej. SB har hittills en energikrävande produktion, men minskar samtidigt elanvändningen under produktens användningsfas, därav är det relevant att även koppla ämnet till det globala målet hållbar energi för alla. Efterfrågan på el väntas öka med 37 % till år 2040 (Globala målen, 2022b), vilket gör det viktigt att hitta energieffektiva teknologier. Många studier som gäller SB riktar in sig på de totala växthusutsläppen över livscykeln, det är därför inte endast energi som tas i beaktning men det är en viktig aspekt. Energiförbrukning kopplas också direkt till växthusgasutsläpp, beroende på hur stor andel energi som utvinns med fossil råvara. Detta kan vidare kopplas till andra globala mål, till exempel målet att bekämpa klimatförändringarna som framförallt handlar om att minska utsläppet av växthusgaser (Globala målen, 2022c), därför är det av vikt att undersöka nya teknologier som kan minska utsläpp av växthusgaser.

SB spelar en viktig roll i att uppnå det globala målet "Hållbara städer och samhällen". Genom att integrera batterier i byggnader och fordon kan vi skapa energieffektiva städer och främja hållbar mobilitet. SB möjliggör lagring och användning av överskott av förnybar energi i byggnader samt förlänger räckvidden för elfordon. Dessutom bidrar de till flexibla och resilienta energisystem. På så sätt kan SB främja hållbar utveckling i stads- och samhällsmiljöer (Globala målen, 2022d). Integrationen av SB i fordon innebär också en möjlighet att minska förekomsten av dagens litium-jon batterier vilket i sin tur även minskar användningen av kobolt. Kobolt är en metall som utgör en viktig komponent i elektroden hos ett batteri och cirka 70% av världens kobolt utvinns ur gruvor i Demokratiska Republiken Kongo (DRK). Detta är ett stort problem på grund av de arbetsförhållandena som finns i DRK, där förekomsten av barnarbete är vanligt och arbetare ofta får jobba under osäkra arbetsförhållanden ("Lithium-ion batteries need to be greener and ethical", 2021). SB kan därmed vara en del i att minska beroendet av kobolt från DRK och då även minska förekomsten av barnarbete samt andra olämpliga arbetsförhållanden (Globala målen, 2022e) och därmed bidra till målet "anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt".

Det finns ett antal större utmaningar kopplat till SB. Det beräknas kräva stora mängder energi för att producera litiumceller (Zackrisson et al., 2019) och kolfiber (Witik et al., 2013) som båda behövs för att tillverka SB, däremot förväntas den höga energiförbrukningen avta i takt med att teknologin utvecklas (Hermansson et al., 2021). Dessutom är det hittills problematiskt att uppnå goda strukturella egenskaper samt goda energilagringsegenskaper samtidigt i en och samma komponent men det är ett forskningsområde där många framsteg görs (Asp et al., 2019). I denna studie undersöks indikatorer och parametrar för att kunna välja rätt applikation för SB i relation till dess egenskaper, närmare bestämt där de gör störst miljönytta för fordonsflottan.

1.3 Syfte

Syftet med studien är att undersöka möjligheten att substituera existerande komponenter mot SB för att uppnå miljövinster hos lastbilar och färjor. Vidare syftar studien även till att ta fram indikatorer på var applikationen av SB kan anses vara lämplig och leda till miljövinster. Resultaten ämnar att ge en tidig indikation för SB:s lönsamhet i lastbilar och färjor, samt bana väg för nya tankesätt kring hur framtidens transportmedel utformas, produceras och bidra till en ökad förståelse kring materialet och dess inverkan på transportsektorn.

1.4 Avgränsningar

SB befinner sig i ett utvecklingsstadium och därmed begränsas problemformuleringen och metoden för rapporten av den forskning som finns tillgänglig i dagsläget. Det innebär också att en djupare ekonomisk analys över hela fordonslivscykel inte anses lämplig. Detta för att det finns oerhört många faktorer som det i dagsläget inte finns data på. En sådan är besparingen på drivmedel som inte används när SB implementeras. Med de prisfluktuationer som pågått den senaste tiden anses det inte finnas rimlig data för att göra en lämplig kalkyl. Därmed genomförs den ekonomiska analysen endast med avseende på produktionen. Att göra en fullständig livscykelanalys för att ta reda på SB:s miljöpåverkan är för resurs- samt tidskrävande för arbetets omfattning, vilket påverkar möjligheten att erhålla nödvändiga data för detta syfte. Därav kommer en fullständig livscykelanalys inte att sammanställas i detta arbete. Studien kommer istället att utgå från klimatdata som hämtas ur litteratur samt databaser. Vilken typ av miljöpåverkan ett strukturellt batteri har måste också avgränsas. För fordonsindustrin är främst energi samt klimat två viktiga parametrar att undersöka.

I syfte att möjliggöra en givande analys och gå mer djupgående på vissa faktorer, avgränsas arbetet till att endast undersöka två fordonstyper, lastbilar och färjor. Beträffande lastbilar kommer denna fordonskategori delas in i två typer, lokala transporter och fjärrtransporter. Detta då fordonen skiljer sig både i storlek samt körsträcka. Transportsektorn har många varierande fordon som skulle vara intressanta att undersöka men då olika fordon skiljer sig mycket från varandra är det svårt att hitta indikatorer och möjlighet till implementering i för många olika typer av fordon, med hänsyn till storleken på studiens omfattning. Valet av fordonstyper faller på att en studie på personbilar redan är gjord och lastbilar och färjor sågs då som attraktiva undersökningsområden. Fortsatta studier skulle kunna undersöka bussar, flygplan eller tåg.

1.5 Problemformulering & frågeställningar

Med utgång ur syftet att undersöka vilka komponenter som kan substitueras hos lastbilar och färjor kan ett antal frågeställningar utformas. Innan det kan göras en analys på miljöpåverkan måste det först undersökas var på fordonen det anses lämp-

ligt att applicera SB. Således blir den första frågeställningen följande:

- Vilka komponenter hos lastbilar och färjor kan ersättas med strukturella batterier?

Vilka fordonskomponenter som kan ersättas beror huvudsakligen på vart på fordonet komponenten sitter, vilken vikt den har och vad den har för styvhet och strukturell bärighet, samt dess funktion. Det är viktigt att SB har samma typ av massbärande egenskaper som det ursprungliga materialet med hänsyn till säkerhetsaspekter. Det behövs undersökas om SB är vattentåliga, vad som händer med dem ifall en eventuell olycka händer, samt huruvida det är ekonomiskt möjligt att ersätta fordonskomponenter med SB. Efter utvärdering av vilka komponenter som är värda att bytas ut blir en naturlig följdfråga;

- Är det lönsamt ur ett miljöperspektiv att göra detta byte?

Ett sätt att identifiera miljöeffekten är att analysera hur mycket bränsle som sparas när komponentbytet verkställs.

Det är även lämpligt att studera tillverkningsfasen av SB jämfört med material som används i dagsläget. Detta då SB kräver mycket mer energi vid tillverkning än material som vanligtvis används i fordonskomponenter. Om tillverkningen av SB förbrukar mindre energi än vad de tillför vid användning finns det relevant att gå vidare med detta.

- I vilka typer av lastbilar/färjor kan strukturella batterier göra mest ekonomi- och miljövinster?

Studien kommer, genom arbetet med dessa frågor, att ta fram relevanta indikatorer som sedan kan bistå i att vid framtida tillfällen fatta beslut kring huruvida applikationen av SB i fordon kan tänkas vara gynnsam.

2

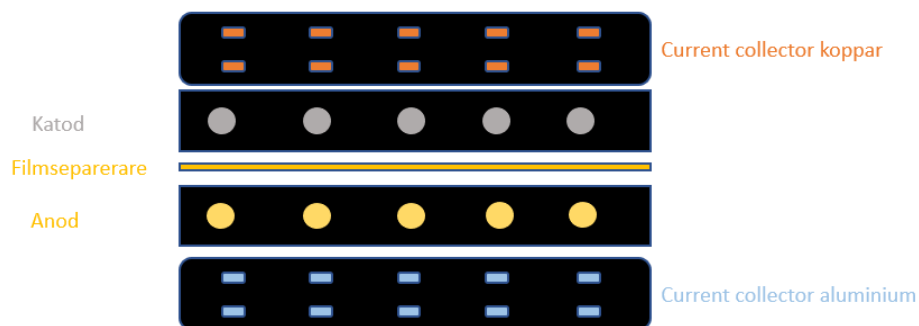
Teori

Följande avsnitt ämnar att presentera det teoretiska ramverk som ligger till grund för studien. Nedan presenteras strukturella batterier och dess egenskaper, samt elektrofieringen av färjor och lastbilar.

2.1 Strukturella batterier

SB är uppbyggt enligt figur 2.1 och består av flera komponenter. Anod och katod är båda gjorda av kolfiber och är placerade mot varandra med en tunn filmseparatorare emellan dem. Separatoraren fungerar som en barriär som förhindrar att elektroderna kommer i direkt kontakt med varandra, samtidigt som den tillåter att elektrolyten kan passera igenom (Hermansson et al., 2022).

Hermansson (2022) menar vidare att runt både anoden och katoden finns koppar och aluminium som fungerar som strömupptagare, vilket innebär att de kan transportera den elektriska strömmen från elektroderna till den externa kretsen som SB är ansluten till. Runt SB finns även ett extra skydd från yttre påverkan som är gjort av kolfiberkomposit eller glasfiberkomposit, vilket kan vara särskilt viktigt om SB används i miljöer med högt slitage eller korrosionsrisk.



Figur 2.1: Uppbyggnad av SB.

Kolfiber har under de senaste decennierna utvecklats för att optimera den mekaniska prestandan på materialet. En av SB:s största utmaningar blir därför att bibehålla den mekaniska prestandan som utvecklats och samtidigt kunna lagra el och därmed

uppnå multifunktionalitet (Asp & Greenhalgh, 2014). Det första strukturella batteriet tillverkades 2007 och använde ett kolfiber-laminat som den negativa elektroden och till den positiva elektroden ett metallnät belagt med ett katodmaterial och mellan elektroderna användes glasfiber som separerare. Denna metod visade på goda strukturella egenskaper men på grund av låg elektrisk isoleringsförmåga blev energilagringens förmågan bristande. Det gjordes också försök att göra ett strukturellt batteri med goda elektrokemiska egenskaper, dock resulterade det i låg dragmodul runt 3 GPa (Asp et al., 2021), vilket kan jämföras med aluminium som har en dragmodul på ca 70 GPa (WorldAutoSteel, u.å.). Studien visar på att det hittills inte hade tagits fram ett strukturellt batteri som kan kombinera elektrokemiska egenskaper med strukturella egenskaper med tillräckligt hög prestanda. Under 2021 publicerades det dock att det gjorts stort genombrott för multifunktionaliteten i SB, det bästa försöket hittills för att uppnå elektrisk energilagring, styvhet och hållfasthet samtidigt (Folino & Halleröd, 2021). Detta visar på att SB är under utveckling och mycket händer i forskningen för att göra multifunktionaliteten bättre.

2.1.1 Produktion och återvinning

Hittills finns det ingen kommersiell produktion av SB. Produktionen av SB kan liknas till produktion av litiumjonbatterier med några skillnader. I ett litiumjonbatteri rullas lagrena med negativa och positiva elektroden med separator emellan ihop och stoppas in i en behållare, SB rullas inte ihop. Istället injiceras en polymer och sedan tillsätts värme vilket är en process om ca 60-90 minuter vilket gör ett stopp i produktionsflödet (Intervju person B, personlig kommunikation, 8 mars 2023).

Ännu har det inte gjorts tester på SB:s livslängd, detta beror på hur många laddningscykler batteriet kommer ha, efter varje cykel utvecklas oönskade kemiska produkter. Detta kan dock lösas genom att tillsätta en ny elektrolyt (Intervju person B, personlig kommunikation, 8 mars 2023). Alltså finns det potential för att återanvända SB efter slutförbrukning då en ny elektrolyt tillsätts. När det kommer till återvinning av kol och glasfibern finns det antaganden kring att kol- och glasfiberkan återvinnas genom pyrolys (Hermansson et al. 2021). Återvinning av kolfiber och polymer tillämpas sällan i nuläget, det är komplicerat att separera polymeren och kolfibret är svårt att separera från epoxy vilket gör det svårt att återvinna kolfiber på ett kostnadseffektivt och hållbart sätt (Intervju person B, personlig kommunikation, 8 mars 2023).

I Jämförelse finns det tre metoder för återvinning av litiumjonbatterier. Den första metoden innebär att batteriets komponenter demonteras i ett försök att bevara katodmaterialet. För denna metod krävs en mindre mängd material och energi men metoden är dock beroende av arbetskraft för att ta isär batteriet. Den andra metoden använder pyrometallurgi, det vill säga termisk energi för att reducera batteriets komponenter till metall och andra slaggprodukter. Dessa produkter kan sedan separeras. Nackdelen med metoden är att den kräver höga mängder energi och kapital. Den sista metoden är hydrometallurgiska metoder som använder vattenhaltiga lösningar för att extrahera komponenter från batterier. Metoden kräver låga mängder

energi och har en lägre kostnad än den andra metoden. Däremot krävs större mängd vatten och olika reagenter för att processen ska fungera. För den andra och tredje metoden krävs en förbehandling av batterierna (Bird et al., 2022).

2.1.2 Materialegenskaper

Utifrån den senaste forskning kring SB antas det nuvarande värdet på SB:s elasticitetsmodul vara 70 GPa, medan energidensiteten antas ha ett värde på 70 Wh/kg. Enligt Intervju person B (personlig kommunikation, 8 mars 2023) är den optimala temperaturen för SB 20-30°C, då kalla temperaturer leder till att reaktionen i SB går långsammare precis som i ett litiumjonbatteri som använder samma kemiska reaktioner. Vidare menar Intervju person B att SB står emot brand bra då energilagringen är inbäddad i lager av plast och aluminium, detta gör också att det kan stå emot bra mot fukt. Säkerheten kring SB är fortfarande outforskad, det är exempelvis inte forskat på hur bra det står emot krockar, enligt Intervju person B. Ytterligare uppvisar SB i nuläget en urladdningshastighet ("discharge time"), det vill säga en effekt på ungefär 20 timmar (Asp et al., 2021).

2.1.3 Miljöpåverkan

SB har en mindre komplicerad montering jämfört med litiumjonbatteri. De största koldioxidutsläppen från produktionen kan antas komma från kolfibertillverkningen (Intervju person B, personlig kommunikation, 8 mars 2023). Koldioxidutsläpp för produktion beräknas till 22,5 kg CO_2 – *ekv/kg* SB (Hermansson et al., 2021). Då kolfibertillverkning kräver stora mängder kol är detta en viktig resurs för SB. Det är möjligt att använda återvunnen polymer till kolfiber (Intervju person B, personlig kommunikation, 8 mars 2023).

2.2 Elektrifiering färjor

Sjöstrand och Lindgren (2022) belyser att förekomsten av elektrifierade färjor och fartyg för närvarande är relativt ovanlig. I slutet av 2021 fanns knappt 340 färjor och fartyg som i någon utbredning var elektrifierade. De menar att ökningen sannolikt kommer att ske långsamt, och det spås att runt 2030 kommer andelen elektrifierade fartyg fortfarande vara relativt liten i relation till den globala fartygsflottan. Det kan vara laddhybrider, elhybrider eller helt elektrifierade fartyg. Det finns många utmaningar gällande elektrifiering av fartygsflottan. Att endast ha elektrisk framdrift av fartyg resulterar i en rad svårigheter, såsom kortare räckvidd då batterierna laddas ut samt att det krävs stor volym samt hög vikt för att få plats åt tillräckligt mycket batterier. Detta leder till att med tekniken som hittills finns, är elektriska fartyg med batteriframdrift endast möjligt för en sträcka på 20 mil. De batterier som syftas på är litiumjonbatterier med låg energidensitet, vilket gör att det krävs stor volym och resulterar i en hög vikt. Därtill är det högre krav på ventilation och isolering av elbatterier på fartyg på grund av högre brandrisk vilket bidrar till ytterligare vikt. Dessa faktorer resulterar i att ett elektriskt fartyg lämpar sig bäst i

formen av en mindre färja eller passagerarbåt då dessa är tänkta att färdas kortare sträckor med fasta rutter och många stopp. En annan nackdel med batteriframdrift är att de behöver laddas relativt ofta, beroende på hur mycket batterier som finns ombord. Detta gör att färjan då behöver stå still vid land mycket. En lösning på detta kan enligt källan vara att ha förladdade batterier på land som direkt kan byta ut de urladdade och fartyget behöver därmed inte vänta vid land för att laddas. Då fartyg av typen färjor, höghastighetsfärjor och passagerarfartyg ofta följer tidtabeller krävs det att dessa kan laddas snabbt (Sjöstrand, Lindgren 2022). För att fartygsflottan ska bli elektrifierad är lättviktsmaterial en väg för att göra det möjligt. En innovationsmöjlighet kopplat till detta är just SB (Sjögren et al., 2022).

Studier har visat att det ur ett livscykelperspektiv är fördelaktigt att göra skrov av kompositer jämfört med aluminium- eller stålskrov då fartyget får en lättare vikt och därmed minskar bränsleförbrukningen i fossila fall. Däremot finns inte livscykelanalyser på elektrifierade fartyg med lättviktsmaterial (Sjögren et al., 2022).

Segel kan användas på fartyg för att reducera energiförbrukningen. Det finns en rad alternativ för hur dessa segel skulle kunna utformas för att avlasta förbränningsmotorer på fartyg (Koucky och Partners AB 2016). Inom forskning i framtida framdrift för fartyg kan segel komma att spela en viktig roll för att möta framtidens utmaningar inom fartygsflottan (Intervjuperson C, personlig kommunikation, 15 mars 2023). Enligt Intervju person B (personlig kommunikation, 8 mars 2023) skulle SB kunna implementeras i segel på fartyg på grund av dess böjlighet och förmåga att kunna vara platt.

2.3 Elektrifiering lastbilar

Enligt Luttinen och Palmersjö (2022) förväntas det att elektrifieringen av tunga transporter kommer öka till att cirka 50 % av lastbilarna som säljs år 2030 kommer att vara eldrivna. Vidare menar de att fokuset för elektrifieringen har varit på lokala lastbilar som kör kortare sträckor i städer. Gradvis kommer utvecklingen att inkludera fordon med högre totalvikt och längre körsträckor. De lastbilar som idag utvecklas har en totalvikt på 30 ton, en batterikapacitet upp till 400 kWh, samt en räckvidd på 200 km. Däremot kommer tunga lastbilar endast utgöra 10 % av framtida batteribehov då personbilar står för största delen av behovet. Det kommer att gå att elektrifiera en stor del av de modeller som finns idag då majoriteten av lastbilarna har en kortare körsträcka och transporterar gods inom ett län (Luttinen och Palmersjö, 2022).

Den laddinfrastruktur som finns idag har till stor del fokuserat på personbilar och de laddstationer som idag finns för tunga fordon är främst anpassade för elbussar. Anledningen till att utvecklingen inte kommit lika långt för tunga transporter beror på att problemet är komplexare. En buss kör liknande rutter varje dag och stannar på samma stationer. För ett tungt transportfordon kan vägarna och rutterna variera vilket gör det svårare att planera när och var lastbilen behöver ladda (Luttinen och Palmersjö, 2022). Luttinen och Palmersjö (2022) belyser att det för tunga for-

don finns det tre olika typer av stationär laddning. Privat depå, semi-publikt eller publikt längs vägen. De depåer som behöver utvecklas först kommer att vara semi-publika laddstationer där lokala och regionala transporter elektrifieras först. Enligt Power Circle (2021) har lokal transporter ett energibehov på 0,5-1 kWh/km, medan fjärrtransporter har ett energibehov på 1,5-2 kWh/km. Vidare kör fjärrtransporter enligt Karlström (2020) cirka 50 mil per dag, samtidigt som Power Circle (2021) menar att lokala transporter kör cirka 15 mil per dag.

3

Metod

I detta avsnitt beskrivs de metoder som används för att samla in data och besvara studiens frågeställningar. Studien har genomförts med hjälp av litteratur- samt intervjustudier, vidare har även beräkningar genomförts och det har skapats två beslutsträd för lastbilar och färjor som visar på deras lönsamhet.

3.1 Litteraturstudie

Snyder (2019) menar att det är viktigt att ta tidigare forskning i beaktning när ett forskningsområde ska undersökas, vilket då kan göras med hjälp av litteraturstudier. En litteraturstudie kan vara fördelaktig i ett flertal situationer, exempelvis om syftet är att analysera relevant teori inom ett fält, sammanställa stora mängder information, samt för att finna kunskapshål inom ett område. Vidare belyser Snyder (2019) att litteraturstudier kan genomföras antingen som en kvalitativ eller kvantitativ studie, men även som en kombination av dessa två. Dessutom presenteras tre övergripande typer av litteraturstudier, systematiska, semi-systematiska samt integrerande litteraturstudier, som kan användas i olika syften, där de två sistnämnda förklaras mer ingående nedan.

3.1.1 Semi-systematisk litteraturstudie

Semi-systematiska litteraturstudier lämpar sig väl för att studera ämnen som tidigare forskats på från många olika infallsvinklar av olika forskningsgrupper. Metoden syftar till att identifiera och förstå potentiellt relevant forskning inom området, för att därefter sammanställa forskningen för att ge en överblick över det aktuella ämnet. Detta förutsätter att den litteratur som studeras har en transparent och tydlig forskningsprocess för att läsaren ska kunna avgöra huruvida argument och påståenden kan bedömas vara rimliga (Snyder, 2019)

Snyder (2019) lyfter fram att den semi-systematiska litteraturstudien bland annat kan bistå i att kartlägga ett forskningsområde, ligga till grund för vidare forskningsagendor, samt bidra med en historisk överblick över ett ämne.

3.1.2 Integrerande litteraturstudie

Snyder (2019) beskriver integrerande litteraturstudier som nära besläktade med semi-systematiska litteraturstudier, men som dock används i ett annat syfte. En

integrerande litteraturstudie syftar till att analysera och sammanställa data med målet att ge upphov till nya teoretiska ramverk och perspektiv. Enligt Torracco (2016) används metoden främst till att antingen undersöka väldigt mogna ämnen eller nya, växande ämnen. För mogna ämnen är syftet att rekonceptualisera samt utöka den teoretiska grunden, medan syftet för nya ämnen är att bygga preliminära konceptualiseringar och modeller. Vidare kräver metoden en mer kreativ datainsamling, då syftet är att samla perspektiv från olika håll istället för att analysera alla existerande källor. Detta medför också att metoden blir mindre standardiserad än den semi-systematiska litteraturstudien. Trots detta bör denna typ av studier genomföras med en hög nivå av transparens, exempelvis beträffande hur urval av artiklar genomförts.

Resultat som erhålls från en integrerande litteraturstudie bör därmed bidra till att utveckla och expandera den befintliga kunskapsbasen samt teoretiska ramverk, snarare än att ge historiska beskrivningar kring det undersökta ämnet (Snyder, 2019).

3.1.3 Litteraturstudie av strukturella batterier

Då SB:s applikationspotential inom fordonsindustrin ännu kan ses som ett nyare forskningsområde där det finns en mindre mängd kunskap att tillgå, har studien metodval främst utformats som en integrerande litteraturstudie, som tillsammans med andra metoder ämnar att ge en ökad kunskapsbas inom området. Syftet med litteraturstudien är att ge en ökad förståelse för lastbilar och färjor, hur SB fungerar, samt för att erhålla relevant data om exempelvis utsläpp av växthusgaser.

Litteraturstudien genomfördes med ambitionen om att generera relevant data gällande lastbilar och färjor, både för beräkningar som genomfördes och för att bygga studiens teoretiska ramverk. Detta gjordes även för SB och kolfiberkompositer, där det även gjordes en sammanställning av olika värden från två livscykelanalyser genomförda av Hermansson et al. (2022) samt Zackrisson et al. (2019). Delar av den litteratur som studerats erhöles via handledaren. Vidare erhöles även litteratur genom diverse databaser som Google Scholar, Scopus och Semantic scholar. Litteratursökningen i dessa databaser genomfördes huvudsakligen mellan februari och april 2023 och gjordes i form av iterativa sökningar, där det uppstod en stor variation i använda sökord och fraser i syfte att finna relevanta artiklar inom de ovan nämnda områdena. Anledningen till den iterativa sökmetoden grundade sig i att forskningen för SB:s applikation i fordon ej har en bred litteraturbas, vilket medfört ett behov av en mer kreativ litteratursökning där en stor variation av litteratur screenats för att identifiera relevant litteratur för rapporten.

3.2 Intervjustudie

Jamshed (2014) menar att kvalitativa forskningsmetoder lämpar sig bäst när det forskas på nyare områden, och befäster därutöver att den vanligaste formen av datainsamling för kvalitativa forskningsmetoder är intervjuer. Då SB:s potentiella användningsområden inom fordonsindustrin kan ses som ett nyare forskningsområde

använde sig studien av en semistrukturerad intervjumetod, vilket enligt Nathan et al. (2019) är en av de vanligaste metoderna bland kvalitativa forskningsmetoder. Nathan et al. (2019) belyser att fördelar med dessa intervjuer är att de bidrar till att ge en djup förståelse för ett ämne där det i dagsläget finns mindre information, samt att det är en flexibel och anpassningsbar metod. Den semistrukturerade intervjumetoden kräver vidare att en intervjuguide bestående av planerade frågor utarbetas på förhand, samtidigt som det ges flexibilitet och frihet i intervjun och att det tillåts följdfrågor som frångår guiden (Nathan et al., 2019).

Under arbetet har de intervjuguiden som tagits fram baserats på information som erhållits från arbetets litteraturstudie, samt information som framkommit efterhand när intervjuer genomförts. Vidare har även intervjuguiden anpassats utifrån intervjuens fokusområde samt respondenternas arbetsroller, vilket därav medfört att intervjuguiderna som använts i dem olika intervjuerna skiljer sig från varandra i termer av vilka frågor som har ställts. Studiens intervjuguiden återfinns i Appendix 1. Under intervjuerna har rapportens syfte presenterats för intervjuobjekten, varpå intervjuguiderna har följts. Vidare tilläts även intervjuer att vid tillfällen styra ifrån intervjuguiderna när annan information som uppkom ansågs vara relevant. Intervjuerna har använts både i syfte att bygga projektets teoretiska ramverk, samt för datainsamlingen till resultatet. En lista över studiens intervjuobjekt samt fokus för intervjuer återfinns i tabell 3.1.

Studiens intervjuobjekt har valts ut då dessa ansetts besitta rätt expertis med avseende på de olika fokusområdena för respektive intervju. Kontakt med intervjuobjekten upprättades via mejlkontakt. Vidare genomfördes intervjuerna både i person, och även i form av videointervjuer genom tjänster som exempelvis zoom, utefter intervjuobjektens önskan.

Tabell 3.1: Studiens intervjuobjekt.

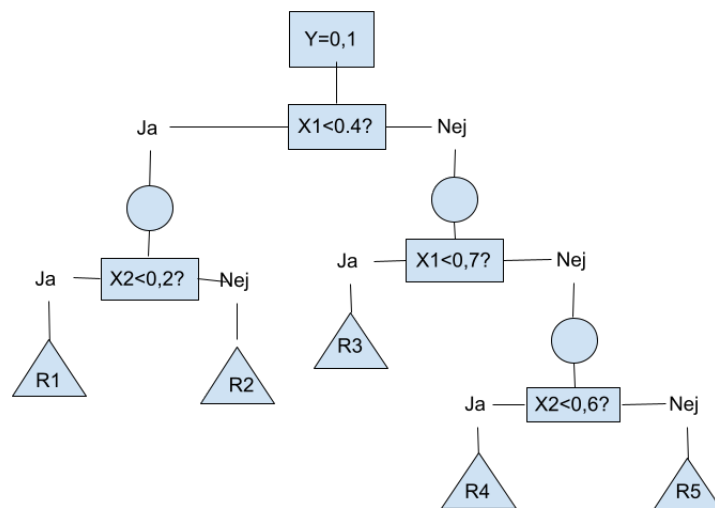
Person	Position	Företag	Fokus
A	Logistiksstrategi direktör	Einride	Lastbilar
B	Lead Feature ledare hållbarhet	Volvo Group	Lastbilar
C	Doktorsstudent på Maritim miljövetenskap	Chalmers Tekniska Högskola	Färjor
D	Forskare vid Material- och beräkningsmekanik	Chalmers Tekniska Högskola	Strukturella batterier
E	Forskarassistent vid Supply and Operations Management	Chalmers Tekniska Högskola	Elektriska fordon
F	Docent vid Reglerteknik	Chalmers Tekniska Högskola	Elektriska fordon
G	CAE ingenjör	Volvo Bus Corporation	Bussar

3.3 Beslutsträd

Beslutsträd introducerades på 60-talet och har sedan dess varit en av de mest effektiva metoderna inom datautvinning (“data mining”) för att de är relativt enkla att göra och följa samt att de kan användas även när viss information saknas. Detta har gjort att beslutsträd som metod nu används inom en rad olika professioner för att identifiera det bästa beslutet utifrån en rad olika faktorer. Beslutsträd används för att kunna visualisera olika beslut utifrån ett antal diskreta eller kontinuerliga variabler på ett lätt men effektivt sätt (Song & Lu, 2015). Beslutsträdet används

för att förutspå det beslut som är bäst utifrån de variabler som kan klassificeras och tolkas.

När beslutsträd som modell ska användas menar Song och Lu (2015) att det framförallt är fem steg som måste göras. 1) Välja variabler; vilka variabler har en faktisk påverkan på resultatet och kan mätas på något sätt. 2) Relativt värde på variabler; när variablerna som ska vara med i beslutsträd har bestämts är det viktigt att visa vilka variabler som är viktigast och som påverkar noggrannheten i modellen mest. 3) Hantering av saknade variabler; beslutsträdet kan hantera avsaknaden av variabler istället för att helt utesluta dem vilket också kan leda till att studien blir partisk. 4) Förutsägande; användandet av historiska data och historiska variabler kan ett beslutsträd användas för att förutsäga det troligaste resultatet i framtiden. 5) Datamanipulation; beslutsträd kan användas för att få ner antalet variabler till kategoriska variabler eller variabler till olika intervall.



Figur 3.1: Beslutsträd baserat på den binära målvariabeln Y .

Ett till synes lätt beslutsträd syns ovan och utgår från en binär variabel Y och två kontinuerliga variabler x_1 och x_2 . Beslutsträdet börjar i en “rotnod” och representerar ett beslut som i sig grenar ut sig i två eller fler utfall beroende på hur många möjliga utfall som finns; samtliga utfall måste vara ömsesidigt exklusiva. I detta fall kan det utläsas att beslutet är om variabel x_1 är under 0,4", vilket två grenar löper ut ifall beslutet är positivt, “Ja”, eller negativt, “Nej”. Grenarna leder då till en “chansnod” som representerar de möjligheter som finns kvar i trädet, den cirkulära chansnoden representeras här ihop med en beslutsnod för att ett nytt beslut angående variabel x_1 eller x_2 beroende på vilken gren som valts tidigare. I slutet av trädet presenteras “lövnoder” eller slutnoder som representerar vilket beslut eller utfall som de olika evenen resulterar i. På detta sätt används beslutsträd för att utifrån olika beslut och utfall “ta sig igenom” trädet och hamna på en slutnod och kan därefter fatta ett beslut. Beslutsträdet kan också användas på det sätt att olika

grenar skärs avför att det är beslut som av olika anledningar inte kommer att hända, säg att x_1 aldrig blir mindre än 0,8, då kan en hel gren "skäras av" och R4 eller R5 infaller aldrig.

3.3.1 Beslutsträd för strukturella batterier

Rapportens beslutsträd har ämnat att illustrera indikatorerna som visar på huruvida implementeringen av strukturella batterier är möjlig och om det genererar miljösamt ekonomiska vinster. Underlaget för att identifiera indikatorerna har erhållits via litteratur- samt intervjustudier, medan underlaget för de undersökta alternativen genererats med hjälp av samma nämnda metoder samt beräkningar.

Trädet börjar med frågeställningen "Finns volymen för de strukturella batterierna?". Detta är ett grundkrav för att implementeringen ska kunna genomföras.

Därefter undersöks frågan "Ökar mängden material" med avseende på hållfasthet. Det vill säga om det är en viktökning eller en viktminskning. Ökar inte mängden material kan det finnas en möjlighet att konstruktionen inte håller och då är förändringen inte möjlig.

Om det är en viktökning eller viktminskning följer beslutsträdet upp med frågan "Är konstruktionen rimlig?". Denna fråga undersöker ifall ökningen eller minskningen av vikt är rimlig att genomföra när det kommer till konstruktionen. I fallet med färjan blir frågan ifall en ökning kommer innebära att väggarna på skrovet blir såpass tjocka att den kommer sjunka? Skulle en viktminskning innebära att skrovet blir såpass tunt att den skulle gå sönder?

Nästa fråga lyder, "Existerar en viktminskning?". Tanken med implementeringen är att fordonen ska minska i vikt. Vad som skiljer SB från övriga batterier är att de är mycket lättare i vikt. Skulle det visa sig att vikten har ökat efter implementeringen av SB skulle produktens lönsamhet behöva undersökas.

Därefter undersöks vilken typ av lönsamhet som sker. Ekonomiskt och ur ett miljöperspektiv. Vad gäller ekonomiskt som ställer beslutsträdet frågan "Ökar priset?". Om priset efter implementeringen är dyrare än vad det idag redan är, då är inte implementeringen lönsam. Om priset inte ökat utan istället sjunkit, då innebär implementeringen en lönsamhet.

Under "Miljö" undersöks utsläpp av kg CO_2 - ekv. Under utsläpp av kg CO_2 - ekv undersöks frågan ifall det är ett minskat utsläpp eller ifall det har ökat. Om utsläppet minskat då är implementeringen lönsam. Om utsläppet ökat är implementeringen inte lönsam. Sist undersöks "Energi" med frågeställningen "Minskar energiförbrukningen". Om den minskar är implementeringen lönsam, annars är den inte lönsam.

Det räcker att en av grenarna uppfylls för att implementeringen ska kunna ske. Däremot är ”Miljö” och ”Energi” viktigare då målet med implementeringen är att minska klimatavtrycket.

3.4 Beräkningar

Beräkningar har utförts för både färja och lastbil för att komma fram till vilken miljöpåverkan ett byte har och huruvida implementationen är möjlig eller ej. Då ämnet är utforskat har ekvationer och huruvida beräkningar ska genomföras i stor mån diskuterats med experter i ämnet. Initialvärden och beräknade värden i tabellerna har avrundats. Beräkningar som är gemensamma för resultatavsnitten är följande:

3.4.1 Dimensionering energilager

För att kunna dimensionera det energilager som krävs på fordonet har energidensiteter på litiumjonbatterier och SB använts, se tabell 3.2. Energikapaciteten som antagits för fordonet med litiumjonbatteri-framdrift har sedan dimensionerats till vilken volym och vikt det skulle motsvara i SB genom SB:s densitet, se tabell 3.2. Både densiteten och energidensiteten på SB är baserat på senaste forskningen i samråd med expert.

Tabell 3.2: Egenskaper beroende på val av batteri i fordonet.

Egenskaper batterier		Källa
Energidensitet litiumjonbatteri [Wh/Kg]	143	(Dai et al., 2019)
Densitet SB [kg/m ³]	1 700	Senaste forskningen
Energidensitet SB [Wh/Kg]	70	Senaste forskningen

3.4.2 Elasticitetsmodul

SB har en elasticitetsmodul på 70 [GPa] vilket är ett antagande baserat på senaste forskning i samtal med experter. Denna bör jämföras med den fordonskomponent som byts ut vid implementeringen för att säkerställa att konstruktionen kommer hålla, med antagandet att samma elasticitetsmodul som det ursprungliga materialet har också behövts i fordonskomponenten. I de fall då det ursprungliga materialet i fordonskomponenten har högre elasticitetsmodul än SB, kan följande ekvationer användas för att beräkna vilken tjocklek på SB som kommer behövas vid bytet. Aluminiums elasticitetsmodul har jämförts för både lastbilar och färjor, se värden för elasticitetsmoduler i tabell 3.3.

För planstyvhet antas linjärt samband mellan elasticitetsmodulen och tjockleken, se ekvation 3.1.

$$tjocklek_{SB} = \frac{tjocklek_{skrov} EM_{skrov}}{EM_{SB}} \quad (3.1)$$

Tabell 3.3: Elasticitetsmodul för det initiala samt konceptuella materialet i fordonskomponenten.

Elasticitetsmoduler	[GPa]	Källa
Aluminium	70	(J.R. Pickens, Martin Marietta Laboratories., 1990)
SB	70	Antagande med hänsyn till senaste forskningen

Följande ekvation kan användas för böjstyvhet när det antas en rektangel eller platta i samtal med expert, se ekvation 3.2.

$$tjocklek_{SB} = \sqrt[3]{\frac{tjocklek_{skrov}^3 EM_{skrov}}{EM_{SB}}} \quad (3.2)$$

3.4.3 Energi

Massförändringen har beräknats genom att jämföra volymer och densiteter för de olika materialen då SB implementerats. Sedan har ekvation 3.3 använts för att beräkna energiförbruknings-förändringen till följd av massförändringen.

$$\Delta FC = \Delta m \cdot FRV \quad (3.3)$$

Där ΔFC är bränsleförbrukningen och Δm är skillnaden i massa mellan det ursprungliga och det konceptuella fordonet. FRV = bränsleförbrukningsvärdet, vilket antas till 0,069 Wh/kg/km för en bil (Forell et al., 2016).

3.4.4 Miljöpåverkan

Beräkning av miljöpåverkan från implementering av SB i fordonen har gjorts med hjälp av koldioxidekvivalentutsläpp, (CO_2 -ekv i kg). För de olika material som implementerats eller bytts ut har motsvarande utsläpp för materialets produktion använts i enheten kg CO_2 -ekv/kg producerat material enligt tabell 3.4 nedan. Detta värde för respektive material har multiplicerats med massan som tillkommit eller ersatts och har sedan adderats till en total utsläppsminskning alternativt utsläppsökning av kg CO_2 -ekv. Till detta adderades sedan vad energibesparingen motsvarar i koldioxidutsläpp med antagandet att fordonen laddas i Sverige, se tabell 3.4. Detta ger i slutändan en total utsläppsförändring av CO_2 -ekv, ökning eller minskning som används för att avgöra skillnaden i miljöpåverkan som implementationen av SB bidrar till. Värdena i tabell 3.4 för litiumjonbatteri med energidensitet 143 Wh/kg, SB, aluminium samt energi är beräknat med hjälp av Ecoinvent 3.3 (Wernet et al., 2016) implementerat i open LCA.

3.4.5 Ekonomi

Genom att använda priser för materialen som byts vid implementering av SB, kan en uppskattad prisförändring erhållas som avgör huruvida implementering av SB resulterar i en positiv eller negativ prisförändring. Massan för materialet som byts ut mot SB samt reduceringen av litiumjonbatterier ger kostnadsminskningar medan

Tabell 3.4: Miljöpåverkan i kg CO_2 -ekv för respektive material som används i fordonen.

Miljöpåverkan från produktion	[kg CO_2 -ekv/kg]	Källa
Aluminium	18,7	(Wernet et al., 2016)
SB	22,5	(Wernet et al., 2016)
Litiumjonbatteri	15,8	(Wernet et al., 2016)
Energi	0,04419	(Wernet et al., 2016)

tillägget av SB ger en kostnadsökning med hänsyn till massan. Det har inte tagits i beaktning att en prissänkning sker till följd av en viktminskning då mindre energi förbrukas. Detta eftersom det finns stora prisfluktuationer gällande energipriser i samhället och det är svårt att hitta ett bra värde. Resultatet som presenteras gällande ekonomi är därför enbart för produktionen av respektive fordon vid implementering av SB.

Då det ännu inte finns någon kommersiell produktion av SB, utan endast producerat i forskningssyfte, finns inget pris baserat på storskalig produktion. SB kan däremot uppskattas kosta ungefär vad kolfiber kostar då SB till stor del är bestående av kolfiber, se tabell 3.5. Det sker även en kostnadsänkning då litiumjonbatterierna reduceras eller inte används alls. I tabell 3.5 finns ett pris för litium. Då det är svårt att hitta ett pris för litiumjonbatterier har priset på litium använts som en uppskattning.

Tabell 3.5: Marknadspriser för SB och litium i [USD/kg].

Pris	[USD/kg]	Källa
SB	40	(Liu et al., 2022)
Litium	25	(Ciez & Whitacre, 2016)

4

Resultat och Diskussion

Kapitel 4 är huvudsakligen uppdelat enligt följande delar.

- Lastbilar
- Färjor

Resultatet redovisar om SB genererar någon form av miljömässig samt ekonomisk vinst. Avsnittet analyserar dessutom hur stor förändring en viktminskning kan påverka energikapaciteten, samt hur räckvidden på batteriet påverkas, vid ett byte till SB. Fortsättningsvis i kapitlet kommer resultat och diskussion integreras.

4.1 Lastbilar

Resultatet för lastbilar har delats upp i två delar. Det första fallet undersöker fjärrtransporter, det andra analyserar lokala transporter. Anledningen till uppdelningen är för att körsträckan, fordonets vikt och mått, skiljer sig mellan de två olika fallen. Bland annat kör en fjärrtransport i snitt 50 mil om dagen medan lokala transporter enbart kör ca 15 mil om dagen. För att belysa hela potentialen för SB och dess implementering delades fallet därmed upp i två delar. Tabell 4.1 innehåller de material som är vanligt förekommande bland lastbilsflak.

Tabell 4.1: Densitet för olika material som används i släpets sidor.

Ämne	Värde [kg/m^3]
Aluminium	2 700
Polypropylene	950
Polyetylentereftalat	1 460
Träpanel/plywood	460

4.1.1 Förutsättningar för implementering av SB

4.1.1.1 Fjärrtransporter

För att underlätta beräkningarna har följande antaganden behövts göras.

- Släpet i sin helhet kommer att ha en rektangelform.
- De strukturellt bärande delarna av ett släp som ramen, hjulen, axeln etc. kommer försummas.
- Komponenter som handtag, stödramar och annat material försummas.

- Måtten för släpet antas vara under maximal begränsning enligt transportstyrelsen och antas vara (längd x höjd x tjocklek.) (15 x 2.5 x 0.03) [m]

Med dessa antaganden framtoogs en ungefärlig vikt för en vägg enligt följande ekvation 4.1 och visas i tabell 4.2:

$$m = V \cdot \rho \quad (4.1)$$

Tabell 4.2: Volym och massa på en sida av ett lastbilssläp för olika material.

Ämne	Volym [m^3]	Massa [kg]
Aluminium	1,125	3 037
Stål	1,125	8 831
SB	1,125	1 912
Polypropylene	1,125	1 068
PBT	1,125	1 642
Hybridmaterial	1,688	2 328

För att göra beräkningarna mer realistiska gjordes en sammansättning av tre olika material som är vanligt förekommande i väggarna på ett släp, nämligen plywood, aluminium och polypropelen, vilket kommer att refereras som ”hybridmaterial” framöver. Anledningen till att införa ett hybridmaterial är för att det är ovanligt att ett släp enbart består av ett material. För det mesta är väggarna tillverkade i flera skikt av olika material. Därav ansågs det vara ett lämpligt materialval för att få en så god approximation som möjligt.

En sida på en lastbilsvägg kräver en viss hållfasthet, och elasticitetsmodulen för Aluminium samt SB visas i tabell 3.3. Eftersom elasticitetsmodulerna är lika stora krävs ingen förändring i volymen vid implementering av SB enligt ekvation 3.1 för planstyvhet och ekvation 3.2 för böjstyvhet.

För att beräkna bränsle sparats användes ekvation 3.3. FRV = bränsleförbrukningsvärdet, har antagits till 0,069 Wh/kg/km (Forell et al., 2016). Detta värde är en approximation eftersom det egentligen är framtaget för personbilar. Dessvärre finns inget motsvarande värde för lastbilar tillgängligt i dagsläget.

Tabellen 4.3 visar hur mycket energi som antingen sparas in eller hur energiförbrukningen ökar beroende på vilket material som implementerats. Resultaten i kolumnen ”Bränsleförbrukning [kWh]” visar att de siffror som är negativa har sparat in bränsleförbrukning. För de som är rödmarkerade och positiva, har ingen energi sparats in eftersom materialets nya vikt var större med SB implementerat än det ursprungliga materialet.

Tabell 4.3: Bränsleförbrukning i förhållande till vikt och strukturella batterier.

Material	$\Delta m = (SB - \text{materialsikt}) [kg]$	Bränsleförbrukning [kWh]
Aluminium	1 125	-15 525
Stål	6 919	-95 482
Polypropylene	-844	11 647
Polyetylentereftalat	-270	3 726
Hybridmaterial	416	-5 741

Resultatet från tabell 4.3 visar att om aluminium, stål eller hybridmaterialet byts ut, sparas bränsle. Polypropylene, samt PBT har en densitet som är lägre än SB, vilket resulterar i att inget bränsle sparas om dessa material används istället.

Med hjälp av resultatet från tabell 4.3 kunde det vidare utvärderas hur mycket längre en elektriskt driven lastbil kunde ta sig fram med viktnedskningen. För att göra det togs ett linjärt samband fram, ekvation 4.2, som illustrerar hur viktnedskningen skulle resultera i en längre räckvidd för lastbilar.

$$\Delta R \approx \frac{\Delta m}{M} \cdot R \quad (4.2)$$

Där:

- ΔR är förändringen i räckvidd (i km)
- Δm är förändringen i vikt (i kg)
- M är den ursprungliga vikten på lastbilens släp (i kg)
- R är den ursprungliga räckvidden för lastbilen (i km)

Ekvationen antar att lastbilens energiförbrukning per enhet avstånd är konstant, vilket är ett rimligt antagande för små förändringar i vikt, vilket för det fallet sattes till ett intervall mellan 5-10 % av den totala vikten. Dessutom antogs det att bilen färdas med konstant hastighet och på en platt väg, utan vindmotstånd eller andra faktorer som kan påverka räckvidden.

Enligt Karlström (2020) kör lastbilar i fjärrtransporter cirka 50 mil per dag, vilket innebär en årlig sträcka på omkring 13 000 mil, baserat på antagandet att arbete pågår under 260 dagar per år. Det ledde enligt ekvation 4.2 till en ökad körsträcka som visas i tabell 4.4. Dock om polypropylene jämförs med SB blev det en minskad massförändring vilket också gav en minskad sträcka som kunde köras extra.

Tabell 4.4: Ökad körsträcka som funktion av massförändring.

Material	$\Delta R = (\Delta M/M) \cdot R [km]$ (per dag)	Totalt över en livstid [km], (15 år)
Aluminium	14,80	57 720
Stål	91,0	354 900
Polypropylene	-3,33	-12 870
PP, AL, Träpanel	5,47	21 333

4.1.1.2 Lokala transporter

Nästa fall att undersöka är lokala transporter för lastbilar. En lokal transport är en lastbil som väger mellan 3-18 ton och kör en daglig sträcka på cirka 15 mil. För beräkningarna har en lastbil med vikt på 16 ton valts och måtten på släpet är enligt standardmått på:

- Längd= 7,6 m
- Höjd= 2,7 m
- Bredd = 2,45 m

Väggen på släpet antas vara lika tjock som på en tung lastbil, vilket är 0,03 m.

En beräkning på massa och volym gjordes även på denna lastbil enligt ekvation 4.1 och visas i tabell 4.5 nedan. Även på lokala transporter har en elasticitetsmodul beräknats enligt tabell 3.3.

Tabell 4.5: Volym och massa på en sida av ett lastbilssläp för olika material på en lätt lastbil.

Ämne	Volym [m^3]	Massa [kg]
Aluminium	0,5586	1 508
Stål	0,5586	4 385
SB	0,5586	949
Polypropylene	0,5586	530
PBT	0,5586	815
Hybridmaterial	0,5586	957

För att ta reda på hur mycket bränsleförbrukning som sparas in om materialet byts ut mot strukturella batterier användes ekvation 3.3. Resultatet visas i tabell 4.6 nedan.

Tabell 4.6: Bränsleförbrukning i förhållande till vikt och strukturella batterier på lokala transporter.

Material	$\Delta m = (SB - \text{materialsikt})$ [kg]	Bränsle sparat [kWh]
Aluminium	559	-7 714
Stål	3 436	-47 416
Polypropylene	-419	5 782
Polyetylentereftalat	-134	1 849
Hybridmaterial	8	-110

Lokala transporter kör cirka 15 mil per dag och det antas att den körs 260 dagar per år. Om materialen ovan byts ut mot SB och använder ekvation 4.2 fås hur mycket längre en lastbil kan köra under sin livstid i och med viktminskningen.

Tabell 4.7: Ökad körsträcka som funktion av massförändring.

Fall	$\Delta R = (\Delta M/M) \cdot R$ [km] (per dag)	Total över en livstid [km] (15 år)
Aluminium	5,24	20 440
Stål	32,2	125 580
Polypropylene	-3,93	-15 330
Hybridmaterial	0,075	300

4.1.2 Energibehov & Energikapacitet

I denna del skall kapaciteten för SB beräknas efter de dimensioner som tidigare specificerat. Energidensiteten för SB har antagits vara 70 Wh/kg. Vikten för sidopanel har tidigare beräknats till 1912 kg för fjärrtransporter och 949 kg för lokala transporter vid byte till SB.

$$E_{\text{kap}}^{\text{Fjärr}} = \rho_{SB} \cdot m_{SB} = 70 \text{ [Wh/kg]} \cdot 1912 \text{ kg} = 133,85 \text{ kWh} \quad (4.3)$$

Där $E_{\text{kap}}^{\text{Fjärr}}$ är energikapaciteten för fjärrtransporter och det genereras 133,85 kWh från SB när en sida av ett lastbilsläp används.

$$E_{\text{kap}}^{\text{Lokal}} = \rho_{SB} \cdot m_{SB} = 70 \text{ [Wh/kg]} \cdot 949 \text{ kg} = 66,43 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

Lokala transporter har ett något mindre släp, vilket genererar en mindre yta som SB kan implementeras på. Cirka 66 kWh kan genereras av de strukturella batterierna.

När resultatet för energin som SB kommer kunna bidra med, blev det intressant att veta hur energikrävande en lastbil är per dag. Karlström (2020) skriver att lastbilar med avseende på fjärrtransporter kör ungefär 50 mil om dagen och enligt Power Circle (2021) är energibehovet mellan 1,5 → 2 kWh/km för fjärrtransporter. Detta hade resulterat i ett dagligt behov på 1000 kWh/dag, givet att den maximala förbrukningen av energin inom intervallet antas (2 kWh/km). För en lastbil som kör lokala transporter är energibehovet lägre. Lokala transporter kör cirka 15 till 20 mil om dagen och energibehovet är 0,5 → 1 kWh/km. Antas 0,75 kWh/km samt 175 km om dagen blir det dagliga behovet 131,25 kWh/dag.

Energikapaciteten var inte tillräcklig för fjärrtransporter. För att möta energibehovet för en sådan lastbil, skulle de SB behöva laddas upp till 7,5 gånger om dagen, vilket inte är en rimlig lösning på grund av den tidsåtgång som krävs för lastbilschaufförerna att nå sin destination. Det är dock viktigt att nämna att endast en av de fyra potentiella sidorna på släpet som skulle kunna bytas ut undersöktes.

Däremot visade det sig att SB fungerade betydligt bättre i lokala transporter. Studier visar att SB endast behövde laddas strax över två gånger om dagen, och då endast med en sida av SB. Detta innebär att antalet batterier som behövs för att driva ett fordon kan minskas och därmed minskar både vikten och kostnaderna.

Fortsättningsvis var det av intresse att ta reda på vad den fulla potentialen för fler komponentbyten av SB medför. Eftersom en sidopanelns energikapacitet har räknats fram kan det antas att den har samma energikapacitet som de två andra väggarna

som går att byta ut, nämligen motstående vägg samt taket på släpvagnen. Men även om det bytet hade genomförts visar det sig att det inte hade uppfyllt energibehovet. Beräkningen för det såg ut enligt följande:

$$\begin{aligned} E(\text{fjärrtransport}) &= E_{kap}^{fj\ddot{a}rr} \cdot 3 = 401,55 \text{ kWh} \\ \implies E(\text{fjärrtransport}) &< E(\text{behov}) = 1000 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Genomförs samma beräkning för lokala transporter blir resultatet följande:

$$\begin{aligned} E(\text{Lok} - \text{transport}) &= E_{kap}^{lokal} \cdot 3 \approx 200 \text{ kWh} \\ \implies E(\text{Lok} - \text{transport}) &> E(\text{behov}) = 131,25 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Om SB implementeras på alla sidor av släpet resulterar det i att energibehovet täcks och det är då möjligt för lokala transporter att använda sig av SB för att klara det dagliga energibehovet. Att ladda en lastbil två gånger per dag kan dock fortfarande innebära en förlust av tid, speciellt om det rör tidskritiska leveranser. Därför pågår det fortfarande forskning kring hur SB kan förbättras och öka deras effektivitet.

4.1.3 Miljöpåverkan

Denna delen av resultatet kommer utvärdera vilka typer av miljöförbättringar/försämringar som sker vid implementationen av SB. Avsnittet avser primärt att analysera koldioxidutsläppen som tillkommer vid produktionen av SB i jämförelse med det material som byts ut. Endast en sida av ett lastbilsslöp har undersökts.

4.1.3.1 Aluminiumvägg

Det första som undersöktes var en vägg gjord av aluminium. Vid utbyte av en aluminiumvägg mot SB beräknades skillnad i massa, energikapacitet av SB samt energikapacitet för litiumjonbatteri efter implementeringen av SB. Beräkningen gjordes utifrån att samma mängd energikapacitet skulle uppnås när SB implementeras, vilket medförde en mindre mängd litiumjonbatterier. Total vikt för batterier i tabell 4.8 nedan är massan för SB adderat med massan för litiumjonbatteri efter implementeringen.

Tabell 4.8: Viktförändring fjärrtransporter samt lokala transporter:

Ämne	Värde	Ämne	Värde
Massa aluminiumvägg [kg]	3 038	Massa aluminiumvägg [kg]	1 508
Massa SB vägg [kg]	1 912	Massa SB vägg [kg]	949
Δm [kg]	1 123	Δm [kg]	559
Massa Litiumjonbatteri [kg]	6 119	Massa Litiumjonbatteri [kg]	787
Energikapacitet SB	133 840	Energikapacitet SB	66 430
Energi litiumjonbatteri efter	741 160	Energi litiumjonbatteri efter	46 070
Massa litiumjonbatteri efter	5 183	Massa litiumjonbatteri efter	322
Total vikt batterier [kg]	7 094	Total vikt batterier [kg]	1 271

Därefter undersöktes hur mycket CO_2 -ekv som besparades. För att beräkna hur mycket CO_2 -ekv som besparades användes värdena i tabell 3.4 som visar hur mycket ett kilo av materialet släpper ut i koldioxid vid produktion. Efter beräkning blev resultatet en förlust på cirka 6,5 ton CO_2 -ekv för fjärrtransporter samt 3,2 ton CO_2 -ekv för lokala transporter när aluminium byttes ut mot SB enligt tabell 4.9.

Tabell 4.9: Miljöpåverkan från fjärrtransporter och lokala transporter med hänsyn till produktionen av materialen samt energibesparingen till följd av viktminskningen.

Miljöpåverkan [kg CO_2 -ekv]	Fjärrtransporter	Lokala transporter
Besparing aluminium	-21 013	-10 445
Produktion SB	43 020	21 353
Besparing litiumjonbatterier	-14 759	-7 325
Besparing energi	-686	-341
Total besparing	6 561	3 245

4.1.3.2 Hybridmaterial

Vid beräkningen av elasticitetsmodulen för hybridmaterialet adderades materialens olika elasticitetsmoduler med varandra multiplicerat med volymen för de olika materialen. Beräkningen visas i ekvationen 4.7 nedan. Eftersom hybridmaterialets elasticitetsmodul är betydligt mindre än elasticitetsmodulen för SB kunde en mindre tjocklek på lastbilsläpet användas om det var tvunget. Däremot är SB omfattat av kolfiber som material och därför blev tjockleken oförändrad på grund av risk för brottskador vid en för tunn vägg. Kolfiber som material har en god elasticitetsmodul men dessvärre en sämre förmåga att ta stötar.

$$E_{PP,Plly,Al} = (V_{PP} \cdot E_{PP}) + (V_{Plly} \cdot E_{plly}) + (V_{Al} \cdot E_{Al}) = 20,36 \text{ GPa} \quad (4.7)$$

Den totala vikten för batterier är lika stor som vikten för batterier med en aluminiumvägg då det krävs en lika stor mängd energi att driva lastbilen och visas i tabell 4.10 nedan.

Tabell 4.10: Viktförändring transporter:

Ämne	Värde	Ämne	Värde
Massa vägg [kg]	2 328	Massa vägg [kg]	957
Massa SB vägg [kg]	1 912	Massa SB vägg [kg]	949
Δm [kg]	416	Δm [kg]	8
Massa Litiumjonbatteri [kg]	6 119	Massa Litiumjonbatteri [kg]	779
Energikapacitet SB	133 840	Energikapacitet SB	66 430
Energi litiumjonbatteri efter	741 160	Energi litiumjonbatteri efter	46 070
Massa litiumjonbatteri efter	5 183	Massa litiumjonbatteri efter	322
total vikt batterier [kg]	7 094	total vikt batterier [kg]	1 271

Vid beräkningen av eventuella miljövinster för SB, när de ersatte hybridmaterialet blev resultatet väldigt högt. Produktion av strukturella batterier släpper ut betydligt mer koldioxid än vad produktionen av träpanel och polypropylene gör. Detta medför att cirka 26 ton mer koldioxid släpps ut för fjärrtransporter och nästan 14 ton mer för lokala transporter vid implementering av strukturella batterier enligt 4.11.

Tabell 4.11: Miljöpåverkan fjärrtransporter och lokala transporter.

Miljöpåverkan [kg CO_2 -ekv]	fjärrtransporter	lokala transporter
Besparing hybridmaterial	-2 245	-43
produktion SB	43 020	21 353
Besparing litiumjonbatterier	-14 760	-7 325
Besparing energi	-253	-5
Total besparing	25 761	13 978

4.1.4 Strukturella batteriers begränsningar

I och med att syftet med SB är att ersätta litiumjonbatterier samtidigt som befintliga fordonskomponenter byts ut, upptäcktes det tidigt att en omfattande area eller volym skulle krävas för att installera dem i en lastbil. Att bara kunna ersätta en stor mängd batterier räckte emellertid inte för att garantera hållbarhet över tid. Eftersom batteriernas prestanda försämras med tiden, ansågs det att SB måste vara lätta att nå för att bytas ut när de når slutet av sin livslängd. Placeringen av batterierna i en fordonskonstruktion får därför inte vara otillgänglig eftersom detta skulle resultera i en komplicerad och dyr ersättningsprocess. Exempelvis skulle installation av SB i mitten av konstruktionen med största sannolikhet leda till en krånglig och kostsam ersättningsprocess, vilket bör undvikas av ekonomiska skäl. Därför valdes aldrig delar som var bärande strukturer på lastbilen.

Utöver de tidigare skälen som beskrivits är det viktigt att förstå att eftersom SB är gjorda med kolfiberkomposit kommer egenskaperna för SB dessutom att vara be-

gränsande utifrån kolfiberkompositens egenskaper som exempelvis brottgräns, böjstyvhets och utmattningstolerans.

Resultaten indikerade att SB i dagsläget inte erbjuder tillräcklig potential för att ersätta litiumjonbatterier för fjärrtransporter, främst på grund av fjärrtransporters höga energibehov per kilometer. Däremot kunde SB möta energibehovet för lastbilar som kategoriserades som lokala transporter och till och med överträffa det. Att uppfylla energibehovet är emellertid inte tillräckligt givande eftersom alla batterier lider av degradering över tiden, vilket innebär att de gradvis blir sämre och om degradationshastigheten är hög kan de inte längre möta energibehovet efter några år eftersom de förväntas ha en cykelkapacitet på 1000 cykler.

En beräkning gjordes på hur mycket koldioxid som sparades in om tre sidor av ett lastbilssläp på lokala transporter ersattes istället för en sida. Resultatet blev att enbart SB var nödvändigt och därmed skulle ett litiumjonbatteri inte behövas. Däremot, visar tabell 4.11 att produktionen av SB släpper ut betydligt mer koldioxid än vad besparingen av koldioxid för litiumjonbatterier gör. Därmed, om endast utsläpp av koldioxid tas hänsyn till blir det högre utsläpp om SB implementeras på tre sidor på en lastbil jämfört med bara en sida. Om utsläppen av koldioxidekvivalenter kan reduceras vid produktion av SB finns det potential att implementera SB på en sida av ett lastbilssläp, men med nuvarande siffror är det inte möjligt. Värt att nämna är även att vid beräkningen av hur mycket CO_2 -ekv som sparades in, är det som sagt bara vid produktion, och inte hela livscykelns.

4.1.5 Ekonomi

En kostnadsberäkning på ekonomin genomfördes, och visade vad det kostar att tillverka strukturella batterier, samt besparingen av aluminium som togs bort. Resultatet i tabell 4.12 samt 4.13 visar en ökande kostnad om strukturella batterier implementeras.

Tabell 4.12: Ekonomi för tunga lastbilar.

	Värde
1 kg SB [USD]	40
1 kg Aluminium [USD]	2,3
Kostnad SB	76 480
Besparing aluminium	-25 889
Total kostnadsförändring	73 891

Tabell 4.13: Ekonomi för lätta lastbilar.

	Värde
1 kg SB [USD]	40
1 kg Aluminium [USD]	2,3
Kostnad SB	37 960
Besparing aluminium	-1 286
Total kostnadsförändring	36 674

Kostnaden när hybridmaterialet ersattes blev något dyrare än när aluminiumväggen ersattes. Det beror på att kostnaden för SB är väldigt hög och materialen i hybridmaterialet är betydligt billigare än aluminium. Kostnaden redovisas i tabell 4.14 och tabell 4.15.

Tabell 4.14: Ekonomi för tunga lastbilar.

	Värde
1 kg SB [USD]	40
1 kg träpanel [USD]	0,36
1 kg polypropylene [USD]	1,19
1 kg Aluminium [USD]	2,3
Kostnad SB	76 480
Besparing polypropylene	-123
Besparing träpanel	-75
Besparing aluminium	-239
Total kostnadsförändring	76 042

Tabell 4.15: Ekonomi för lätta lastbilar.

	Värde
1 kg SB [USD]	40
1 kg träpanel [USD]	0,36
1 kg polypropylene [USD]	1,19
1 kg Aluminium [USD]	2,3
Kostnad SB	37 960
Besparing polypropylene	-2,38
Besparing träpanel	-1,44
Besparing aluminium	-4,6
Total kostnadsförändring	37 952

Det finns även begränsningar inom den ekonomiska faktorerna. Det finns olika kostnadsfaktorer att ta hänsyn till när kostnaden för att producera en produkt räknas ut. En del av dessa kostnader är direkt kopplade till själva produktionen av produkten, som kostnader för råmaterial och utrustning. Dessa kostnader kallas produktionskostnader. Produktionskostnaden för SB är endast uppskattad, och i nuläget är inte den riktiga produktionskostnaden känd vid fullskalig produktion.

Det finns olika kostnadsfaktorer att ta hänsyn till när kostnaden för att producera en produkt beräknas. Det finns även andra kostnader som är indirekta och inte direkt relaterade till själva produktionen. Exempel på sådana kostnader är kostnader för personal, fabrikslokaler och lager. Dessa kostnader kan också påverka den totala kostnaden för att producera en produkt, men de kan vara svårare att kvantifiera och mäta. I det här fallet har det beslutats att endast undersöka produktionskostnaderna för att räkna ut kostnaden för att producera en produkt. Det innebär att de andra indirekta kostnaderna, som exempelvis kostnader för personal, fabrikslokaler och lager inte tagits med.

I kostnadsuppskattningen togs inte energiförbrukningen med eftersom det inte hade förändrat resultatet tillräckligt mycket. Besparing av litiumjonbatterier togs inte heller med eftersom ingen data på vad de kostar per kg finns ute.

4.1.6 Beslutsträd Lastbilar

Beslutsträdet är uppbyggt efter den information som återgavs i intervjuer med experter inom lastbilsindustrin och visas i figur 4.1 nedan. En av frågeställningarna var om konstruktionen håller, samt om konstruktionen var rimlig eller inte. I beslutsträdet för lastbilar skiljer sig dessa frågor lite från frågorna kring färjan. Det beror på att det finns faktorer där konstruktionen inte blev rimlig om SB implementerades på ställen där bärande egenskaper krävdes eftersom många lastbilar idag har problem med utmattning på exempelvis ramen.

Huvudsakligen skall beslutsträdet underlätta implementeringen av SB speciellt inom fordonsindustrin. Framförallt utvecklades det med syftet att möjliggöra tidig bedömning av projektets lönsamhet med avseende på de olika aspekterna i slutet av trädet, "Ekonomisk", "Miljö" samt "Energi".

En mer grundlig beskrivning av beslutsträdet finns beskriven under "3.3 Beslutsträd"



Figur 4.1: Beslutsträd för lastbils implementation av SB.

4.2 Färjor

Efter samtal med experter och litteraturundersökning antas det att det vore lämpligt att implementera strukturella batterier i skrovet på en mindre färja med fast rutt. Enligt teorin hade segel kunnat vara en potentiell färjekomponent vid byte till SB men då segel inom fartygsflottan endast är framtidsutsikter har detta inte undersökts vidare i resultatet.

4.2.1 Förutsättningar för implementering av SB

För att praktiskt kunna genomföra beräkningar för ett batteribyte till SB i skrovet har dimensioner och energikapacitet för färjan Älvsnabben 4 använts, en mindre färja med maxantal 448 passagerare som åker över Göta älv i Göteborg. Skrovet i Älvsnabben 4 är gjort av aluminium (Styrsöbolaget, u.å.). Det finns arbeten som tidigare undersökt elektrifiering med litiumjonbatterier av Älvsnabben 4 och det är värden från Albaghjati et al. (2021) som antagits i beräkningar. En rektangulär platta har antagits för skrovet med dimensioner i tabell 4.16.

Tabell 4.16: Dimensioner för en mindre färja, volymen är beräknad utifrån antagandet att skrovet är rektangulärt och färjans totala energiåtgång vid dimensionering av litiumjonbatterier.

Dimensioner färja	
Längd [m]	31,6
Bredd [m]	8
Djupgående [m]	1,5
Volym [m^3]	379
Energiåtgång [Wh]	1 704 000

Volymen SB som skulle behövas då den totala energiåtgången är 1704 kWh för varje laddningscykel då alla litiumjonbatterier byts ut mot SB beräknades till 14,3 m^3 med hjälp av tabell 3.2. Värdet är långt under skrovets fulla volym 379 m^3 . Eftersom SB kan uppnå litiumjonbatteriernas energidensitet inom volymbegränsningarna, antogs det att inga litiumjonbatterier behövs på färjan om batterieffekten på SB antogs vara densamma. Därmed minskas vikten drastiskt då SB också har lägre densitet än aluminium. Resterande mängd volym i skrovet beräknades fortsatt vara aluminium.

Det finns faktorer som potentiellt gör val av att implementera SB i just skrovet osäkert praktiskt sett. Då materialet ännu är relativt outforskat finns det osäkerheter kring hur bra det skulle fungera att ha nära vatten, vilket skulle kunna göra SB olämpligt i skrov där det skulle kunna utsättas för just vatten. Däremot visar resultatet att endast en liten del av skrovet behöver bestå av SB för att uppfylla energibehovet på färjan. Därmed hade en lösning kunnat vara att SB implementeras på insidan av skrovet, skilt från vatten. Det går heller inte säkert att säga huruvida skrovet skulle stå emot krockar sett till att SB inte förstörs. Ur ett tekniskt perspektiv har det inte heller undersökts hur stor vikt färjan behöver ha, vilket också skulle kunna bidra med begränsningar gällande implementation. Eftersom SB integreras i

skrovets struktur väntas det vara svårt att göra SB till en komponent som går att lasta av från färjan på ett smidigt sätt. Vidare är det troligen svårt att, för en färja med SB-framdrivning, ha förladdade batterier på land som byter ut de urladdade batterierna på färjan på det sätt som beskrivs som framtidsutsikter för litiumjonbatterier i teoriavsnittet. Av samma anledning kan segel trots att det inte undersökts i resultatet, vara en intressant fortsatt väg i forskningen vart SB kan fungera bäst. SB i segel till skillnad från skrovet skulle troligen bli mer lättillgängligt för byte då SB förbrukats.

Ett skrov i en färja behöver ha viss hållfasthet. För att undersöka huruvida SB kan leva upp till samma böjstyvhet och planstyvhet har elasticitetsmoduler jämförts för SB och det initiala skrovmaterialet aluminium, se värden för elasticitetsmoduler i tabell 3.3.

Ekvation 3.1 för planstyvhet ger att tjockleken blir den samma då beräkningarna utgår från samma elasticitetsmodul på SB och aluminium. Samma resultat fås med ekvation 3.2 när böjstyvheten undersöks. Resultatet blir alltså att ingen tjockleksändring behövs i skrovet för att uppnå samma elasticitetsmodul vid byte till SB.

En osäkerhet kring skrovets elasticitetsmodul är att skrovet har antagits till en rektangulär platta med endast aluminium, men troligen är konstruktionen mer komplicerad i praktiken. Här kan den relativt skrovet lilla volymen SB som krävs för att uppfylla energibehovet på en liten färja tas i beaktning igen. Utöver SB kommer skrovet behöva fyllas ut med andra material och elasticitetsmodulen kan då troligen uppnås trots antagandena om material och konstruktion.

4.2.2 Miljöpåverkan

Viktreduceringen vid implementering av SB i en mindre färja beräknades till 26 235 *kg* enligt tabell 4.17.

Tabell 4.17: Viktförändring för den mindre färjan i *kg*.

Viktförändring	[<i>kg</i>]
Massa SB-skrov	24 343
Massa aluminiumskrov utbytt	-38 662
Litiumjonbatteri utbytt	-11 916
Total viktförändring	-26 235

För att beräkna hur mycket energi som sparas in med viktreduceringen kan ett FRV användas för att sedan komma fram till totala energibesparingen under färjans livstid. Färjor skiljer sig från bilar när det kommer till energibesparing relaterat till vikten, därav finns det andra metoder för att räkna ut FRV för färjor, dessa är komplicerade och beror i hög utsträckning av design i samtal med expert, av den anledningen antas samma FRV som för bilar; 0,069 *Wh/kg/km*. Ekvation 3.3

används för att beräkna energibesparingen till följd av viktminskningen vilken kalkylerades till 1810 Wh/km . Eftersom en bils FRV är antaget, finns osäkerhet kring den kalkylerade energibesparingen till följd av viktminskningen.

Hittills finns inte någon forskning på SB:s livslängd, alltså hur många laddningscykler det kan komma att få i framtiden. Om ett antagande om 1000 laddningscykler görs kan en potentiell livstid för färjan beräknas genom följande beräkning med ekvation 4.8, med hjälp av att älvsnavben 4 med litiumjonbatterier skulle laddas 350 gånger per år (Albaghji et al., 2021).

$$\frac{1000 \text{ laddningscykler}}{350 \text{ cykler/år}} \approx 2,9 \text{ år} \quad (4.8)$$

Beräkningen utifrån ett antagande om 1000 laddningscykler resulterar i en livstid på knappt 3 år vilket är ett relativt lågt värde jämfört med en litiumjonbatterifärja som förväntas ha en livstid på 30 år, inklusive 2 batteribyten med 10 års-intervall enligt antaganden i en tidigare livscykelanalys (Wang et al., 2021) och i enlighet med (Intervjuperson C, personlig kommunikation, 15 mars 2023). Därför antas i lönsamhetsberäkningarna en livstid om 10 år då SB antas få längre livslängd i takt med utvecklingen av materialet.

Vidare har den totala energibesparingen beräknats med hjälp av hur mycket färjan körs under dess livstid. Den sträcka som färjan kör från startstation till slutstation, alltså en rutt, är uppmätt med hjälp av datorprogram till 5,2 kilometer. En rutt varar ca 30 min, med information från västtraffik uppskattas drifttiden vara 18 timmar per dygn, detta ger vidare 36 rutter per dygn som färjan kör. Vidare beräknas den totala sträckan på ett år 65 520 $km/år$ med antagandet att den är i drift 350 dagar/år. Livstiden om 10 år med sträckan per år och ΔFC ger resultatet att den totala energin som sparas in under färjans livstid är 1 186 071 KWh . Som jämförelse kräver en mindre lägenhet ca 2000 $KWh/år$ (Konsumenternas Energimarknadsbyrå, 2023). Detta motsvarar 593 lägenheter värt av förbrukning som färjan sparar in.

För att göra ett mått på miljöpåverkan har koldioxidekvivalentutsläppen från produktionen tagits i beaktning, se tabell 3.4. Genom att använda de beräknade massorna för respektive material har det totala koldioxidutsläppet kunnat räknas ut, se tabell 4.18. Totalt sparas ca 414 ton CO_2 -ekv genom att byta ut till SB i skrovet på en mindre färja när växthusgasutsläpp från produktion för materialen samt energibesparing till följd av viktminskning vid implementering av SB tagits i beaktning. Vid förbränning av ett ton flygbränsle släpps 3,16 ton CO_2 -ekv ut (Transportstyrelsen, 2022). Därav motsvarar 414 ton CO_2 -ekv ca 131 ton flygbränsle efter förbränning som jämförelse.

Tabell 4.18: Total miljöpåverkan i kg CO_2 -ekv efter hänsyn till produktionen av materialen samt energibesparingen till följd av viktminskningen.

Miljöpåverkan	[kg CO_2 -ekv]
Besparing aluminium	-721 822
produktion SB	547 714
Besparing litiumjonbatterier	-187 916
Besparing energi	-52 412
Total besparing	-414 437

Ur ett lönsamhetsperspektiv kopplat till miljöpåverkan visar resultatet att SB är lämpligt i en mindre färja med fast rutt. I teorin nämns att det med nuvarande teknik är möjligt att driva en litiumjonbatterifärja 20 mil, färjan som undersökts i resultatet skulle åka ca 19 mil per dygn för att sedan laddas. I relation till den lilla andelen volym som SB skulle ta upp i skrovet kan det fortsatt vara av intresse att undersöka längre sträckor med än större energilager ombord.

Dessutom bidrar SB med volymbesparingar som en litiumjonbatteri-framdriven färja annars hade haft då de inte bidrar till de strukturella egenskaperna på färjan. Utöver volymbesparingar ger detta också viktbesparingar som vidare leder till potentialen att lasta mer på färjan. Detta skulle i sin tur kunna innebära att ytterligare energi kan sparas in om exempelvis fler passagerare och last kan åka på en och samma rutt. Då finns potential för att inte lika många rutter behöver köras, därav potential för ytterligare energibesparingar.

4.2.3 Ekonomi

Här presenteras resultatet av den totala prisökningen som SB ger, i hänsyn till de berörda materialens pris på marknaden. Prisbesparingen i relation till energibesparingen som viktminskningen medför har inte tagits hänsyn till. En kostnadsminskning sker till följd av att aluminiumförbrukningen reduceras då en del av skrovet byts ut till SB, priset för aluminium kan ses i tabell 4.19. Då priset varierar har ett antagande gjorts för priset på aluminium, det priset som antagits är det priset som gällde i maj 2023 men kan komma att öka eller minska beroende på marknaden för materialet. Vidare kan resultatet för vad respektive materialbyte ger för prisförändring relaterat till mängden massa av materialet som tillkommer alternativt reduceras ses i tabell 4.20 som visar på en prisökning på knappt 600 000 USD.

Tabell 4.19: Kostnad för det utbytta initiala skrovmaterialet med ett antaget värde för aluminium.

Material	Kostnad [USD/kg]
Aluminium	2,3

Tabell 4.20: Beräkningar för skillnad i pris.

Kostnadsförändring	[USD]
Aluminium	-88 923
Litiumjonbatteri	-297 902
SB	973 714
Total kostnadsförändring	586 889

Viktigt att notera är att resultatet är en grov uppskattning då priserna som använts är uppskattningar, främst de uppskattade priserna för SB och litiumjonbatterier är osäkra komponenter i beräkningarna.

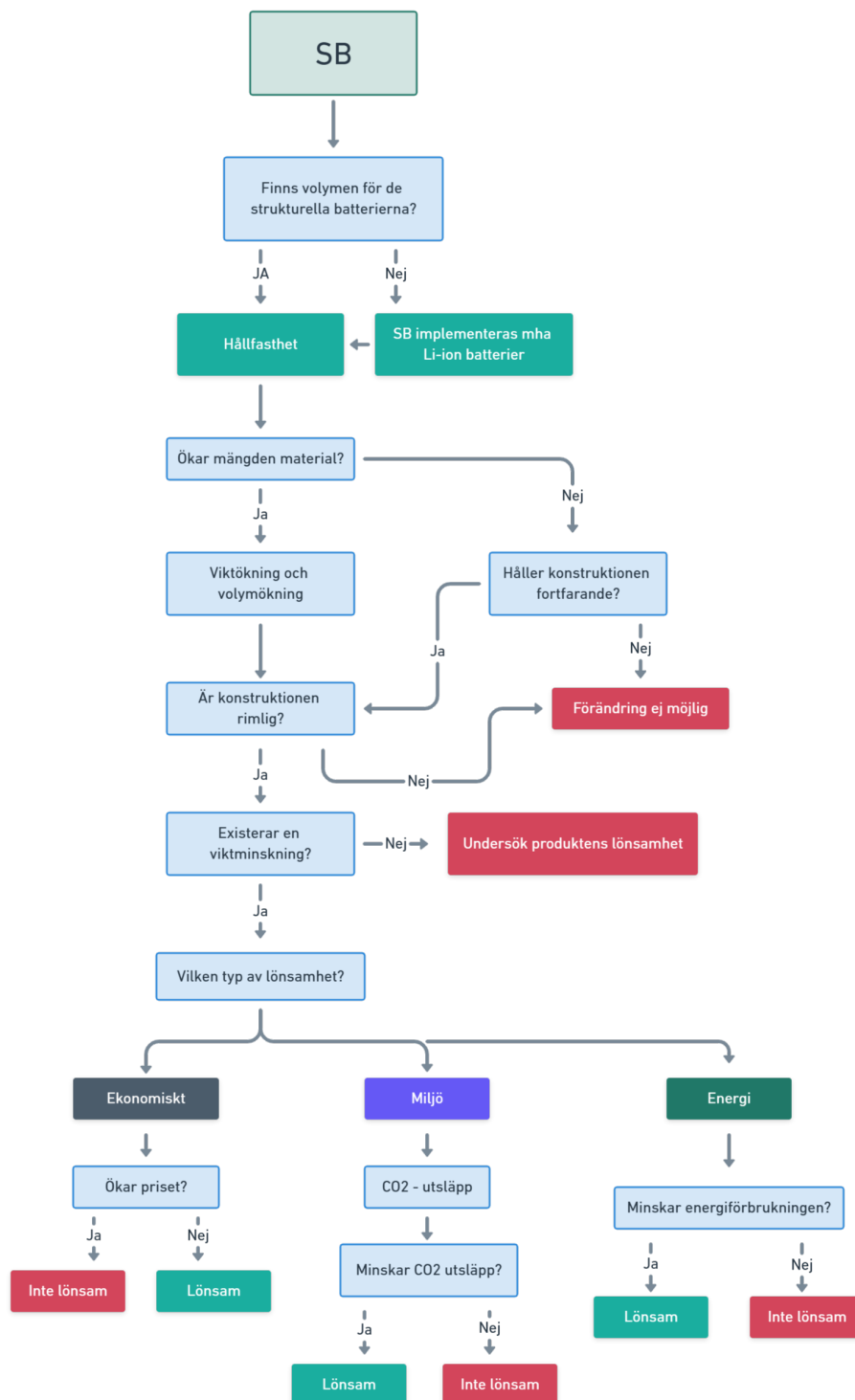
En ytterligare ekonomiaspekt är återvinning för materialen. Aluminium kan återvinnas på ett oskadligt sätt och kräver låg energi jämfört med utvinningen från början (Frees, 2007). Återvinning av SB väntas troligen bli mer komplicerat att återvinna vilket kan leda till att materialet i sig blir dyrare.

En materialbesparing kommer att göras då litiumjonbatterier inte längre behövs vid bytet. Litiumjonbatterier har funnits länge på marknaden och utvecklas ständigt. Historiskt har priserna för litiumjonbatterierna gått ner och prognosen för framtiden är att de kommer att fortsätta gå ner i pris. Detta för att kunna tillfredsställa framtida behov som kommer att ställas på batterierna (Lampic et al., 2013). Montering av batterierna skiljs troligen också åt beroende på om det är litiumjonbatterier eller SB. Montering av skrov med SB antas bli mer komplicerad då den ska ingå i skrovets struktur. Skifte till elektrifierad färja från fossildriven färja innebär dock komplikationer vid implementering (Chin et al., 2021), trots att litiumjonbatterier inte byggs in i strukturen. Därför antas produktionen av en litiumjonbatterifärja vara billigare jämfört med en färja med SB-framdrivning.

4.2.4 Beslutsträd färjor

Här presenteras resultatet i ett beslutsträd för en färja, se figur 4.2. I beslutsträdet presenteras en mängd frågor. Frågorna besvaras med ja eller nej utifrån vad som beräknats i resultatet och leder vidare till en ny fråga huruvida implementationen fortfarande är möjlig eller lönsam. De röda rektanglarna är återvändsgränder, alltså då implementationen ej är möjlig eller ej lönsam utifrån de undersökta kriterierna.

Beslutsträdet och hur det ska läsas är mer noggrant beskriven under ”3.3 Beslutsträd” .



Figur 4.2: Beslutsträd för en färja.

4.3 Återvinning och andrahandsmarknaden

Återanvändningsmarknaden för litiumjonbatterier är en viktig och växande bransch. När litiumjonbatterier inte längre kan användas i elektroniska enheter, kan de återvinnas och återanvändas på olika sätt. Det finns flera företag som specialiserat sig på att återvinna och återanvända litiumjonbatterier, vilket bidrar till att minska den totala mängden avfall och minska miljöpåverkan.

Ett av de viktigaste användningsområdena för återvunna litiumjonbatterier är för energilagring. Batterierna kan användas för att lagra energi från solpaneler eller vindkraftverk, vilket kan hjälpa till att minska beroendet av fossila bränslen. Återvunna litiumjonbatterier kan också användas i elbilar och andra fordon, vilket bidrar till att minska koldioxidutsläppen från transportsektorn.

I takt med att tekniken för litiumjonbatterier fortsätter att utvecklas och förbättras, kommer marknaden för återvinning av litiumjonbatterier att fortsätta växa och spela en viktig roll i att minska avfall och miljöpåverkan. För närvarande finns det ingen återanvändning av SB, vilket skapar en utmaning för implementeringen av dem i elektriska fordon. En av de största hindren för att använda sådana batterier i elfordon är den skadliga miljöpåverkan som uppstår när de bryts ner. För att dessa batterier ska bli relevanta för företag, måste de antingen ha en energidensitet som är minst lika hög som befintliga batterier eller ha en tillräckligt välfungerande andrahandsmarknad som ger SB ett värdefullt syfte efter att de har degraderats och behövs bytas ut.

Ett potentiellt dilemma med att implementera SB i strukturen är att det troligen är svårt att demontera och återvinna då det omsluts i strukturen. Detta har däremot inte testats vilket innebär att det finns stora osäkerheter kring hur det skulle gå till rent praktiskt. Ett sätt att förlänga livstiden på SB är att tillsätta en ny elektrolyt men troligen förväntas detta bli komplicerat på grund av att det är inbyggt i strukturen och potentiellt är det inte möjligt alls att tillsätta ny elektrolyt i det stadiet. Förutsatt att livstiden då inte kan förlängas med en elektrolyt, är det intressant ur ett miljöperspektiv vad som händer med en fordonskomponent tillverkad av SB då den inte kan fortsätta brukas till följd av att SB använt alla laddningscykler. Ytterligare en utmaning med SB är att de utformas för en specifik formfaktor då det ingår i strukturen. Detta kan göra det svårt att återanvända dem som energilagringseenheter, till exempel som litiumjonbatterier. Detta leder vidare till frågor kring vad som händer med fordonskomponenten då. Här kan återvinningen av SB spela en stor roll för SB:s totala miljöpåverkan och den fortsatta forskningen kring återbruk och återvinning av SB kan komma att spela en stor roll för den miljömässiga lönsamheten. För att övervinna dessa hinder behöver nya tekniker och lösningar utvecklas för att möjliggöra en hållbar hantering av SB efter deras livstid.

5

Slutsats

I följande kapitel presenteras rapportens slutsats utifrån forskningsfrågorna som presenterades i introduktionen. Vidare ges även två förslag för vidare forskning.

5.1 Slutsats

Rapporten syftar till att undersöka möjligheten att implementera SB i färjor och lastbilar. Detta genom att substituera existerande komponenter och med det ta fram indikatorer på var och när SB kan leda till miljövinster i form av minskade utsläpp. De presenterade resultaten ger en indikation i ett tidigt läge av forskningen på SB gällande huruvida SB kan vara lönsamt ur framförallt ett miljöperspektiv. Slutsatserna som presenteras nedan ämnar att besvara rapportens forskningsfrågor.

Under arbetet har det identifierats komponenter som ansetts lämpliga att bytas ut helt eller delvis mot SB, nämligen sidorna hos lastbilssläp samt skrovet hos färjor. Det finns dock flertalet utmaningar som måste lösas för att detta ska kunna genomföras praktiskt. SB har idag en energikapacitet som bedöms vara för låg, i synnerhet för fjärrtransporter för implementation i lastbilar. Därutöver är även effektiviteten hos SB idag undermålig. Vidare återstår även frågetecken gällande demonteringen och återvinningen av SB som ingår i strukturen hos färjeskrov. Vid en eventuell implementering måste även hänsyn tas till degraderingstakten hos SB.

Det har presenterats indikatorer på när och var det kan bli lönsamt ur ett miljöperspektiv att implementera SB genom ett komponentutbyte. Beräkningar har visat på lönsamhet när ett byte görs mot skrovet i färjor, medan det visat sig att det inte blir lönsamt att substituera sidorna hos ett lastbilssläp. Att genomföra bytet hos färjor medför att hela litiumjonbatteriet kan tas bort, samtidigt som energibesparingar inträffar under användarfasen. Hos en färja blir dessa energibesparingar större än den ökade energiåtgången för produktion av SB vilket medför en lönsamhet med avseenden på miljön. För lastbilar är det dock fallet att den energiåtgång som krävs för att producera SB för ett lastbilssläp i dagsläget är för stor i förhållande till de energibesparingar som erhålls under användarfasen, vilket medför att bytet inte blir lönsamt ur ett miljöperspektiv. De indikatorer som presenterats har använts för att bygga beslutsträden som illustrerar SB:s lönsamhet och återfinns i figur 4.1 samt figur 4.2.

Som det har konstaterats genererar en implementering av SB inte några miljövinster

hos lastbilar, varken hos fjärrtransporter eller lokala transporter, i och med utsläppen av växthusgaser som sker under produktion av SB. Därutöver visar resultaten även att implementeringen ej är lönsam ur ett ekonomiskt perspektiv hos dem två lastbilstyperna. Detta då produktionen av SB är dyrare än produktionen av aluminium samt av hybridmaterialet. Vidare blev bytet dyrare när hybridmaterialet byttes ut, då detta material är billigare att producera än aluminium.

Resultaten visar att det för färjor lämpar sig att implementera SB vid relativt korta sträckor, exempelvis Älvsnabben 4 som verkar i Göta Älv i Göteborg. Detta för att det är i användarfasen som SB kan spara in på energi, i och med att SB är ett lättare material än aluminium och litiumjonbatterier. Det beror återigen på att koldioxidutsläppen vid produktionen av SB är såpass hög att en miljövinst endast blir aktuell vid mindre volymer av SB. Vidare är en ekonomisk vinning inte aktuell i och med att produktionskostnaderna för SB är höga och produktionskostnaderna för litiumjonbatterier antas fortsätta sjunka. Samtidigt finns ännu ingen plan för hur SB ska återvinnas och tas hand om efter användningsfasen. Detta försvårar implementeringen och gör SB dyrare att producera vilket ökar kostnaderna.

5.2 Förslag till vidare forskning

I ett antal intervjuer diskuteras, utöver lastbilar och färjor, även möjligheten för SB i bussar. Det framgår att Volvo idag redan jobbar med kompositer i tak hos deras turistbussar i Europa. Dessa tak utgörs idag av aluminiumkompositer och har implementerats med det huvudsakliga syftet att reducera vikten hos bussar. I intervju uppges det att viktreducering hos bussarna idag är ett stort fokusområde, och att ett material som besitter möjligheten att både bidra till viktminskning, samt bära energi ses om intressant. Vidare bedrivs det i nuläget inga aktiva projekt för vidare materialbyten mot andra material eller kompositer som exempelvis kolfiber. I och med detta kan SB tänkas ses som ett intressant alternativ i arbetet med kompositmaterial i bussar. Därmed ses strukturella batteriers applikationsmöjligheter i bussar ses som ett relevant område för vidare forskning.

En begränsning i studien har varit att endast skrovet hos färjor har undersökts. En annan båtkomponent som ses som intressant för framtida forskning är segel hos båtar. Segel ses idag som en möjlighet för att avlasta förbränningsmotorer och det finns möjlighet för att segel bestående av SB ska kunna vara funktionella och genomförbara.

Litteraturförteckning

- [1] Albaghjati, T., Eliasson, K., Johansson, E., Karlsson, K., Stenvall, E., & Svensson, V. (2021). *Dimensionering och miljövärdering av elektrisk drivlina till färja* [Kandidatuppsats, Chalmers tekniska högskola] Chalmers. <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/44c13dcf-04cc-4907-97cd-3ca609ec62ab/content>
- [2] Asp, L., Bouton, K., Carlstedt, D., Duan, S., Harnden, R., Johannisson, W., Johansen, M., Johansson, M., Lindbergh, G., Liu, F., Peuvot, K., Schneider, L. M., Xu, J., & Zenkert, D. (2021). A Structural Battery and its Multifunctional Performance. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2(3), 2000093. <https://doi.org/10.1002/aesr.202000093>
- [3] Asp, L. E., & Greenhalgh, E. S. (2014). Structural power composites. *Composites Science and Technology*, 101, 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.06.020>
- [4] Bird, R., Baum, Z., Yu, X., & Ma, J. (2022). The Regulatory Environment for Lithium-Ion Battery Recycling. *ACS Energy Letters*. 7, 736-740. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsenerylett.1c02724>
- [5] Chin, C., Zhang, C., & Gao, Z. (2021). Deploying battery technology for marine vessel electrification. *IEEE Potentials*, 40(6), 24–33. <https://doi.org/10.1109/mpot.2020.2988292>
- [6] Ciez, R. E., & Whitacre, J. (2016). The cost of lithium is unlikely to upend the price of Li-ion storage systems. *Journal of Power Sources*, 320, 310–313. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.073>
- [7] Dai, Q., Kelly, J. C., Gaines, L., & Wang, M. (2019). Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications. *Batteries*, 5(2), 48. <https://doi.org/10.3390/batteries5020048>
- [8] Folino, M., Halleröd, M. (2021). Stort genombrott för ”viktlös” energilagring. *Chalmers tekniska högskola*. <https://www.chalmers.se/aktuellt/nyheter/ims-stort-genombrott-for-viktlos-energilagring>
- [9] Forell, A., Busa, A., & Wilbert, G. (2016). *Advanced High Volume Affordable Lightweighting for Future Electric Vehicles*. Thinkstep AG: Wolfsburg, Germany.
- [10] Frees, N. Crediting aluminium recycling in LCA by demand or by disposal. *Int J Life Cycle Assess* 13, 212–218 (2008). <https://doi.org/10.1065/lca2007.06.348>
- [11] Gustaver, M. (2020) A Chalmers University of Technology Master’s thesis template for L^AT_EX. Unpublished.

- [12] Hermansson, F., Berg, I., Sandberg, K., Asp, L. E., Janssen, M., & Svanström, M. (2021). *The environmental benefits and challenges of a composite car with structural battery materials*. Paper presented at the Resource Efficient Vehicles Conference, Stockholm.
- [13] Hermansson, F., Berg, I., Sandberg, K., Asp, L. E., Janssen, M., & Svanström, M. (2022). *Structural batteries in electric road vehicles -When is it a good idea?* https://research.chalmers.se/publication/533020/file/533020_Fulltext.pdf
- [14] Jamshed, S. Q. (2014). Qualitative research method-interviewing and observation. *Journal of Basic and Clinical Pharmacy*, 5(4), 87. <https://doi.org/10.4103/0976-0105.14194>
- [15] Johannisson, W., Zenkert, D., & Lindbergh, G. (2019). Model of a structural battery and its potential for system level mass savings. *Multifunctional Materials*, 2(3), 035002. <https://doi.org/10.1088/2399-7532/ab3bdd>
- [16] Karlström, M. (2020) *Kunskapssammanställning stationär laddning till tunga lastbilar*. Trafikverket. https://bransch.trafikverket.se/contentassets/f1e0a794d4ba4a5d8bf27fd58ed2d23a/kunskapssammanstallning_trafikverket_final.pdf
- [17] Konsumenternas Energimarknadsbyrå. (2023). *Normal elförbrukning och elkostnad för lägenhet*. <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-lagenhet/>
- [18] Koucky and Partners AB. (2016). *Sjöfartens Omställning Till Fossilfrihet*. Energimyndigheten. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1549692/FULLTEXT01.pdf>
- [19] Lampic, G., Gotovac, G., Geaney, H., O'Dwyer, C. (2013). Comparing the suitability of Lithium ion, Lithium Sulfur and Lithium air batteries for current and future vehicular applications. DOI: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.06347.pdf>
- [20] Lithium-ion batteries need to be greener and ethical. (2021) *Nature*. 595, 7(2021) <https://doi.org/10.1038/d41586-021-01735-z>
- [21] Liu, Y., Gu, M., Liu, X., & Tafsirojjaman, T. (2022). Life-Cycle Cost Analysis of Long-Span CFRP Cable-Stayed Bridges. *polymers*, 14, 7-7. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14091740>
- [22] Luttingen, T., & Palmersjö, C. (2022). *Elektrifiering av tunga vägtransporter*. [Masteruppsats, Uppsala universitet]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1674510/FULLTEXT01.pdf>
- [23] Nathan, S., Newman, C., Lancaster, K., (2019) Qualitative Interviewing. *Handbook of Research Methods in Social Health Sciences*, 391-410. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-5251-4_77
- [24] Nationalencyklopedin. (n.d.). *Kolfiber*. Hämtad 4 maj, 2023, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kolfiber>
- [25] Pickens, J. R., (1990) High-Strength Aluminum P/M Alloys. *ASM Handbook*, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. DOI: 10.1361/asmhba0001064

- [26] PowerCircle (2021) *Elektrifiering och laddning av tunga transporter* Hämtad från PowerCircle Website: <https://powercircle.org/elektrifieradelastbilar.pdf>
- [27] Sjögren, P., Sandinge, A., & Li, Z. (2022). *Kompositer för en hållbar sjöfart*. Hämtad från Trafikverket website: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-61183>
- [28] Sjöstrand, H., & Lindgren, S. (2022). *Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter: Elektrifieringen av sjöfarten – förutsättningar, nuläge och styrmedel*. Hämtad från Statens väg- och transportforskningsinstitut website: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-18045>
- [29] Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- [30] Song, Y. Y., & Lu, Y. (2015) Decision tree methods: applications for classification and prediction *Shanghai Arch Psychiatry*, 27(2), 130–135. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.215044>
- [31] Statistikmyndigheten (2016, 19 oktober). *Utsläppen från transporter en växande utmaning* Hämtad 5 maj, 2023, från <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2016/Utslappen-fran-transporter-en-vaxande-utmaning/>
- [32] Statistikmyndigheten, (2020, 4 februari). *Antalet nyregistrerade bilar minskade med knappt 16 procent i januari*. Hämtad 4 maj, 2023, från <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/transporter-och-kommunikationer/vagtrafik/fordon/pong/statistiknyhet/fordonsstatistik-januari-2020/>
- [33] Styrsobolaget (u.å). *Älv-Snabben 4* Hämtad 4 april, 2023, från <https://styrsobolaget.se/om-oss/fartyg/alv-snabben-4>
- [34] Torraco, R.J. (2016). *Writing Integrative Literature Reviews: Using the Past and Present to Explore the Future*. *Human Resource Development Review*. 15(4): 404-428 DOI: <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
- [35] Transportstyrelsen. (2022, 21 juni). *Beräkna din flygresas utsläpp*. Hämtad 10 maj 2023, från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Berakna-din-flygresas-utslapp/>
- [36] UNDP, Globala målen. (2022a). 9 Hållbar industri, innovationer och infrastruktur. Hämtad 10 maj, 2023, från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-9-hallbar-industri-innovationer-och-infrastruktur/>
- [37] UNDP, Globala målen. (2022b). 7 Hållbar energi för alla. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-7-hallbar-energi-alla/>
- [38] UNDP, Globala målen. (2022c). 13 Bekämpa klimatförändringarna. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-13-bekampa-klimatforandringarna/>
- [39] UNDP, Globala målen. (2022d). 11 Hållbara städer och samhällen. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/>

- [40] UNDP, Globala målen. (2022e). 8 Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-8-anstandiga-arbetsvillkor-och-ekonomisk-tillvaxt/>
- [41] Wang, H., Boulougouris, E., Theotokatos, G., Zhou, P., Priftis, A., & Shi, G. (2021). Life cycle analysis and cost assessment of a battery powered ferry. *Ocean Engineering*, 241, 110029. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110029>
- [42] Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. P. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
- [43] Witik, R. A., Teuscher, R., Michaud, V., Ludwig, C., & Månson, J. E. (2013). Carbon fibre reinforced composite waste: An environmental assessment of recycling, energy recovery and landfilling. *Composites Part A-applied Science and Manufacturing*, 49, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.02.009>
- [44] WorldAutoSteel (2023, 4 maj) Elastic Modulus. *Elastic Modulus* Hämtad från 9 Maj, 2023, [https://ahssinsights.org/forming/mechanical-properties/elastic-modulus/#:~:text=Many%20aluminum%20alloys%20have%20an,GPa%20\(10%20million%20psi\)](https://ahssinsights.org/forming/mechanical-properties/elastic-modulus/#:~:text=Many%20aluminum%20alloys%20have%20an,GPa%20(10%20million%20psi).).
- [45] Zackrisson, M., Jönsson, C., Johannisson, W., Fransson, K., Posner, S., Zenkert, D., & Lindbergh, G. (2019). Prospective Life Cycle Assessment of a Structural Battery. *Sustainability*, 11(20), 5679. <https://doi.org/10.3390/su11205679>

A

Appendix 1

Nedan de huvudsakliga frågorna i intervjuguiderna från intervjuerna som genomfördes under arbetet med rapporten. Under intervjuerna ställdes även följdfrågor samt andra frågor som frångick intervjuguiderna. Dessa är ej inkluderade nedan. Kontakta författarna för svaren till intervjuerna. Intervjuernas ordning kommer enligt Tabell 3.1.

A.1 Intervju A

1. Hur ser framtiden ut för lastbilsindustrin?
2. Hur ska en elektrisk lastbil kunna konkurrera med en dieseldriven lastbil?
3. Har ni någon kunskap om SB samt är det något ni hade kunnat implementera i era lastbilar?
4. Hur fungerar det med litiumbatterier och end of life? Vilken skillnad blir det med SB istället?
5. Vart kan bästa stället på en lastbil vara att implementera SB på?

A.2 Intervju B

1. Hur går elektrifieringen av lastbilar och vilka utmaningar finns det?
2. En betydande egenskap hos SB är materialet kan lagra energi samtidigt som det är betydligt lättare än metall. Är det intressant som utvecklingsområde för er idag?
3. Finns det komponenter som slits ut/behöver bytas oftare än andra? Om 'ja', vilka?
4. Finns det komponenter som är särskilt utsatta vid olyckor och kollisioner av olika slag?
5. Finns det komponenter som endast har bärande egenskaper idag som inte har flera funktioner? Om 'ja', finns det möjlighet att byta ut dessa mot SB?

A.3 Intervju C

1. What role will ferries play in the future? What will be the purpose of them?
2. How much does weight play a part on a ferry? Would the decrease in weight have a significant impact like it would have when decreasing weight for a car regarding saving energy?

3. Where in the ship would electrical storage take place? Where would the batteries be stored in an electrical ferry?
4. How long lifetime would the ferry have compared to an electrical battery? Would it be possible to just replace the batteries without destroying bigger parts of the ferry?
5. Do you do any research about sails in shipping? There is an idea that structural batteries could be used in sails in any way so we are wondering if sails could play a role in shipping in the future?

A.4 Intervju D

1. Finns det någon optimal temperatur eller gränser för hur kallt/varmt materialet behöver vara med tanke på att batterier generellt inte tål någon kyla?
2. Går det att på något sätt mäta/kvantifiera hur mycket koldioxid som sparas in med hjälp av SB?
3. Vad är SBs svagheter. Brott? Utmattnings? Temperaturförändringar?
4. Tunnhetsgräns av SB på 1-1,5mm, stor skillnad om dem görs tjockare?
5. Finns det någon uppskattad livstid på SB?
6. Finns det möjlighet till återanvändning eller förstörs dem? Hur påverkar det produktionen?
7. Vart borde strukturella batterier sitta i ett fordon? Har förstått det som att de bör sitta där det inte krävs så mycket styvhet, varför då?

A.5 Intervju E

1. How do you work with stakeholders to establish goals and metrics to measure the success of an EV battery supply chain project, and how do you ensure those goals are met?
2. How do you balance cost and sustainability considerations when developing a supply chain for EV batteries?
3. In your opinion, what are the biggest challenges facing the EV battery supply chain industry currently, and how can they be addressed?
4. What are companies doing today in terms of 2nd life, reuse, recycling?
5. In the future, what can companies improve to reach a “perfect” life cycle?

A.6 Intervju F

1. Hur många mil kommer en elektrisk lastbil idag. Räckvidd, framtida lastbilars räckvidd.
2. Finns det någon data som visar hur mycket mer miljövänlig en elektrisk lastbil är jämfört med en fossildriven? CO₂? före och efter bruk av lastbil.
3. Hur fungerar återvinning av batterier idag?
4. vid vilken nivå/ kapacitet har batterier kvar när de ska bytas ut idag? Samt vad händer med batterierna efter det?

5. Är elektriska lastbilar mer lönsamma än fossildrivna? om inte, vid vilken gräns är det/ kommer det att uppnå det?
6. Vilka delar är ersättningsbara/ SB är lättare, men kanske inte lika starkt?

A.7 Intervju G

1. Hur funkar aluminium-kompositerna som sitter i era bussar idag och vilka för- och nackdelar har de inneburit?
2. En betydande egenskap hos SB är materialet kan lagra energi samtidigt som det är betydligt lättare än metall. Är det intressant som utvecklingsområde för er idag?
3. Finns det planer på att använda den komposit ni har eller liknande i fler projekt?
4. Finns det komponenter som är särskilt utsatta vid olyckor och kollisioner av olika slag?

**INSTITUTIONEN FÖR TENIKENS EKONOMI
OCH ORGANISATION
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS