Den digitala cellulosans roll i den cirkulära ekonomin

En kvalitativ studie om hur digitala cellulosa kan vara ett ekonomiskt och miljömässigt hållbart alternativ i dagens energilagring

Kandidatarbete inom teknikens ekonomi och organisation

ALEXANDRA GULLBERG
CAROLINA BERLING
EMMY HAAVISTO
FANNY HAHNE
MARIAM KRONBERG
TOVA JACOBSSON

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR SUPPLY AND OPERATIONS MANAGEMENT

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se
Kandidatarbete TEKX18-VT24-20

Kandidatarbete TEKX18-VT24-20

Den digitala cellulosans roll i den cirkulära ekonomin

En kvalitativ studie om hur digitala cellulosa kan vara ett ekonomiskt och miljömässigt hållbart alternativ i dagens energilagring

The Role of Digital Cellulose in the Circular Economy

A qualitative study on how digital cellulose can be an economically and environmentally sustainable alternative in today's energy storage

ALEXANDRA GULLBERG
CAROLINA BERLING
EMMY HAAVISTO
FANNY HAHNE
MARIAM KRONBERG
TOVA JACOBSSON

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelningen för Supply and operations management
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024

Abstract

Problem

Batteries and energy storage are becoming increasingly important as society becomes more electrified. The use of finite and critical materials for production in linear “take-make-dispose” business models, is a major concern jeopardizing future access to a sufficient amount of energy storage solutions. There is currently ongoing research to develop environmentally sustainable materials to secure the future supply of batteries. One of these materials is digital cellulose, which is a term used for cellulose combined with electroactive materials to create embedded functionality. One of the areas where digital cellulose is applied is energy storage and batteries.

Aim

This study aims to understand the potential of digital cellulose application in energy storage and batteries, as well as to identify conditions and examine how business models should be structured to make energy storage more sustainable and circular.

Literature review & Method

The study consists of a literature review, which serves as a solid foundation for the work. Subsequently, the focus shifts to results from interviews with value chain actors within the selected focus areas, which are as follows: *Energy storage*, *Recycling*, *Digital Cellulose*, *Circular economy*, *Circular business models*, *Laws, Regulations and Environmental policy*. The empirical results from interviews, along with insights from the literature review, are summarized and form the basis for the conclusions.

Results

The study shows that by shifting the market from conventional batteries to batteries with components based on digital cellulose, the use of and dependency on finite and critical resources decreases. There are currently few established recycling processes for digital cellulose in the current recycling infrastructure in the battery value chain. However, it is believed that these processes could be optimized if, already in the design phase of batteries, emphasis is placed on enabling component separation, fostering value chain collaborations, and incorporating digital product passports.

For batteries with digital cellulose to be successful on the market, advantages in both performance and economic conditions are required. Furthermore, external conditions such as demand and legislation affect whether batteries with digital cellulose can gain market share and be successful. There is no clear recipe for what circular business models for products with digital cellulose should entail. However, two main components have emerged as particularly interesting for the studied application areas: design and servicification.

Note: The report is written in Swedish.

Sammandrag

Problem

Energilagring blir av allt större vikt för oss människor i takt med att samhället elektrifieras. Den pågående användningen av ändliga och kritiska material för produktion av batterier, som sedan utnyttjas i linjära flöden, är ett stort orosmoment som äventyrar den framtida tillgången på batterier. Det pågår forskning och utveckling av miljömässigt hållbara material, för att säkra den framtida tillgången på batterier. Ett av dessa material är digital cellulosa, vilket är ett samlingsnamn för cellulosa som kombinerats med elektroaktiva material för att skapa inbyggd funktionalitet. Ett användningsområde där den digitala cellulosan appliceras är energilagring, mer specifikt batterier.

Syfte

Denna studie syftar till att förstå potentialen i digital cellulosas applikation inom energilagring, specifikt i batterier. Dessutom är målet med studien att identifiera förutsättningar och undersöka hur affärsmodeller bör se ut för att göra energilagring mer hållbar och cirkulär.

Litteraturstudie & Metod

Studien består av en litteraturstudie som görs i syfte att bygga en grund för arbetet. Därefter fokuserar arbetet på resultat från intervjuer med aktörer i värdekedjan inom valda fokusområden. Dessa områden är följande: *Energilagring, Återvinning, Digital Cellulosa, Cirkulär ekonomi, Cirkulära affärsmodeller* och *Lagar, regler och miljöpolitik.* De empiriska resultaten från intervjuer tillsammans med insikter från litteraturstudien summeras och ligger till grund för de slutsatser som formuleras.

Resultat

Studien visar att genom att skifta marknaden från konventionella batterier till batterier med komponenter baserade på digital cellulosa minskar användningen och beroendet av ändliga och kritiska resurser. Det finns ännu få återvinningsprocesser för digital cellulosa. Däremot tros dessa kunna utvecklas optimalt om det redan i designfasen av batterier läggs vikt vid att möjliggöra separation av komponenter, skapa samarbeten mellan aktörer i värdekedjan samt inkorporera digitala produktpass.

För att batterier med digital cellulosa ska bli framgångsrika krävs fördelar gällande både prestanda och ekonomiska förutsättningar. Genomgående i denna rapport innebär batteriernas prestanda deras energitäthet. Vidare påverkar yttre förutsättningar som efterfrågan och lagstiftning huruvida batterier med digital cellulosa kan ta marknadsandelar och bli framgångsrika. Det inte finns något tydligt recept på vad cirkulära affärsmodeller för produkter med digital cellulosa ska innehålla. Två huvudsakliga komponenter har dock utmärkt sig vara särskilt intressanta för de studerade applikationsområdena, design och tjänstifiering.

Notera: Denna rapport är skriven på svenska

Förord

Det är här ett kandidatarbete omfattande 15 högskolepoäng som genomfördes under vårterminen 2024 som en del av kursen TEKX18, på Chalmers tekniska högskola i Göteborg.

Vi författare vill rikta ett stort tack till vår handledare Patricia van Loon, docent på avdelningen för Supply and Operations Management på Chalmers Tekniska Högskola, för stöttning och kloka råd genom hela processen. Vidare vill vi tacka Tatjana Karpenja, affärsutvecklare inom hållbarhet och digitalisering på RISE Svenska Forskningsinstituten, som gjorde det möjligt för oss att skriva det här kandidatarbetet. Tatjana har kommit med många smarta idéer och varit en stor inspiration. Vi vill även tacka Hjalmar Granberg, senior forskare på RISE Svenska Forskningsinstituten, som givit oss en djup kunskap inom digital cellulosa och dess användningsområden.

Till sist vill vi rikta ett stort tack till alla som har tagit sig tiden att ställa upp på intervjuer. Det har varit intressant att få ta del av era erfarenheter och synvinklar med en stor öppenhet från ert håll. Ni tillsammans har givit oss värdefull information för att kunna nå goda resultat med studien.

Ordlista

BMC = Business Model Canvas

CBMC = Circular Business Model Canvas

DCC = Digital Cellulose Center

Deponera avfall = Att slänga avfall på en soptipp

End-of-life = Produkter som inte längre används eller kan användas så som de är menade att användas. Dessa produkter är antingen föråldrade, trasiga eller så vill användaren av någon annan anledning inte längre ha kvar den. Dessa produkter förbereds för avfallshantering eller återvinning.

ESG = "Environmental, Social and Governance", det vill säga miljö, socialt ansvar och bolagsstyrning.

EU = Europeiska unionen

EU-Förordning = EU-förordningar gäller i alla medlemsländer oberoende av nationell lagstiftning

EU-Direktiv = EU-direktiv ska införlivas i den nationella lagstiftningen.

Greenwashing = När företag, organisationer eller myndigheter medvetet eller omedvetet kommunicerar sina hållbarhetsåtaganden på ett felaktigt eller vilseledande sätt, i syfte att uppnå ekonomiska och/eller imagemässiga fördelar.

LIB = Litiumjonbatterier

LCA = Livscykelanalys

NaSB = Natriumsvavelbatterier

PB-A = Blysyrabatterier

RFB = Redox-flödesbatterier

RISE = RISE Svenska Forskningsinstituten

Innehållsförteckning

1. Inledning 7
1.1 Bakgrund 7
1.2 Problembeskrivning 8
1.3 Syfte 9
1.4 Frågeställningar 9
1.5 Avgränsningar 9
2. Teoretiskt ramverk 11
2.1 Cirkulär ekonomi 11
2.1.1 Cirkularitet inom energilagring 13
2.2 Cirkulära affärsmodeller 13
2.3 Drivkrafter och hinder för cirkulär ekonomi 16
2.3.1 Drivkrafter för cirkulär ekonomi 16
2.3.2 Hinder för cirkulär ekonomi 19
2.4 Energilagring 22
2.4.1 Energilagring inom energisektorn 22
2.4.2 Energilagring inom transportsektorn 23
2.4.3 Utmaningar 24
2.5 Återvinning av batterier 24
2.5.1 Återvinningsprocessen 24
2.5.2 Förutsättningar för återvinning och framtida potential 25
2.6 Digital cellulosa 26
2.6.1 Cellulosa i litiumjonbatterier (LIBs) 26
2.6.2 Cellulosa i natrium-jon batterier (SIBs) 27
2.6.3 Superkondensatorer 27
2.6.4 Cellulosa som separator och membran 27
2.7 Sammanfattning av teoretiskt ramverk 28
3. Metodologi 29
3.1 Litteraturstudie 30
3.2 Intervjustudie 31
3.2.1 Urval av intervjupersoner 32
3.2.2 Analys av intervjuer 34
3.3 Studiens kvalitet 35
3.3.1 Metodkritik 35
3.3.2 Källkritik 36
3.3.3 Etiska principer 37
4. Resultat 38

4.1 Cirkulära affärsmodeller ... 38
4.2 Drivkrafter och hinder för cirkulär ekonomi ... 39
4.3 Energilagring ... 41
4.4 Återvinning ... 42
4.5 Digital cellulosa ... 44
4.6 Sammanfattning av resultatet ... 47
5. Diskussion ... 48
5.1 Hållbara aspekter med digital cellulosa i energilagring ... 48
5.1.1 Ändliga resurser ... 48
5.1.2 Kritiska material ... 48
5.1.3 PFAS kemikalier ... 49
5.1.4 Återvinning ... 49
5.2 Förutsättningar för att möjliggöra digital cellulosa i energilagring ... 51
5.2.1 Interna förutsättningar ... 51
5.2.2 Externa förutsättningar ... 52
5.3 Affärsmodeller för batterier med digital cellulosa ... 53
5.3.1 Circular Business Model Canvas ... 53
5.3.2 R-ramverket ... 56
5.3.3 Komponenter i affärsmodellen ... 58
5.4 Framtidsutsikter ... 60
6. Slutsats ... 61
6.1 På vilka sätt kan digital cellulosa användas för att göra energilagring mer hållbart? ... 61
6.2 Vilka inre och yttre förutsättningar krävs för att detta ska vara möjligt och bli framgångsrikt? ... 62
6.3 Vad bör cirkulära affärsmodeller för energilagring med digital cellulosa innehålla för att dessa ska vara framgångsrika i dagens ekonomi? ... 63
6.4 Framtida rekommendationer ... 64
Källförteckning ... 65
Bilagor ... 73

1. Inledning

I följande avsnitt presenteras bakgrunden till arbetet samt vikten av att utforska ämnet vidare. Dessutom beskrivs problemställningen bakom projektet och arbetets syfte.

1.1 Bakgrund

Befolkningen ökar och i takt med detta ökar även den industriella utvecklingen och därmed energiförbrukningen. Den ökande efterfrågan och konsumtionen har dock negativa följder för klimatet och är grunden till många av våra miljöutmaningar (Dehghani-Sanij, Dusseault, Fraser & Tharumalingam, 2019). Hoten från klimatförändringarna är många, hållbarhetsarbetet är mer aktuellt än någonsin och det finns flera lösningar inom olika branscher (Europeiska Kommissionen, u.å c). Engagemanget ökar och organisationer sätter strategiska mål för att bemöta dem idag högt prioriterade hållbarhetsfrågorna. Både kunder och medarbetare ställer krav och skapar drivkrafter för utveckling av hållbara erbjudanden (PwC, 2018).

En av de branscher där det finns utrymme för hållbar utveckling och förbättring är elektronik och däribland energilagringsbranschen. I takt med att elektroniken blivit en integrerad del av samhället ökar både konsumtionen samt dess kollektiva miljöpåverkan (RISE, u.å b). Allmänt gäller att insamlingen av elavfall i Sverige följer en nedåtgående trend, trots att trenden för sålda mängder elutrustning stiger (Naturvårdsverket, 2023 a). Just den ökande produktionen av elektronik som sedan blir skrot är ett växande problem som kräver ny teknologi och nya metoder för att bekämpas. Elektronikprodukternas livscykel behöver omvärderas och göras hållbar både när det gäller val av material och design men även återvinning och återbruk (RISE, u.å b). Beroende på elektronikprodukt kan det vara materialutvinningen, tillverkningen, användningsfasen eller avfallshanteringen och materialåtervinningen som innebär störst miljöpåverkan och det är därför av vikt att beakta produktens hela livstid (Naturvårdsverket, 2023 a).

Idag följer elektroniken till stor del en linjär livslinje som innefattar mönster av korta användningsperioder och tidiga “end-of-life”, samt associeras med flertalet miljömässiga, sociala och ekonomiska problem längs med hela näringskedjan (PwC, 2023). Allmänt för den linjära ekonomin är slösaktiga förädlingsprocesser och konsumtion som resulterar i ineffektiv avfallshantering, utsläpp, negativ miljöpåverkan och förluster i näringskedjan. Detta står i stor kontrast till den cirkulära ekonomin där målet är att frikoppla den ekonomiska tillväxten från ändlig resursanvändning. Denna ekonomiska modell grundas i maximering av resurseffektivitet och produkter som designas för att minimera avfall och främja återvinning, återanvändning och renovering (Gröndahl & Svanström, 2011).

Den linjära ekonomins förluster i näringskedjan påverkas negativt av den snabba tillväxten av både befolkning och medelklass och det finns ett behov av affärsmodeller med systemtänk (Gröndahl & Svanström, 2011). För att minska de miljömässiga konsekvenser den ökande konsumtionen skapas behöver det skapas produkter som är designade för cirkularitet (RISE, u.å a). Det finns flera initiativ som påskyndar övergången från den linjära till den cirkulära ekonomin och EU har en stor roll i att skapa förutsättningar för en cirkulär omställning. Det handlar om att skapa hållbara affärsmodeller och konsumtionsmönster som inte skapar avfall och där resurserna inte tappar sitt ekonomiska värde (Naturvårdsverket, 2024 a).

Genom att applicera den cirkulära ekonomins principer på elektroniken kan produkterna göras mer hållbara. Grön elektronik är elektronikprodukter och komponenter vars ingående material har låg miljöpåverkan samt har lägre energianvändning sett till hela värdekedjan jämfört med den ”icke-gröna” motsvarigheten. (Misra, Kumar, & Jain, 2021) Materialet i produkten ska vara biobaserat och/eller återvinningsbart vilket innebär att uttjänta produkter kan återvinnas och föras in tillbaka i produktion eller återanvändas för att uppnå cirkularitet (Karpenja, Beni, Granberg & Wästerlid, u.å b).

En aktör som bedriver forskning, utveckling och innovation inom grön elektronik är RISE. RISE är ett forskningsinstitut och en innovationspartner som i internationell samverkan med industri, akademi och offentlig sektor arbetar för att skapa konkurrenskraft i näringslivet och ett hållbart samhälle (RISE, u.å c). Med finansieringsstöd från Sveriges innovationsmyndighet, Vinnova, driver RISE kompetenscentrumet Digital Cellulose Center (DCC). Inom DCC utvecklas hållbara och cirkulära elektronikprodukter baserade på cellulosa som kombineras med elektroaktiva material. Denna typ av teknik kan appliceras på mängder av elektronikprodukter och digital cellulosa inkluderar cellulosa med många olika inbyggda funktionaliteter som kan appliceras på allt från smarta förpackningar till pappersrullar som kan lagra energi från sol- och vattenkraft (Digital Cellulose Center, u.å). DCC arbetar för att hitta hållbara och cirkulära lösningar för elektroniksektorn och ett av de användningsområden som den digitala cellulosan appliceras är just energilagring, mer specifikt i batterier. Batterier används för att upprepade gånger lagra energi som vid behov kan användas för att driva olika slag av produkter som kräver en energikälla (Hägglund, 2023). Denna gren av digital cellulosa, dess användning och applikation inom energilagringssektorn utgör utgångspunkten för denna studie.

1.2 Problembeskrivning

Energilagring har kommit att bli en central del i dagens samhälle. Med en ständig teknikutveckling, innovation, växande medelklass och elektrifiering fortsätter efterfrågan att öka. Detta i samband med dagens dominerande linjära affärsmodeller leder till ohållbar materialutvinning och stora mängder skrot som inte hanteras på lämpligt sätt (PwC, 2023). I omställningen till ett hållbart samhälle är en cirkulär ekonomi ett viktigt instrument och cirkulära affärsmodeller kan vara ett verktyg för att hantera industrins ineffektiva materialanvändning och resursslöseri (Forti, Baldé, Kuehr & Bel, 2020). För att övergå från det linjära flödet behövs det batterier som är designade för återanvändning och återvinning. De externaliteter som energilagringsbranschen kan förknippas med kan minimeras genom att bevara material i slutna kretslopp (PwC, 2023).

Idag är dock både insamlingen och återvinningen av batterier låg på grund av att de flesta batterier är integrerade i andra produkter och därför svåra att separera. Sverige hade år 2021 en insamlingsgrad på ca 10 procent där majoriteten var portabla batterier (Sveriges Geologiska Undersökning, 2021). Incitamenten för avfallshanteringen och återvinningen är mestadels ekonomiska där utvinning av kritiska metaller ur skrotet är i fokus. Eftersom batterier baserade på digital cellulosa saknar, eller innehåller mindre mängd av, dessa material saknar de därmed komponenter med högre andrahandsvärde, vilket innebär att de ekonomiska incitamenten till återvinning i dagens återvinningssystem begränsas (Karpenja, Ahniyaz, Edberg & Granberg, 2022).

RISE ligger i framkant med utvecklingen av digital cellulosa i batterier. Utöver de tekniska utmaningarna finns även hinder med att ta in en cirkulär produkt på en marknad genomsyrad

av linjära flöden. De linjära flödena fortsätter ha de ekonomiska incitamenten då de cirkulära lösningarna idag tenderar att vara mer kostsamma. Detta både vad gäller utvinningen av material men även i processen att attrahera kunderna och åstadkomma en förändring i deras beteenden och konsumtion (Ellen MacArthur Foundation, 2013 b). De miljömässiga och socialt hållbara motiven till en övergång från den linjära ekonomin till den cirkulära är många gånger inte starka nog och det krävs därför en affärsmodell som även erbjuder finansiella fördelar.

För att framgångsrikt få ut batterier baserade på digital cellulosa på marknaden krävs studier kring hur denna typ av produkter kan bli ett hållbart alternativt mot de konventionella batterierna som idag dominerar. Dessutom finns det behov av studier kring vilka aspekter i de cirkulära affärsmodellerna som kan appliceras samt vilka förutsättningar som krävs för att göra övergången från den linjära ekonomin möjlig.

1.3 Syfte

Syftet med studien är att förstå potentialen i digital cellulosas applikation i energilagring, specifikt i batterier. Studien fokuserar på att identifiera förutsättningar och undersöka hur affärsmodellerna bör se ut för att göra energilagring mer hållbar och cirkulär.

1.4 Frågeställningar

Tre frågeställningar har formulerats för att uppfylla syftet med studien:

- På vilka sätt kan digital cellulosa användas för att göra energilagring mer hållbart och mer cirkulärt?
- Vilka inre och yttre förutsättningar krävs för att detta ska vara möjligt och bli framgångsrikt?
- Vad bör cirkulära affärsmodeller för energilagring med digital cellulosa innehålla för att dessa ska vara framgångsrika i dagens ekonomi?

1.5 Avgränsningar

Studien har avgränsats till att enbart studera företag inom Sveriges gränser. Det innebär att endast personer som arbetar på ett företag med verksamhet i Sverige har intervjuats. Då digital cellulosa fortfarande är i ett tidigt skede har det varit nödvändigt att endast studera en specifik marknad. Valet föll på den svenska marknaden med anledningen av att RISE, DCC och deras samarbetspartners är aktiva i Sverige. När det gäller litteraturen har stundtals källor publicerade internationellt studerats, då det har varit väsentligt för att skapa en djupare förståelse av ämnet. Kravet på källorna var att de inte fick vara specifika för ett visst land utan vara applicerbara även på den svenska marknaden.

Vidare har studien avgränsats till den digitala cellulosans användning inom energilagring. En avgränsning av applikation var nödvändigt då digital cellulosa har många olika användningsområden som i hög grad skiljer sig åt. Det hade därför inte varit möjligt att gemensamt studera samtliga applikationer då resultatet hade skiljt sig avsevärt. Orsaken till att just energilagring har undersökts är dess stora potential och utvecklingsmöjligheter.

Energilagring är dessutom ett område som kommer spela stor roll i samhällets energiomställning.

Avgränsningarna kan i viss mån påverka slutresultatet då förutsättningarna ser annorlunda ut om hela världen samt fler applikationer hade undersökts. Om istället hela världen hade undersökts finns det skillnader mot den svenska energilagringsmarknaden. Globalt sätt ser hantering av avfall olika ut. Dessutom skiljer sig lagstiftningen mellan länder i EU och länder i resterande delar av världen (Espelund, 2022), vilket innebär att drivkrafter och utmaningar kan se olika ut beroende på vilken marknad som undersöks. Om studien istället hade studerat hela världen hade antagligen resultatet blivit mer spritt, samtidigt som det hade belyst fler perspektiv. Om ytterligare branscher hade undersökts hade det resulterat i en bredare bild av vilka användningsområden för digital cellulosa som faktiskt är framgångsrika. Däremot hade studien blivit betydligt mer omfattande och det hade varit svårare att uppnå relevanta slutsatser.

2. Teoretiskt ramverk

I det följande avsnittet presenteras grunderna i cirkulär ekonomi, cirkulära affärsmodeller och digital cellulosa. Dessutom beskrivs energilagringsbranschen och dagens återvinningsprocesser. En övergripande bild av de lagar och regleringar som berör flödet och hanteringen av elektronik presenteras samt de institutionella drivkrafter och hinder som finns inom marknaden idag.

2.1 Cirkulär ekonomi

Naturvårdsverket beskriver cirkulär ekonomi som "*ett kraftfullt verktyg i omställningen till ett resurssnålt samhälle som kan bidra till att uppnå våra miljö- och klimatmål"* (Naturvårdsverket, 2024 b). Den ekonomiska modellen kan ses som ett instrument för att minska miljöpåverkan genom att ha effekt på samhällets resursanvändning och öka effektiviteten i användningen av produkter och komponenter. Modellen grundar sig i ett värdebehållande där värdet på såväl produkter, produktkomponenter, material och resurser behålls och används till större uträckning under både produktionen och konsumtionen (Naturvårdsverket, 2024 c). Genom rätt design ska värdet och kvalitet behållas, livstiderna för produkterna förlängas och materialanvändningen effektiviseras genom att reparation, återanvändning och återvinning möjliggörs (Naturskyddsföreningen, u.å b).

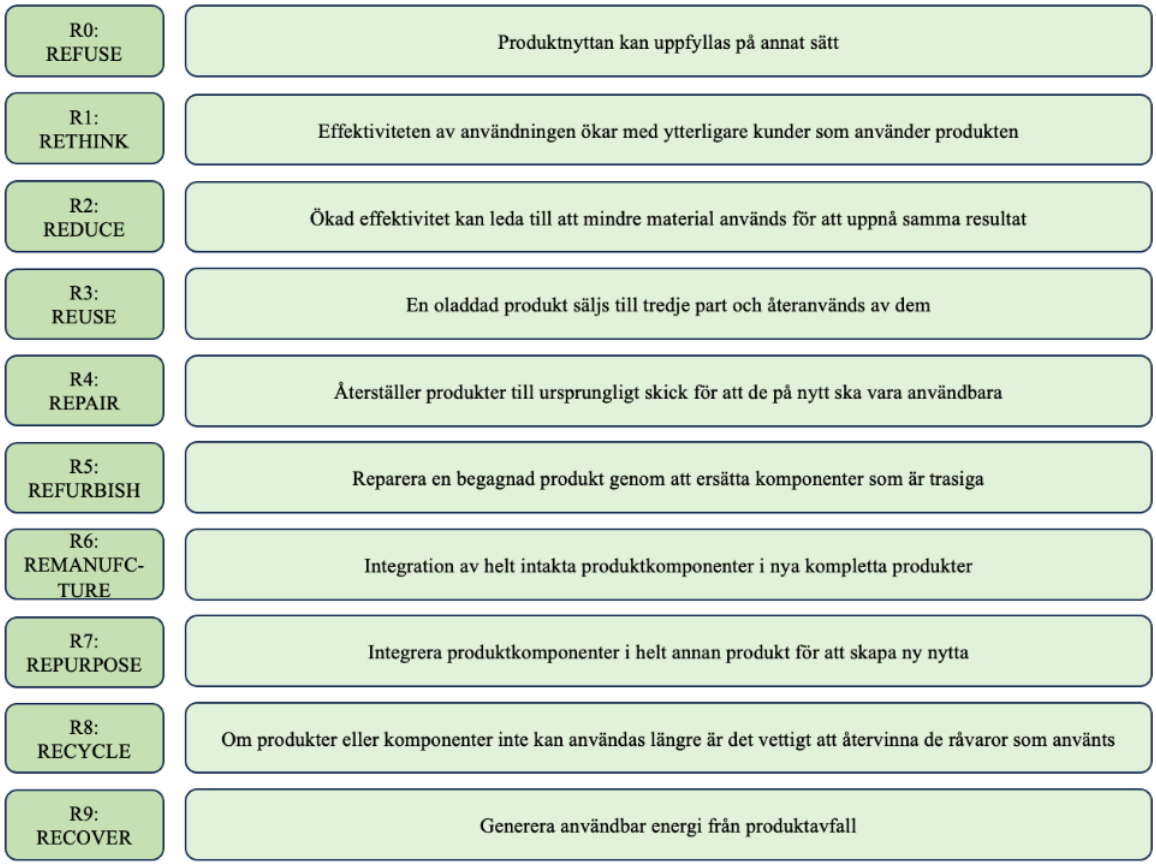
Idag är en stor del av produkterna sammansatta av många olika material som försvårar återvinningen. Inom den cirkulära ekonomin är produktdesignen central och ungefär 80 procent av produkternas miljömässiga påverkan influeras av designen (PwC, 2023). Beslut om designen, vad produkten är gjord av och hur komponenterna relaterar till varandra är avgörande för lång hållbarhet, enkelhet till reparationer samt möjligheter för återanvändning och återvinning (Naturskyddsföreningen, u.å b). Det handlar alltså inte endast om att designa produkter som enkelt kan tas hand om i avfallshanteringen men att redan i designfasen uppfylla funktioner som minskar materialåtgången, förlänger livscykeln, minskar behovet av olika typer av produkter samt intensifierar och omvärderar användningen (PwC, 2023).

Till skillnad från dagens dominerande linjära ekonomi, där material blandas, resurser tappar sina ekonomiska värden, material försvinner ut ur kretsloppet och stora mängder avfall genereras efter produkternas livslängd, ska den cirkulära ekonomin minska mängden avfall och klättra uppåt i avfallshierarkin (Naturvårdsverket, u.å). Avfallshierarkin beskriver olika steg för att åstadkomma en cirkulär ekonomi och minska mängden avfall (Upphandlingsmyndigheten, u.å b). Det finns flera tolkningar av modellen men Naturskyddsföreningen delar upp hierarkin i fem nivåer; minimera och förebygga, återanvända, materialåtervinna, energiutvinna och deponera, där de tidigare övre nivåerna medför lägst miljöpåverkan och konsumtion av material (Naturskyddsföreningen, u.å a).

Genom att arbeta för att klättra upp inom avfallshierarkin och förebygga avfallsproduktionen kan värdet av produkterna bevaras längre och de linjära flödena övergå till slutna kretslopp med minskad resursförbrukning (Upphandlingsmyndigheten, u.å b).

Den cirkulära ekonomin och de cirkulära affärsmodellerna föreslår olika alternativa aktiviteter och strukturer för att skapa och bevara värde och lönsamhet. Det finns ingen allmän tolkning för vilka strategierna för cirkulära affärsmodeller är men många är överens om de så kallade "R-principerna" (Susur & Engwall, 2023). Detta ramverk baseras på samma principer men kan tas upp i olika kombinationer och omfattning. En av de mer omfattande modellerna

presenteras i Figur 1 och inkluderar nio principer: Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, and Recover (Vägra, Ompröva, Minska, Återanvända, Reparera, Renovera, Återtillverka, Återanvända, Återvinna och Återfå) och kan användas som ett verktyg för att visualisera de olika stadierna av resursanvändning och avfallshantering i den egna affärsmodellen (Fornasaro & Neri, 2022).



Figur 1: 9R-ramverket, Källa: egen illustration; baserad på Irrek, Mast & Unruh (2022).

Övergången från den linjära till den cirkulära ekonomin kräver dock förändring på flera nivåer och det gäller att den linjära ekonomin fasas ut för att den cirkulära ska få fäste. Den cirkulära ekonomin måste ha tydliga ekonomiska, sociala och miljömässiga fördelar relativt den linjära (Kirchherr, Urbinati, & Vecchio, 2022). Målet med att frikoppla den ekonomiska utvecklingen från den ändliga resursanvändningen innebär att reducera den miljömässiga påverkan samtidigt som ekonomisk tillväxt genereras och arbeten skapas. Utöver miljömässiga argument för övergången mot en cirkulär ekonomi finns drivkrafter som berör andra aspekter såsom ekonomiska och sociala (Gröndahl & Svanström, 2011). Dagens linjära modell innebär ekonomiska förluster som grundar sig i slösaktighet och ineffektiv resursanvändning men innebär även risker (Upphandlingsmyndigheten, u.å a). Stora delar av produktionen och konsumtionen är beroende av ändliga resurser som innebär osäkerheter i priser och tillgänglighet och nya lagar och regleringar kan utmana dagens system (Gröndahl & Svanström, 2011). Genom att minska resursförbrukningen kan aktörer minska sina beroenden av volatila tillgångar som ökade kostnader, ökad risk för naturkatastrofer och geopolitiska konflikter. Det finns potential i de cirkulära modellerna och genom dess ökade motståndskraft i försörjningskedjorna samt minskade behov av material och resurser kan riskerna minskas och operationella kostnadsbesparingar hämtas (PwC, 2023). Dock är övergången komplex och hur företag kan övergå till cirkulära affärsmodeller är dåligt förstått.

Att lämna dagens slösaktiga produktionsekonomi kommer innebära grundläggande förändringar i affärsmodellerna, andra och nya samarbeten mellan både gamla och nya aktörer och närmare kundrelationer (Frishammar & Parida, 2019).

2.1.1 Cirkularitet inom energilagring

Skiftet mot den cirkulära ekonomin och dess idéer om "*design for reuse*" är speciellt relevant för energilagring och i synnerhet batterier eftersom dessa produkter och tjänster används mer än någonsin (Sims lifecycle services, u.å). Elektronikprodukter förknippas av hög åtgång av både material och energi under tillverkningen, hög konsumtion och korta användningsperioder med tidig kassering och omfattas av problem längs med hela värdekedjan men framförallt av otillräcklig och dålig hantering av elektronikavfall och utsläpp (PwC, 2023). Insamlingsgraden är oerhört låg och mycket material går förlorat. Dessa produkter innehåller en rad olika giftiga tungmetaller som riskerar att läcka ut och försätta såväl miljön som människans hälsa i fara (Forti m.fl., 2020). Dessutom är dessa kritiska råmaterial även avgörande för EU:s industri för att klara av den gröna och digitala omställningen (Europeiska kommissionen, u.å a). Alla dessa värdefulla material som återfinns i energiskroten uppskattades 2019 till ett totalt värde om 57 miljarder USD men den låga insamlingsandelden innebar att endast råmaterial till ett värde av ca 10 miljarder USD återvanns (Forti m.fl., 2020). På grund av otillräcklig omvänd logistik, begränsade avkastningsincitament och svaga ekonomiska fördelar med att hålla elektronik och dess komponenter i kretslopp finns det idag knappt någon återanvändning eller återvinning (Ellen MacArthur Foundation, 2013 b).

2.2 Cirkulära affärsmodeller

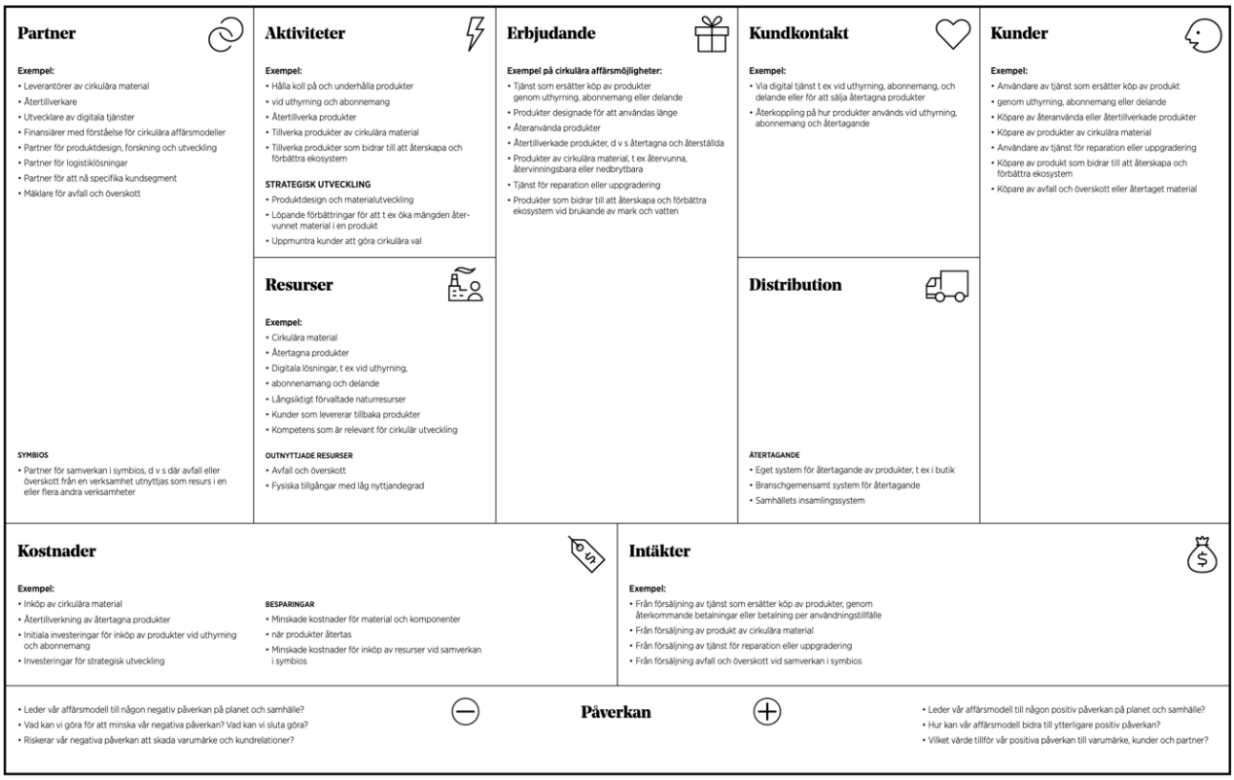
Miljöproblemen är en av de största och viktigaste utmaningar av vår tid och dagens ekonomisystem och affärsverksamhet är bidragande orsaker till problemen. Den cirkulära ekonomin innehar egenskaper med lovande lösningar för att minska utsläpp, avfall och resursförbrukningen samtidigt som den erbjuder ekonomisk framgång för företagen (Ghoreishi, 2023). För att övergå till den cirkulära ekonomin behöver värdekedjan transformeras och företag applicera cirkulära affärsmodeller (Frishammar & Parida, 2019). En affärsmodell kan beskrivas som en plan för hur ett företag ska tjäna pengar, varifrån intäkterna genereras och hur varor och tjänster skapar värde hos kunden (Visma, u.å). Det är en viktig del av företagsstrategin och beskriver hur företaget definierar sig på marknaden, differentiera sig från konkurrenterna och ger insikt i vad kunderna vill ha och är villiga att betala för. Modellen inkluderar vanligtvis företagets värdeerbjudande, intäktsströmmar och kostnadsstruktur, nyckelresurser och –aktiviteter, distributionskanaler och kundsegment med syfte att belysa vad som skapar värde och hur detta ska generera intäkter (Harvard Business School, 2021).

En cirkulär affärsmodell är en affärsstrategi som utgår från den cirkulära ekonomins principer och fokuserar på minimering av resursslöseri och strävar efter att skapa ett slutet kretslopp för produkter och material (Ellen MacArthur Foundation, u.å a). Genom cirkulära affärsmodeller minskar miljöpåverkan från företagets aktiviteter samtidigt som de kan differentiera sig på marknaden och skapa affärsmöjligheter med hållbara och resurssnåla erbjudanden som gynnar både samhälle och miljön (Aloini, Dulmin, Mininno, Stefanini, & Zerbino, 2020). De konventionella konsumentrelationerna och värdeskapande aktiviteterna behöver omvärderas och synen på hur värde skapas, levereras och fångas behöver förändras (Kirchherr, Urbinati, & Vecchio, 2022). Dessa nya värden kan komma från effektiv design och produktion, minskad utvinning av jungfruligt material och resurser, förlängda livscykler genom produkter

som är designade för fler användningar eller upcycling, återvinning och återanvändning eller från förbättrade materialflöden (Ghoreishi, 2023). Det krävs med andra ord ett fokusskifte och nya sätt att tänka och göra affärer. På så sätt innebär de cirkulära affärsmodellerna ofta att företag förflyttar sig från rent produktorienterade affärsmodeller mot en kombination av produkter och tjänster där företagens lönsamhet kommer från andra håll än "antalet sålda enheter" (RISE, u.å, a).

Exempel på affärsmodeller som följer den cirkulära ekonomins principer och som ger hög resurseffektivitet är produkt-tjänste-system, eller *Product-as-a-service (PaaS)* (PwC, 2023). Denna cirkulära affärsmodell kan delas upp i två. Den användningsinriktade modellen, där produkten görs tillgänglig till kunden under vissa perioder men där ägandeskapet förblir hos företaget, samt den resultatinriktade modellen, där kunden betalar för en viss leverans och företaget tillhandahåller detta fördefinierade resultat (Frishammar & Parida, 2019). Cirkulära affärsmodeller kan även utgå från olika typer av delningsplattformar som ökar nyttjandegrader, från cirkulära råvaror där produkter skapas från återvunnet och återvinningsbart material eller materialåtervinning där värden i redan använda produkter och material omhändertas (Upphandlingsmyndigheten, u.å a). På så sätt, genom att omforma de värderelaterade processerna och att ha kvar produktägandeskapet hos företaget, skapas nya incitament för förbättrad resursanvändning och längre produktlivslängder (Frishammar & Parida, 2019).

Det finns flera olika ramverk och verktyg som används för att organisera och visualisera affärsmodeller. En av dessa är Business Model Canvas (BMC) som bryter ner affärsmodeller i de nio segmenten *kundsegment, värdeerbjudande, kanaler, kundrelationer, intäktsströmmar, nyckelresurser, nyckelaktiviteter, nyckelpartners och kostnadsstruktur.* Fördelarna med en sådan nedbrytning är att överskådliggöra och lättare kommunicera olika aspekter av affärsmodellen samt tydliggöra de kritiska komponenterna (Europeiska kommissionen, 2019). Den traditionella BMC är relevant för samtliga affärsidéer men det finns även en vidareutveckling som även visualiserar de cirkulära aspekterna i affärsidén. *Circular Business Model Canvas (*CBMC*)* är en utvidgning av ramverket som även betonar miljömässig och social hållbarhet (Braun, Schöllhammer, & Rosenkranz, 2021). Denna modell grundas i samma nio segment men med innehåll med tydligare inriktning på cirkularitet och hållbarhet samt inkluderar det ytterligare segmentet *påverkan.* Detta tillägg berör såväl den positiva och den negativa miljömässiga samt sociala påverkan som kopplas till affärsmodellen, hur värdeerbjudandet skapar förbättringar och gynnar miljön och samhälle respektive leder till skador och miljöpåverkan (Europeiska kommissionen, 2019). Den anpassade modellen med dess tio segment och speciella fokus på sociala och miljömässiga kostnader och fördelar illustreras nedan.



Figur 2: Circular Business Model Canvas, Källa: Tillväxtverket (u.å)

Nya former av värdeskapande och -leverans kräver dock att kunden omdefinierar sig till användare samt skapar ett annat behov av nätverk och ekosystem av företag. De cirkulära affärsmodellerna ställer krav på hela värdekedjan och medför nya behov av både omvänd logistik, kundrelationerna samt partnerskap och samarbeten (Susur & Engwall, 2023). Det krävs en systemförändring där de använda modellerna inte endast ser det enskilda företaget eller den enskilda produkten utan värdesätter bidragen från olika aktörer och samspelet i hela ekosystemet (Ghoreishi, 2023). Till följd av den ökade specialiseringen kan få företag åstadkomma cirkulära affärsmodeller på egen hand. Det krävs ofta samarbeten och kombinationer av flera företag och tredjehandsleverantörer för att skapa de tjänster och processer som behövs (Frishammar & Parida, 2019).

När det kommer till transformationen från de linjära mot de cirkulära affärsmodellerna talas det ofta om möjliggörare samt drivarkrafter som stödjer utformningen av de cirkulära affärsmodellerna (Kircherr m.fl., 2022). Det finns flera olika element som kan driva affärsorganisationer att påbörja transformationen och anta en mer cirkulär ekonomi och affärsmodell men några viktiga är de institutionella, ekonomiska och sociala drivkrafterna. Institutionella interventioner i form av lagar och regleringar men även finansiella stöd kan påverka organisationer i deras val och anses vara viktiga för övergången mot de cirkulära modellerna då de kan skapa rätt förutsättningar och öka framgångsgraden (Aloini, m.fl., 2020).

2.3 Drivkrafter och hinder för cirkulär ekonomi

Cirkulär ekonomi kan beskrivas som en katalysator för hållbar omställning (van Eijk, 2015) och i sökandet efter svar på dagens hållbarhetsutmaningar finns det ett allt större intresse hos företag och beslutsfattare kring cirkulär ekonomi (Geissdoerfer, Santa-Maria, Kirchherr & Pelzeter, 2022). Konceptet blir allt mer framträdande på både politiska och affärsmässiga agendor, men det krävs också stora systematiska förändringar i samhället för att den cirkulära ekonomin ska få fäste (van Eijk, 2015). Nedan presenteras drivkrafter samt hinder för cirkulär ekonomi.

2.3.1 Drivkrafter för cirkulär ekonomi

Företag pressas i allt större utsträckning till att utveckla miljömässigt hållbara lösningar. Därmed söker företagen efter alternativ som minskar de negativa aspekterna av sina organisatoriska aktiviteter och där kan cirkulär ekonomi vara en av lösningarna (de Oliveira m.fl., 2023). I följande del av rapporten presenteras drivkrafter som kan ligga bakom organisationers övergång till en cirkulär ekonomi.

Enligt en rapport från Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) kan de huvudsakliga drivkrafterna för en övergång till en cirkulär ekonomi delas in i tre kategorier: *Miljömässiga*, *socioekonomiska* samt *institutionella* (OECD, 2020).

2.3.1.1 Miljömässiga drivkrafter

I många år har det funnits en separation mellan att bekämpa klimatförändringar och övergången till en cirkulär ekonomi. Detta trots att ungefär 45 procent av utsläppen kommer från utvinning samt produktion av resurser. År 2022 skedde en förändring gällande tankesättet och förståelsen för den cirkulära ekonomin, då den stod i centrum vid Förenta nationernas klimatkonferens 2022 eller s.k. COP27. Där framgick det tydligt att det är nästintill omöjligt att nå klimatmålen, särskilt för industrin, tillverknings- och byggnadssektorn, utan en övergång till den cirkulära ekonomin (Hólmarsdóttir & Moloney, 2023).

Städer är centrala för hållbar innovation, tack vare sin kompakta koncentration av resurser, kapital och data. Denna koncentration gör dem till starka kandidater för implementering av cirkulära affärsmodeller, vilket kan underlätta en övergång till mer hållbara ekonomiska system (Ellen MacArthur Foundation, u.å). Forskning har visat att 73 procent av de städer och regioner som undersökts ser klimatförändringar som en primär drivkraft för cirkulär ekonomi. Att denna drivkraft är så central i städer kan ha att göra med det faktum att de både är sårbara för klimatförändringarnas effekter, men också står för 70 procent av växthusutsläppen. Genom att anta en cirkulär ekonomi inom fem nyckelområden (stål, plast, aluminium, cement och mat) kan en minskning av totalt 9,3 miljarder ton växthusgaser uppnås år 2050 (OECD, 2020).

2.3.1.2 Socioekonomiska drivkrafter

Både investeringar i cirkulär ekonomi samt tillgång till finansiering för initiativ som möjliggör cirkulär ekonomi är avgörande drivkrafter för omställningen (Hólmarsdóttir & Moloney, 2023). Tidigare var företagsledare skeptiska till att integrera hållbarhet som en central del av deras strategi men idag menar många att denna kritiska inställning i stort sett har försvunnit. Mycket pekar på att företagens riktning har ändrats, från att sträva efter

omedelbar vinst, till att säkerställa en hållbar framtid och långsiktig överlevnad (Eitelwein & Paquet, 2021).

Denna förändring i attityd till hållbarhet drivs bland annat av investerare, där investeringsföretag vidtar konkreta åtgärder för att integrera hållbarhetsfrågor i sina investeringskriterier (Eccles & Klimenko, 2019). Bland annat har världens största investerare, BlackRock, placerat hållbarhet i centrum för sin investeringsstrategi och aktivt avvecklat investeringar som innebär en hög hållbarhetsrisk (Eitelwein & Paquet, 2021).

Det finns även andra socioekonomiska drivkrafter, som affärstillväxt, kostnadsminskning samt förändrade kundkrav (Chauhan, Dhir, Hina, Puneet & Kraus, 2022) För det förstnämnda finns det flera studier som pekar på att företag som har en hög prestation gällande miljö-, sociala-, och hållbarhetsfrågor också har en mycket stark finansiell prestation. Bland annat presenterar Nordea Equity Research en studie som påvisar att de företagen med högst ESG-betyg finansiellt överträffade de företag med lägst ESG-betyg med 40 procent (Eccles & Klimenko, 2019). ESG-betyg kan beskrivas uttrycka ett företags finansiella instruments hållbarhetsprofil. Betyget tas fram genom en bedömning av dess exponering för hållbarhetsrisker samt företagets inverkan på samhället och miljön (Europeiska unionens råd, 2023). Det finns även studier som visar på att intäkterna från hållbara produkter växer med ungefär sex gånger så hög takt i jämförelse med andra produkter (Eitelwein & Paquet, 2021).

Gällande förändrade kundkrav finns det en växande medvetenhet bland kunder om hållbarhet (R2Pi Project, 2018). Idag kan det ses tydliga trender i köpvanor bland konsumenter, särskilt inom millenniegenerationen och yngre, där de kräver alltmer hållbara produkter och är beredda att ändra sina köpvanor för att inkludera produkter som är bättre för miljön och samhället. Denna förändring i köpbeteende driver på en marknadsförändring och skapar nya möjligheter för utvinning av konsumentvärde (Eitelwein & Paquet, 2021).

Enligt en briefing av European Environment Agency (EEA) finns det en mängd faktorer som påverkar konsumenters beteenden, där en av de är lagar och regler. Länder och unioner kan därmed genomföra åtgärder som resulterar i att val som är förenliga med cirkulär ekonomi också framstår som mer attraktiva för konsumenterna (European Enviroment Agency, 2023).

2.3.1.3 Institutionella drivkrafter

Pressen ökar från statliga myndigheter världen över för att hålla företag ansvariga för hållbart agerande. De redan existerande lagar och regelverk kan resultera i att företag straffas för bristande hållbarhetsarbete. Statliga myndigheter sätter nya marknadsstandarder med hjälp av juridik, detta kan handla om allt från policys gällande koldioxidutsläpp till hållbarhetsåtaganden över hela leveranskedjan (Eitelwein & Paquet, 2021). Dessa typer av policys kan stödja omställningen till en cirkulär ekonomi genom att bland annat underlätta övergången från linjära till cirkulära produktionsprocesser. Bland annat kan detta ske genom skatteincitament, där skatten sänks för återvunna produkter och höjs för jungfruliga råmaterial. Vidare kan statliga myndigheter införa minimikrav för användning av återanvända eller återvunna material vid produktion av varor (R2Pi Project, 2018).

I Sverige är det klimatpolitiska ramverket en central del av landets hållbarhetsarbete. Detta ramverk omfattar mål samt lagar och regler för klimatet, vilket skapar ordning och stabilitet i klimatpolitiken. Genom detta ramverk får företag långsiktiga förutsättningar att genomföra en hållbarhetsomställning (Ministry of Climate and Enterprise, 2021). Nedan presenteras ett

urval av nuvarande samt framtida lagar och regelverk som driver hållbar omställning för batteriproducenter och andra aktörer i värdekedjan.

2.3.1.4 Nuvarande lagar och regelverk

Den svenska lagstiftningen som idag omfattar batterier och deras livscykel är främst *Batteridirektivet*, *Avfallsdirektivet* samt *Producentansvaret* (Miljödepartementet, 2021). Europaparlamentets direktiv 2006/66/EG (Batteridirektivet) har som ett övergripande mål att minska de negativa miljöeffekterna av batterier. Därför avser direktivet att förbjuda försäljning av batterier som innehåller vissa nivåer av farliga ämnen samt främja insamling och återvinning av spillbatterier (European Union, 2006). Direktivet täcker främst batterier som innehåller farliga ämnen, som kvicksilver, kadmium eller bly. Då dessa batterier utgör en risk för miljön samt människors hälsa när de deponeras eller förbränns. I artikel 12 och 13 i batteridirektivet går det att finna specifika bestämmelser om återvinning, dessa fastställer en allmän ram och kräver att EU:s medlemsstater rapporterar om uppnådda återvinningsnivåer varje år (International Energy Agency, 2023). Vidare är det avfallsdirektivet (Direktiv 2008/98/EG) som reglerar end-of-life cykeln för batterier. Detta är mer övergripande och inriktar sig på avfallshantering i allmänhet, där principer som avfallshierarkin samt rättsliga ramar för att hantera alla typer av avfall introduceras (European Union, 2008).

Slutligen är det lagstiftningen kring producentansvaret som reglerar batteriernas livscykel. En producent definieras som "*den som genom att yrkesmässigt överlåta eller på annat sätt yrkesmässigt tillhandahålla ett batteri släpper ut batteriet för första gången på den svenska marknaden*" (Naturvårdsverket, 2024). Producentansvaret är en lagstiftning som finns i hela EU och har varit etablerat sedan 1990-talet. Lagstiftningen grundar sig i tanken att de som bidrar till miljöproblem också ska bidra till lösningarna (Naturvårdsverket, 2023). Gällande producentansvaret för just batterier ska en producent bland annat ta hand om sina batterier när de blir avfall, genom att se till att det finns lämpliga insamlingssystem för batterier. Producenterna ska också märka sina batterier samt informera batterianvändare. Det är alltså batteriproducenternas ansvar att se till att deras batterier tas om hand om när de blir avfall (Naturvårdsverket, 2024).

2.3.1.5 Framtida lagar och regelverk

Den globala efterfrågan på batterier ökar i snabb takt och beräknas vara 14 gånger så stor år 2030. Därmed är utvecklingen och produktionen av batterier inte bara en hållbarhetsfråga, utan också en strategisk prioritering för Europa. En betydande del av världens batteriproduktion äger rum utanför EU, där Kina exempelvis år 2021 ansvarade för 76 procent av den globala tillverkningskapaciteten mätt i gigawattimmar, medans EU endast stod för 7 procent. För EU är utvecklingen och produktionen av batterier strategiskt avgörande. Detta är inte bara för att underlätta övergången till ren energi utan också för att stärka unionens konkurrenskraft och minska beroendet av externa batteritillverkare (European Court of Auditors, 2023). Därför föreslog Europeiska kommissionen en ny batteriförordning år 2020, vilken trädde i kraft den 17 augusti 2023. Syftet med förordningen kan enligt European Chemicals Agency (u.å) sammanfattas till:

1. Stärka den inre marknaden genom att säkerställa lika villkor utifrån en gemensam uppsättning regler,
2. Främja en cirkulär ekonomi,
3. Minska miljökonsekvenserna och de sociala konsekvenserna under batteriers hela livscykel.

Förordningen innebär också en begränsning gällande användningen av ett antal metaller i batterier, så som kvicksilver, kadmium samt bly. Vidare syftar batteriförordningen till att begränsa farliga ämnen i batterier, vilket säkerställer att de ämnen som används i batterier inte innebär en oacceptabel risk för människors hälsa eller miljö (European Chemicals Agency, u.å). En annan viktig åtgärd är att hårdare återvinningskrav kommer att införas. Dessa kommer att omfatta materialnivån för bly, litium, kobolt, koppar och nickel i nya bilbatterier. Exempelvis ska kravet på användning av återvunna material för litium och kobolt mer än fördubblas mellan åren 2030 och 2035. Dessa åtgärder signalerar hur viktigt det är för EU att skydda tillgången på batterier samt de material de innehåller (Stena Recycling, u.å).

För att kunna säkerställa att batterierna framställts på ett ansvarsfullt sätt kommer Batteriförordningen också resultera i att batterier i elfordon förses med digitala produktpass (Johansson, 2023). Ett digitalt produktpass innebär att varje batteri har en unik identitet, vilken kan kopplas till olika datakällor som innehåller information om just det batteriet (GS1, u.å). Batteriförordningen förkunnar att ett batteri i ett elfordon måste utrustas med ett digitalt produktpass för att det ska få marknadsföras. Detta krav på digitala produktpass kommer också att omfatta betydligt fler produkter, enligt en förordning som EU-kommissionen föreslog i mars 2022 (Johansson, 2023). Denna förordning går under namnet Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) och syftar bland annat till att förbättra EU-produkters cirkularitet, energiprestanda samt andra miljömässiga hållbarhetsaspekter. De regelverk som föreslås i ESPR kommer omfatta alla produkter som kommer ut på EU:s marknad, oavsett tillverkningsland. Det digitala produktpasset ska ge information om produkternas miljömässiga hållbarhet och ska innehålla data som hållbarhet, återvunnet innehåll eller tillgång till reservdelar för en produkt. Därför bör produktpasset vägleda företag och kunder att ta välgrundade beslut när de investerar i produkter, eftersom de får en förbättrad syn i produkternas livscykels effekter på miljön. Vidare kommer produktpasset hjälpa offentliga myndigheter att kunna genomföra bättre kontroller (Europa Kommissionen, u.å b).

2.3.2 Hinder för cirkulär ekonomi

Trots att det är brådskande med en övergång från linjär till cirkulär ekonomi, står industrier och den privata sektorn inför stora utmaningen gällande att anta och genomföra det cirkulära. De nuvarande processerna är fortfarande starkt beroende av fossila bränslen och massproduktion, vilket gör att de är utmanande att transformera (Melati, Nikam & Nguyen, 2021).

Det finns ett flertal hinder för cirkulär ekonomi, och dessa kan delas in i en mängd olika kategorier. I rapporten “Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading” delas dem upp i interna samt externa hinder. Detta då denna klassifikation är ett av de mest utbredda tillvägagångssätten, och är mycket användbart i syfte att förstå vilka hinder som finns för övergången till cirkulär ekonomi (Chauhan m.fl., 2022).

2.3.2.1 Interna hinder

Interna hinder innebär de barriärer som uppstår inom en organisation som försöker implementera en cirkulär affärsmodell. Dessa interna hinder kan enligt rapporten "Learning from Failure and Success: The Challenges for Circular Economy Implementation in SMEs in an Emerging Economy" delas upp i kategorierna *organisatoriska*, *finansiella*, *produktegenskaper* samt *kunskap* (Cantú, Aguiñaga & Scheel, 2021).
Gällande kunskap kan det finnas en avsaknad till den information som behövs för att kunna fatta välgrundade beslut. Detta kan bland annat innebära att inte ha tillgång till data eller inte känna till vilka leverantörer som har en låg miljöpåverkan (Cantú m.fl., 2021). Även en brist i kunskap gällande konceptet cirkulär ekonomi kan ses som en barriär, då detta hindrar en omställning (Ritzén & Ölundh Sandström, 2017). Denna kunskapslucka finns också i företags-ledningen, där chefer med en bristande kunskap om cirkulär ekonomi kännetecknas av ett linjärt tankesätt och en brist på systemtänkande. Detta leder in på de organisatoriska barriärerna, då kunskapsluckan hos ledningen kan påverka företagets kultur. Kulturen i ett företag avser de gemensamma värderingarna, målen samt dominerande attityder inom ett företag. Gällande detta har det kunnat identifierats barriärer i form av en uppfattning av hållbarhet som en kostnad istället för en investering. Övriga organisatoriska hinder är bland annat det faktum att många företag har en föråldrad byråkrati som hämmar innovation och flexibilitet (Cantú m.fl., 2021). Dessa statiska och konservativa affärskulturer hindrar transformation och begränsar organisationers cirkulära engagemang. Detta bristande engagemang och en ovilja att ta risker kan resultera i att en cirkulär omställning blir mycket utmanande, trots att det kan finnas ett behov av en sådan förändring (R2Pi Project, 2018). Andra barriärer kan vara motstånd från, eller konflikter mellan nyckelintressenter. Ett företags strategi kan också ses som ett organisatoriskt hinder, där det kan finnas en bristande anpassning till kundernas behov eller de regionala förhållandena. Även en avsaknad av långsiktiga strategiska mål, samt framförallt en brist på integration av cirkulär ekonomi i företaget är tydliga hinder (Cantú m.fl., 2021).

Finansiella hinder kan vara ekonomisk osäkerhet, där det finns en oro gällande nya innovationer och att implementera dessa. Andra exempel är höga initiala investeringar samt aktieägares kortsiktiga fokus (Geissdoerfer m.fl., 2022). Det förstnämnda kan ses som en barriär då en organisatorisk transformation är kostsam. Utöver de resurser och den initiala investeringen som behövs för innovationsarbete, finns det ytterligare faktorer som bidrar till den höga kostnaden för att införa cirkulära modeller. Bland dessa faktorer finns de höga kostnaderna för att återvinna eller återbrukade produkter och råmaterial, vilka ofta är högre än kostnaderna för nya, oanvända resurser. Även det rådande skattesystemet, som vanligtvis gynnar linjära modeller framför cirkulära, spelar en roll. Till exempel innebär moms på återbrukade produkter att man betalar för samma vara två gånger. Slutligen kan finansiella hinder vara svårigheter att uppnå stordriftsfördelar inom marknaden för återvinning/återbruk för att producera gröna produkter. (R2Pi Project, 2018)

Avslutningsvis, gällande hinder kopplade till produktegenskaper kan det handla om komplexitet i material samt begränsningar i design relaterade till substitution av material. Vissa material kan också begränsas av sina egna egenskaper, vilket kan göra det svårt att byta ut dem utan att påverka produktens kvalitet, prestanda eller estetik. Ytterligare ett hinder är att dagens produkter inte designas i enlighet med principerna för cirkulär ekonomi, som exempelvis enkelhet i underhåll och möjlighet till demontering (Cantú m.fl., 2021).

2.3.2.2 Externa hinder

Externa hinder innebär svårigheter vid implementering av cirkulära affärsmodeller som uppstår utanför företaget. Dessa hinder kan delas in i *konsumentbeteende*, *lagstiftning*, *ekonomiska hinder* samt *hinder i leverantörskedjan* (Chauhan m.fl., 2022).

Ett hinder som kan uppkomma utifrån konsumenters beteende är det faktum att pris, snarare än kvalitet, är det främsta kriterier som konsumenter baserar sitt köpbeslut på (Chauhan m.fl., 2022). Detta kan gå emot den cirkulära ekonomin, som förväntar sig att konsumenterna är dynamiska i sitt beteende att återanvända produkten och därmed förändra sitt slit-och-släng beteende (Geissdoerfer m.fl., 2022). Men produkter med en längre förväntad livslängd kan innebära att de kräver komponenter och produktdesign som har en hög kvalitet, vilket ökar priset och minskar sannolikheten att konsumenterna köper den typen av produkter (Nishijima, 2020). Därmed innebär en övergång till cirkulär ekonomi att konsumenter behöver förändra sina beteenden och vanor. Vilket blir ytterligare en barriär, då forskning visar på att konsumenters åsikter är svåra att förutse eftersom de påverkas av yttre faktorer och sociala normer (Chauhan m.fl., 2022). Vidare finns det en syn bland konsumenterna att återvunna och renoverade produkter är opålitliga, vilket gör dem mindre benägna att köpa den typen av produkter då dem upplever att sådana produkter har en försämrad kvalitet (Geissdoerfer m.fl., 2022).

De hinder som existerar gällande lagstiftning samt ekonomi relaterar mycket till varandra. Det finns en avsaknad av konsekventa politiska beslut som resulterar i att t ex återtillverkade eller biobaserade produkter får svårt att konkurrera på marknaden med traditionella alternativ. Forskning visar på att företag vill återanvända avfall som resurs, men lagar hindrar dem från att göra detta. Bland annat specificerar inte EU:s nuvarande avfallslagstiftning en tydlig skillnad mellan avfall och biprodukter. Något som är ett stort hinder i lagstiftningen då det gör det svårt att transportera avfall över landsgränser. Detta visar på att det idag finns ett starkare stöd för en traditionell linjär ekonomi istället för en cirkulär ekonomi (Chauhan m.fl., 2022). Lagstiftningen resulterar i att företag som använder sig av linjära modeller får fler fördelar än cirkulära företag, bland annat på grund av nuvarande skattepolitik eller ramverk. Regelverk kring avfall blir även det en barriär, då lobbying eller otillåtna affärsuppgörelser gällande avfall skapar inträdesbarriärer och en avfallsmarknad som domineras av några få aktörer. Detta förhindrar tillgången till avfall i kvalitet samt kvantitet (Cantú m.fl., 2021).

Slutligen finns det hinder för en omställning till cirkulär ekonomi som uppkommer från leverantörskedjan. En verksamhet som använder sig av cirkulär ekonomi behöver ofta använda sig av flera intressenter och bristen av lämpliga partnerns samt stöd inom nätverket kan då utgöra en barriär (Ahola m.fl., 2019). I många branscher är leverantörskedjan begränsad när det gäller hållbara alternativ för material som kan återcirkuleras genom återtillverkning och återanvändning för en annan produkt (Melati m.fl., 2021).

2.4 Energilagring

Då studien syftar till att undersöka hur digital cellulosa ska kunna bli en framgångsrik lösning inom energilagring är det viktigt att få en överblick över hur marknaden ser ut.

Det finns olika typer av lagringstekniker, dessa brukar delas in i kategorierna; mekaniska, elektriska, elektrokemiska och kemiska. Pumpvattenkraft är ett exempel på mekanisk lagringsteknik (Nilsson, 2016). Det är den mest mogna och etablerade lagringstekniken för storskaliga applikationer och i Sverige finns två anläggningar för denna typ av energilagring (Nordling, Englund, Hambjer & Mannberg 2015).

Batterier är en typ av energilagringsteknik som baseras på elektrokemi. Inom denna kategori finns olika batteriteknologier som har olika egenskaper när det kommer till bland annat kapacitet, livslängd, användningstid och energidensitet (Nilsson, 2016). De vanligast förekommande batteriteknologier är natriumsvavelbatterier (NaSB), litiumjonbatterier (LIB), blysyra-betterier (Pb-A) och redox-flödesbatterier (RFB). De skiljer sig i sina egenskaper och är därför lämpade för olika användningsområden (Nordling m.fl., 2015).

2.4.1 Energilagring inom energisektorn

Energilagring kan används för att bevara balansen i elsystemet och matcha elproduktion och elbehov. När elproduktionen är väderberoende kan den inte planeras, därmed uppstår ett behov av energilagring (Nordling m.fl., 2015). Olika typer av energilagringstekniker kan användas i anslutning till kraftverk som är väderberoende för att kunna lagra överskottsenergi och sälja den när utbudet är lågt. På så sätt kan elproduktionen göras mer förutsägbar. Detta kan appliceras på såväl stora vindkraft- eller solkraftparker som privata hushåll med solpaneler (Svenningsson & Ninkovic, 2023).

Historiskt sett har Sveriges energiförsörjning bestått till största del av vattenkraft, kärnkraft och kraftvärme. I och med att dessa är planerabara energikällor, samt att Sverige har utbredd tillgång av passiv energilagring i de konventionella vattenkraftsmagasinen har behovet av storskalig energilagring varit låg (Rensfeldt, 2017). I dagsläget används energilager främst av elnätsföretag som reservkraft (Nordling m.fl., 2015).

Sverige har ett energipolitiskt klimatmål om 100 procent förnybart elsystem år 2040 (Energimyndigheten, 2018). Detta i samband med den ökade graden digitalisering, elektrifiering och automatisering, bedöms påverka efterfrågan på el med en ökning om 40–60 procent de kommande 20 åren (IVA, 2020). I Sverige finns potential för en omfattande utbyggnad av vattenkraft, men detta hindras av regleringar som finns för att skydda landets vattendrag (Svenningsson & Ninkovic, 2023). För att uppnå målet och möta efterfrågan krävs fortsatt utbyggnad av vindkraft och av elnäten då en stor del av elproduktionen som finns idag måste ersättas med ny (Energimyndigheten, 2019). Marknaden för energilagring förväntas att öka kraftigt då det kommer att vara nödvändigt för att kunna upprätthålla leveranssäkerhet och ett robust elsystem (Svenningsson & Ninovic, 2023).

Pumpvattenkraft är en lämplig teknik för detta användningsområde då det passar för storskaliga applikationer. Tekniken är mogen och etablerad, den har god lagringskapacitet och lång livslängd (Nordling m.fl., 2015). Det finns dock få plaster kvar som lämpar sig för en sådan anläggning då det kräver specifika geografiska förutsättningar så som vattentillgång, hög fallhöjd och litet horisontellt avstånd (Rensfeldt, 2017). Tillämpning av denna teknik hade således inneburit att överväga mer okonventionell design vilket inte är lika beprövat

(Nordling m.fl., 2015). Detta innebär att det finns stor potential för batteri-baserad energilagring inom detta användningsområde (Svenningsson & Ninkovic, 2023).

Samtliga batteritekniker kan användas för storskalig energilagring men beroende på hur länge energin ska lagras, hur snabbt batteriet ska kunna laddas ur och hur länge batteriet kommer att stå oanvänt innan det sätts i bruk, kan olika batteritekniker vara mer lämpade än andra (Svenningsson & Ninkovic, 2023). Pb-A är vanligt förekommande då det är en väletablerad teknik och har därmed låga initiala kostnader (Nilsson, 2016). NaSB är likt Pb-A en mogen teknik men har något bättre egenskaper i from av längre livslängd och högre energidensitet (Svenningsson & Ninkovic, 2023). Båda batteriteknikerna medför vissa säkerhetsrisker exempelvis giftiga material och krav på temperaturer upp till 300 grader (Nilsson, 2016, Svenningsson & Ninkovic, 2023).

LIB har genomgått en stor utveckling den senaste åren och det finns en rad olika litiumföreningar, exempelvis Litium-järnfosfat, litium-Manganoxid och litium-koboltoxid. Alla med olika egenskaper och kostnad. Generellt sett har LIB både bäst energidensitet, urladdningshastighet och urladdningsdjup (Nordling m.fl., 2015).
Redox-flödesbatterier (RFB) lagrar energi i två flytande elektrolyter vilket innebär att lagringskapaciteten enkelt går att skala~~s~~ upp genom att öka volymen elektrolyt och antalet battericeller. Livslängden på denna batteriteknologi är ungefär 10-15 år men förväntas att inom en snar framtid bli upp mot 25 år. RFB har god lagringskapacitet, och lång användningstid men låg energidensitet då kapaciteten är direkt beroende av batteriets storlek (Svenningsson & Ninkovic, 2023).

2.4.2 Energilagring inom transportsektorn

Ett vanligt användningsområde för energilager är i transportsektorn, i synnerhet personbilar, mindre lastbilar och bussar. Ungefär en tredje del av Sveriges totala växthusgasutsläpp kommer från transportsektorn, där fossila bränslen ligger till grund för problemet (Naturskyddsföreningen, 2021). Batterier är en central del i omställningen till en fossil oberoende fordonsflotta. Detta förväntas påverka efterfrågan på batterier med en tillväxttakt på cirka 25 procent per år, fram till 2030 (Svenska kraftnät, 2022).

För tillämpning av energilager i personbilar är det kritiskt att batteriet har hög energidensitet, det vill säga hur mycket Wh per kilo batteri (Wh/kg), och hög kapacitet. När det gäller bussar finns inte samma behov av hög energidensitet per laddning. Detta för att bussar går enligt planerade rutter och lätt kan laddas längs dessa eller på ändhållplatser (Karlsson & Marcusson, 2020). Elektrifiering av större lastbilar är i dagsläget inte försvarbart då vikten för ett batteri med tillräcklig lagringskapacitet skulle vara så hög att det lämnar lite utrymme för nyttolast. Mindre lastbilar som kör ”last mile” leveranser kan elektrifieras då de kör kortare sträckor (Liljeblad, 2016). Dessa kan laddas i anslutning till lossning och lastning samt över natten i sin hemmadepå (Obel, Sahlén & Xylia, 2020).

LIB är den vanligaste batteritypen i dagens fordon, vilket till stor del beror på att LIB har hög energidensitet. Den kemiska sammansättningen som visat på bäst prestanda är litium-nikelmangankobolt. Men på senare år har det gjorts mer satsningar på litium-järnfosfat batterier då dessa har en lägre kostnad och har länge klimatpåverkan (Svenska kraftnät, 2022). I och med satsningarna som gjorts på LIB-teknikerna, förväntas den bli den mest konkurrenskraftiga batteritekniken för elbilar i framtiden (Resvik & Ågren, 2016).

Alternativa lösningar så som power-to-gas är också aktuella. Power-to-gas är en process där koldioxid från industriella processer kombineras med vätgas för att framställa metangas. Den producerade gasen kan användas som substitut för fossila bränslen (Resvik & Ågren, 2016).

2.4.3 Utmaningar

Det föreligger emellertid en del utmaningar med användandet av energilager både när det kommer till stationär energilagring inom energisektorn och mobil energilagring inom transportsektorn. Det finns rättsliga barriärer för energilagring i elnätet. Elnätsföretag får, enligt svenska regelverk, äga energilager men dessa får endast användas i nödfall, exempelvis vid elavbrott, eller för att täcka nätförluster. Detta gör att det i dagsläget inte finns någon affär i energilager för elnätsföretagen (Nordling m.fl., 2015).

Med elektrifiering av fordonsflottan kommer ett ökat behov av nya infrastrukturinvesteringar. Dels kommer det att behövas mer ladd-infrastruktur, men det kommer också att innebära en ökad belastning på elsystemet (Obel m.fl., 2020). Vidare finns risk att tillgången på metaller för batteriproduktion blir begränsad, vilket kommer att ha negativa effekter på kostnader för omställningen. I omställningen är det därför viktigt att lägga fokus på resurseffektivitet och cirkulär ekonomi (IVA, 2020).

2.5 Återvinning av batterier

Som tidigare nämnt så kommer elektronikanvändandet fortsätta öka (RISE, u.å a) och därmed kommer även konsumtionen av batterier öka. I batterier idag används flertalet kritiska metaller så som kobolt, litium och koppar. Det innebär att de innehåller material som endast finns en begränsad resurs av och som har en betydande roll för ekonomin (Joint Research Centre, 2014). I och med den ökade efterfrågan på el och därmed batterier kommer det inte vara hållbart att bibehålla samma takt av utvinning. Det är därför viktigt att leta efter lösningar som underlättar för producenterna för att de hållbart ska kunna fortsätta leverera batteri-baserad energilagring i önskad takt (Curtis, Smith, Buchanan & Heath, 2021). Något som har blivit stort på senare år i klimatrörelsen är cirkularitet och särskilt återvinning. Det finns olika incitament som gör att producenterna återvinner sina produkter. Det kan bland annat vara lagstiftning kring producentansvar, ekonomiska-, sociala- eller miljömässiga aspekter. För att det ska vara möjligt att återvinna batterierna krävs dock särskilda förutsättningar.

2.5.1 Återvinningsprocessen

Ungefär 3 000 ton hushålls-batterier samlas in varje år genom holkar som finns utplacerade i hela Sverige (Kunskapsrummet, 2023). Det är El-kretsen som ansvarar för dessa holkar och när de töms så skickas de till El-kretsens sorteringsanläggningar. Där sorteras de olika typerna av batterier för olika slutdestinationer. I första steget sorteras knappcellsbatterierna ut via skakbord då det fortfarande finns en chans att man får äldre modeller av dessa batterier som innehåller kvicksilver (El-kretsen, u.å). De klassas då som farligt avfall och ska således transporteras till återvinningsanläggning på korrekt sätt enligt regelverk. De flesta sorterna, bland annat alkaliska-, litiumjon- och knappcellsbatterier, skickas till återvinningscentraler i Europa. I Sverige stannar endast blybatterierna som skickas till Bolidens återvinningscentral i Landskrona (Kunskapsrummet, 2022).

Metoden för återvinningen av batterier skiljer sig mellan de olika sorterna. Dock börjar de flesta processer med att batteriet krossas så att metallhöljet kan skiljas från den svarta massan som finns inuti batteriet. Metallhöljet skickas då till återvinningsanläggning för metall. Den svarta massan innehåller mer sällsynta, dyrbara och ibland, farliga material som man också försöker ta vara på i största mån möjligt. Olika metallurgiska, till exempel hydrometallurgiska eller termometallurgiska, processer tillämpas då för att separera de viktiga materialen för att sedan kunna skicka de till nästa steg i processen (Northvolt, u.å). Vissa metaller säljs och skickas direkt till producenter då de kan användas direkt igen medan andra säljs till smältverk som har egna processer för att utvinna de ämnen som går att återanvända. Farliga eller oanvändbara material skickas istället till deponi (Kunskapsrummet, 2022).

Smältning är en process som används för att erhålla metaller. Det handlar om att hetta upp metallens malm över dess smältpunkt och med hjälp av ett oxiderande ämne, som luft, eller ett reducerande medel, som koks, ta fram metall. Det finns en variation av oxiderande och reducerande medel och ett alternativ är att använda biobaserat material, som kol (Karpenja, Ahniyaz, Edberg & Granberg, 2022). Om biobaserat avfall används i processen räknas det som att kolet har materialåtervunnits och smältning kan därför klassas som en återvinningsprocess för biobaserat material.

2.5.2 Förutsättningar för återvinning och framtida potential

80 procent av de batterier som samlas in för återvinning är alkaliska, alltså engångsbatterier som inte är laddningsbara. I återvinningsprocessen av dessa batterier separeras metallhöljet och en stor del av det zink som också finns i batteriet. Dock forskas det fortfarande på hur man ska göra för att kunna återvinna resten av batteriet också. Idag är det bara 37 procent av katoden och 16 procent av anoden som återvinns (El-kretsen, u.å). Det finns direktiv kring hur den stora batterikonsumtionen ska hanteras och mål för återvinning. Det kan till exempel handla om hur stor procent-andel av ett batteri som måste återvinnas. Denna siffra är dock olika för olika sorters batterier (Europaparlamentet, 2006). För att det ska bli enklare för producenterna att återvinna på den nivå som krävs enligt lagstiftning behöver batterierna möta en viss standard. De behöver innehålla höga koncentrationer av samma ämnen för att det ska vara värt att utvinna materialen. För att ett material ska kunna användas i en ny produkt efter återvinningsprocessen krävs det att råvaran är ren och att den inte innehåller för mycket blandat material. Det behöver även vara lätt att separera de olika komponenterna i batteriet utan att behöva använda extraordinära metoder (Ljunggren Söderman & Ingemarsdotter, 2014).

Enligt en rapport utgiven av Svenska Miljöinstitutet (Junestedt, Emilsson, Romson, Wu, 2023) involverar återvinningsprocessen idag många olika aktörer och många gånger återvinns inte batterier till den potential de hade kunnat för att det helt enkelt inte är ekonomiskt försvarbart. Rapporten diskuterar vad detta kan bero på och tar upp flera aspekter. Bland annat nämns att detta kan bero på svårigheter i att demontera och separera materialen i processen, att det inte finns en tillräckligt stor marknad för det återvunna materialet eller att det inte finns tillräckligt hög spårbarhet av information om batterierna. Idag återvinns framför allt de lättseparerade basmetallerna som järn- och stålskrot. Dock är det värt att fundera över om det är i de kritiska materialen där den största vinsten ligger i återvinningsprocessen. Vad krävs egentligen för att kunna återvinna mer av batteriet? Handlar det om en annan design, andra material eller andra återvinningsprocesser? Vad händer om batterierna inte längre innehåller de metallerna som återvinns i dagens återvinningssystem? Försvinner incitamenten

till att återvinna? Detta är frågor som inte har något definitivt svar utan som behövs utforskas mer för att hitta tydligare underlag för producenterna.

2.6 Digital cellulosa

Cellulosa är den mest rikligt förekommande biopolymeren i universum och generellt består växtbiomassa av 40-45 vikt-procent av cellulosainnehåll. Cellulosa har kommit att bli en av de viktigaste källorna till förnybara material och har tillämpningar inom en rad områden (Hon m.fl., 2017). Det är cellulosans riklighet, anpassningsbarhet, hållbarhet och pris som har väckt forskarnas intresse och ett flertal studier har genomförts för att undersöka hur cellulosamaterial kan användas för att skapa olika typer av komponenter till energilagringslösningar såsom batterier. Ett antal forskare påstår att cellulosa kommer att spela en nyckelroll i utvecklingen av framtidens hållbara energilagringssystem (Beaucamp, Collins, Culebras, Muddasar, 2022).

Cellulosa produceras genom växternas fotosyntes och det är cellulosafibrer som finns i växtcellväggen som utgör den främsta källan till cellulosa (Henriksson, Li, Lindström, Moser, Zhao, 2017). Materialet består av ringformade glukosmolekyler som är ordnade i en platt bandliknande struktur (Fisher m.fl., 2021). Det är cellulosans riklighet på hydroxylgrupper som möjliggör den goda möjligheten till kemisk modifiering och justering av egenskaper hos materialet. Cellulosan kan behandlas på en mängd olika sätt för att ge de egenskaper som krävs i olika applikationer (Kondo, 2005).

Cellulosa kan användas som elektrodmaterial på olika sätt i batterier. För att utnyttja oförändrad cellulosa som elektrodmaterial krävs en ledande beläggning eftersom naturlig cellulosa i sig själv är en isolator. Den elektriska ledningsförmågan hos cellulosa kan skapas genom att antingen belägga den med en elektroledande polymer eller genom att inkorporera kolnanorör eller kolbaserade fibrer på dess yta (Fan, Li, Li, m.fl., 2020). Utöver dessa metoder för att skapa ledningsförmåga hos cellulosa har forskare visat hur cellulosa kan användas direkt som elektrod i elektrokemiska enheter efter att ha genomgått ett antal behandlingssteg (Fisher m.fl., 2021). Under det senaste decenniet har cellulosan studerats och utnyttjats i bland annat litium-jonbatterier, natrium-jonbatterier och superkondensatorer samt som membran och separatorer (Beaucamp m.fl., 2022).

2.6.1 Cellulosa i litiumjonbatterier (LIBs)

Den höga energitätheten och den långa livslängden har gjort att branschen för bärbara batterier domineras av litiumjonbatterier (LIBs). Den begränsade tillgången på naturligt litium och de begränsade återvinningsmöjligheterna har fått litiumjonbatteriernas tillväxt på marknaden att ifrågasättas. På grund av detta och det växande behovet av hållbara alternativ har forskningen riktats mot kolbaserade anoder från förnybara råvaror, lockande på grund av deras låga kostnader, långa livslängd och säkerhetsfördelar (Deng, 2015). Ett brett spektrum av elektrodmaterial som framställts från cellulosa har visat sig vara användbara i LIBs. Genom att använda cellulosa som basmaterial för elektroder har forskare lyckats skapa anodmaterial som är hållbara, mekaniskt stabila och kemiskt resistenta. Dessa cellulosa-baserade elektroder visar hög ledningsförmåga och porositet, vilket leder till högpresterande litiumjonbatterier (Choi m.fl., 2009).

2.6.2 Cellulosa i natrium-jon batterier (SIBs)

Natriumjonbatterier (SIBs) växer i popularitet som ett möjligt alternativ till litiumjonbatterier för energilagring på grund av den goda tillgången på natrium och potentialen att minska beroendet av litiumresurser (Machnikowski, Kierzek, 2018). Hårt kol har visat sig vara lovande för SIBs, med dess förmåga att erbjuda hög specifik kapacitet och stabil prestanda över flera cykler. Hårt kol kan tillverkas av lignin som är en befintlig biprodukt vid produktion av cellulosafibrer (Hu, Yao, Wan, Henderson, Zhang, 2017). Dessutom har andra cellulosa-baserade material, som cellulosaavledda nanostrukturer, fått ökad uppmärksamhet för sin potential att fungera som elektroder i SIBs (Luo m.fl., 2013).

Cellulosabaserade material erbjuder flera fördelar för SIB-elektroder. För det första är de hållbara och förnybara, vilket gör dem till ett miljövänligt alternativ. För det andra är de kostnadseffektiva jämfört med vissa andra material. Dessutom har cellulosa-avledda material visat sig ha god elektrisk ledningsförmåga och porositet, vilket är fördelaktigt för energilagringsapplikationer (Beaucamp m.fl., 2022). Forskningen kring SIBs och cellulosa-avledda material är fortfarande i ett tidigt skede, men det finns en ökande optimism kring deras potential för att bidra till att lösa energilagringsutmaningar i framtiden (Goikolea m.fl., 2020).

2.6.3 Superkondensatorer

Efterfrågan på lätta, flexibla och hållbara superkondensatorer är för närvarande väldigt hög. Forskningsområdet kring hållbara superkondensatorer baserade på cellulosa växer snabbt och det görs stora framsteg. Superkondensatorelektroder innehållande cellulosa har visat sig ha god mekanisk flexibilitet och god elektrokemiska prestanda. Än så länge finns således tekniska, men också ekonomiska, utmaningar med att skapa storskalig produktion av superkondensatorer med cellulosabaserade elektroder. Det ökande behovet av energilagring förväntas dock driva utvecklingen av cellulosa i superkondensatorer framåt. (Wang, Tammela, Strømme, Nyholm, 2017).

2.6.4 Cellulosa som separator och membran

Utöver att behandla cellulosa för att skapa elektrolyter har forskare och företag även skapat cellulosabaserade separatorer och membran. Separatorer används i kondensatorer och batterier för att separera den positiva och negativa elektroden elektriskt. De konventionella separatormaterialen betraktas som farliga och dyra på grund av råmaterialkostnaderna och de metoder som används för att tillverka dem (Chen m.fl., 2023). Cellulosabaserade batteriseparatorer har fått uppmärksamhet som alternativ tack vare sitt pris, tillgänglighet, icke-toxicitet och termiska stabilitet. Dessutom har forskningsprojekt där cellulosabaserade separatorer använts visat vissa tekniska förbättringar jämfört med de konventionella separatorerna (Beaucamp m.fl., 2022).

Membran har en liknande funktion som separatorer då de fungerar som en fysisk barriär mellan olika elektrolyter eller elektrolytlösningar i batterier och flödesbatterier. Flödesbatterier (RFBs) har identifierats som ett ekonomiskt genomförbart alternativ för långvarig och storskalig energilagring. Utvecklingen av välfungerande flödesbatterier är pågående och flera olika komponenter har i forskningsprojekt ersatts med cellulosabaserade alternativ (Fetyan, Bamgbopa, Vagin, Adelodun, 2022). Den komponent som beprövats mest är membranet mellan de två vätskorna i flödesbatterier som endast joner ska kunna ta sig

igenom. Dagens konventionella membran för flödesbatterier är under tillverkning beroende av skadliga kemikalier, som går under samlingsnamnet PFAS. Med EU-beslut om att fasa ut denna typ av kemikalier under kommande år är efterfrågan på PFAS-fria membran hög. Många lyckade projekt har genomförts inom området och väl fungerande cellulosabaserade membran har utvecklats (Ahmadi, 2023).

2.7 Sammanfattning av teoretiskt ramverk

Teoriavsnittet börjar med att presentera cirkulär ekonomi och cirkulära affärsmodeller, vad detta är samt några av de olika verktyg och ramverk som används. Den cirkulära ekonomiska modellen grundas i öka effektiviteten av resursanvändningen och behålla värdet på produkter, komponenter och material. Både hur produkterna designas men även hur affärsmodellen ser ut har påverkan på produktens miljöpåverkan. Genom att utgå från modeller såsom *Circular Business Model Canvas* eller R-ramverkets olika cirkulära principer kan slösaktigheten och effektiviteten i resursanvändningen minska samtidigt som affärerna är lönsamma.

Cirkulär ekonomi är en central komponent för hållbar omställning och får allt mer uppmärksamhet inom både politik och näringsliv. Drivkrafterna till en cirkulär omställning är främst miljömässiga, socioekonomiska och institutionella, med exempel som ändrade investeringsattityder och lagstiftning för hållbara affärsmodeller. Trots dessa drivkrafter stöter den cirkulära ekonomin på hinder som kunskapsbrist, ekonomiska utmaningar och en inkonsekvent lagstiftning.

Energilagring kan används för att bevara balansen i elsystemet och matcha elproduktion och elbehov. Det pågår en omställning till mer förnybar energi vilket gör att behovet för energilagring ökar. På grund av bristande förutsättningar för pumpvattenkraft har batterier blivit ett aktuellt alternativ. Det finns olika typer av batteritekniker med olika egenskaper vilka gör de lämpliga för olika applikationsområden. När det kommer till storskalig energilagring kan samtliga batterier användas. Ett annat vanligt förekommande användningsområde för energilagring är i elektrifierade fordon. För denna tillämpning är den vanligaste batteritypen LIB då det är den enda batteritekniken idag som uppnår en önskad grad av energitäthet.

Återvinningsprocessen är idag en komplicerad process där olika typer av batterier kräver olika åtgärder. Sverige har idag ett system som bygger på att elektronik samlas in och skickas till anläggningar där den sorteras och demonteras. Idag skickas mindre batteri söderut ut i Europa där de kan återvinnas med hjälp av varierande metallurgiska processer. För att återvinning ska vara framgångsrikt krävs vissa förutsättningar. En viktig aspekt är att kunna förmedla rätt information till aktörerna längs hela värdekedjan. Det handlar då till exempel om huruvida produkten innehåller farligt avfall och hur produkten bör hanteras. Det finns idag inte tillräckligt mycket underlag för att säga kunna säga hur potentialen hos återvinningsprocessen för batterier med digital cellulosa kommer att se ut.

Cellulosa är den mest rikligt förekommande biopolymeren i universum och dess riklighet, anpassningsbarhet, hållbarhet och pris har väckt forskarnas intresse. Ett flertal studier har genomförts för att undersöka hur cellulosamaterial kan användas för att skapa olika typer av komponenter till batterier. Under det senaste decenniet har cellulosan studerats och utnyttjats i bland annat litium-jonbatterier, natrium-jonbatterier och superkondensatorer samt som membran och separatorer.

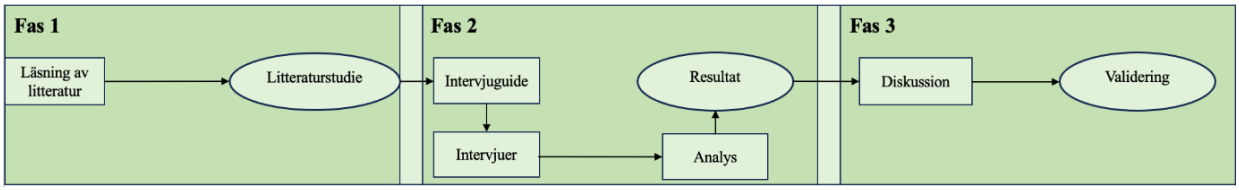
3. Metodologi

Studien är explorativ med ett abduktivt angreppssätt. Enligt Saunders (2016) är syftet med en explorativ studie att öka förståelsen om ett problem som det i nuläget är begränsat med kunskap kring. I dagsläget är utvecklingen av digital cellulosa i ett tidigt skede vilket innebär att det finns brist på kunnande inom ämnet. Studien är därför uppbyggd kring breda frågeställningar där målet var att öka färdigheterna kring ämnet, vilket är generella egenskaper för explorativa studier (Kliniska Studier Sverige, 2023). För att frågeställningarna skulle kunna besvaras har som tidigare nämnts ett abduktivt synsätt använts, vilket har som avsikt att hjälpa forskare att på ett logiskt och metodiskt sätt göra nya upptäckter med innovativ karaktär (Reichertz, 2007). Abduktion bygger på det pragmatiska perspektivet och kan sägas utgå från ett "pussel" som existerande teori inte ensamt kan redogöra för. Målet är att försöka identifiera de förhållanden som kan hjälpa till att göra pusslet mindre förbryllande (Bell, Bryman & Harley, 2019). I den här studien kan digital cellulosa liknas med pusslet och målsättningen var att urskilja de förhållanden som förekommer i dess roll i den cirkulära ekonomin. Nyckeln till ett abduktivt arbetssätt är att skifta mellan teorier i befintlig litteratur och empiriska material, samt se ett samband däremellan (Blomkvist & Hallin, 2021).

Ett abduktivt synsätt gör det möjligt att använda en kvalitativ metod såväl som en kvantitativ metod (Bell m.fl, 2019). I den här studien är datainsamlingen av kvalitativ karaktär. Ändamålet med den kvalitativa forskningen var att nå en insikt om fenomenet digital cellulosa och hur upptäckten påverkar situationer i den sociala verkligheten (Dalen, 2015). Eftersom människor inom samma bransch kan uppfatta användningen av digital cellulosa skiftande har det varit viktigt att vara medveten om att det inte finns en absolut och objektiv sanning, utan verkligheten kan uppfattas olika (Lundén, 2020). Vid användandet av en kvalitativ metod är det ord som analyseras för att få en kontextuell förståelse med närhet till problemet. Ett vanligt angreppssätt är att använda sig av semistrukturerade intervjuer i kombination med litteraturstudie (Blomqvist & Hallin, 2021), vilket är vad som har använts även i det här fallet. När datainsamlingen hade genomförts inleddes en valideringsprocess med två olika angreppssätt.

Vidare är studien baserad på en sammansättning av primär- och sekundärkällor. Primärkällor är det empiriska material som ligger nära studiens syfte och utgörs ofta av intervjuer med företrädare och experter från området som studeras (Blomqvist & Hallin, 2021). Primärkällor behöver analyseras (Bell m.fl, 2019), vilket utfördes av oss i projektgruppen. I studien har intervjuer använts som en primärkälla och ägde rum efter insamlingen av sekundärkällor. Sekundärkällor är data som befinner sig längre ifrån studiens syfte och består av tidigare forskning (Blomqvist & Hallin, 2021). Sekundärkällorna är grunden till litteraturstudien och har haft avsikten att hjälpa till att förstå grunderna, samt kunna vägleda arbetet med intervjuguiden. I studien har sekundärkällorna hämtats från databaser samt från RISE, vilket är det forskningsinstitut projektgruppen har samarbetat med. Sekundärkällorna har bestått av vetenskapliga artiklar, rapporter, myndigheter och företags hemsidor.

Avsnittet har hittills berört studiens metodologi, det vill säga en teoretisk bakgrund som beskriver den övergripande strategin samt tillvägagångssättet. Resterande delar av avsnittet kommer istället att gå in på de specifika metoder som har använts för att samla in data och uppnå syftet med studien. En överblick över metoderna presenteras i Figur 3, där de är indelade i tre olika faser. Metoderna som skildras är en praktisk tillämpning av metodologin.



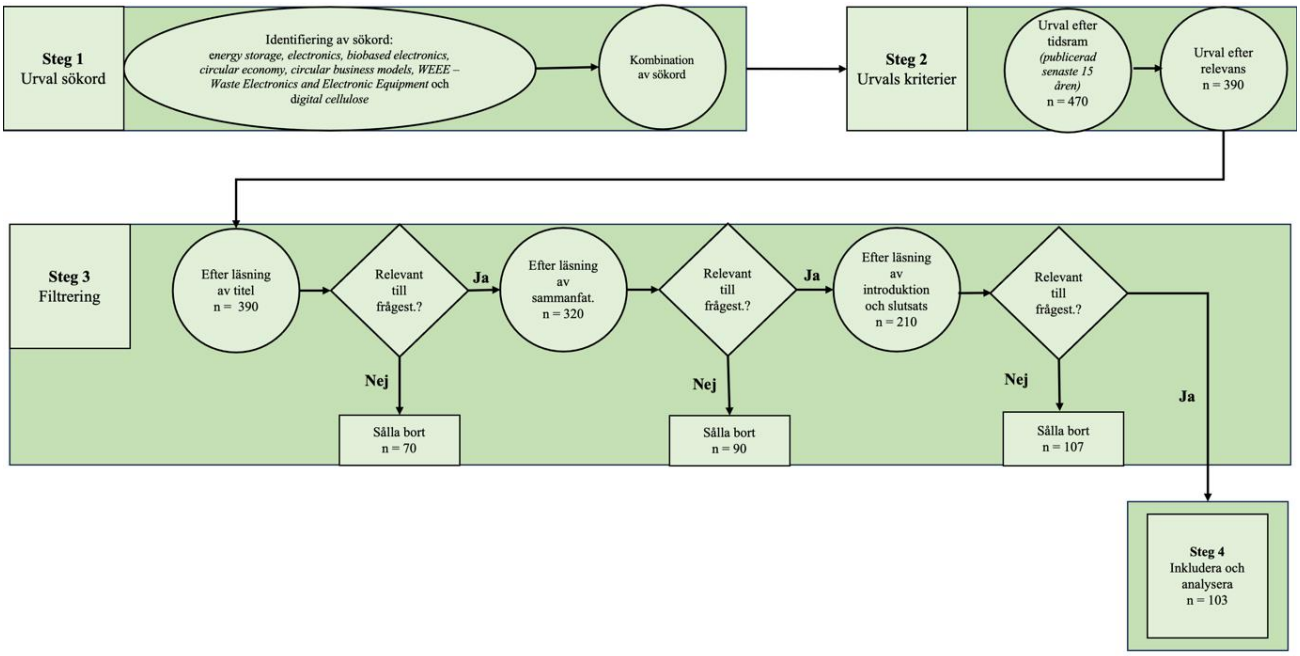
Figur 3: Studiens faser

3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie ägde rum i den inledande fasen av arbetet och presenteras i det teoretiska ramverket för att ge en bakgrund till läsaren samt fungera som utgångspunkt för intervjuguiden. För att uppfylla syftet med litteraturstudien, det vill säga att samla existerande kunskap, har en överläsning har ägt rum. Överläsning innebär att uppsatsförfattarna läser in sig brett på området och därefter väljer ut källor de anser sig ha nytta av (Blomkvist & Hallin, 2021). I den inledande fasen av litteraturstudien identifierades sex stycken huvudkategorier, C*irkulär ekonomi, Cirkulära affärsmodeller, Energilagring, Återvinning av batterier, Digital Cellulosa* samt L*agar, regler och miljöpolitik* vilka datainsamlingen har utgått från. Rubrikerna valdes utefter de framtagna frågeställningarna, den tidiga inläsningen av litteratur samt i samråd med RISE. För att hitta relevant information inom de olika kategorierna har databaserna Chalmers Library och Google Scholar använts. För att navigera bland källorna följdes en urvalsprocess, vilken presenteras i Figur 4. Första steget var att välja ut ett antal sökord för att hitta relevant data i databaserna (Bell m.fl, 2019). Sökorden valdes att användas på engelska för att nå fler källor och är följande: e*nergy storage, electronics, biobased electronics, recycling, circular economy, circular business models, WEEE – Waste Electronics and Electronic Equipment* och *digital cellulose.* Då många utav de utvalda sökorden ger breda sökresultat användes de framförallt i kombination med varandra. Inför varje sökning viktades sökorden, där det ord som ansågs mest karaktäristiskt skrevs in först i databasen (Ejvegård, 2019). Därefter utgick projektgruppen från urvalskriterier för att hitta den mest relevanta information. Ett urvalskriterium var att källor i första hand skulle hämtas från vetenskapliga artiklar och uppsatser, då de är mer aktuella vad det gäller information kring utveckling och tekniker. Det beslutades därför att i största möjliga mån utesluta böcker (Patel & Davidson, 2011). Dessutom valde projektgruppen att använda sig av olika företags samt myndigheters hemsidor för att läsa in sig mer på batterier, samt på de personer vilka var planerade att intervjuas från företagen. Projektgruppen ansåg att det var relevant att använda hemsidorna då batterier just nu är i en snabb utvecklingsfas och företagen är skickliga på att dela med sig av uppdaterad och relevant information. Vidare beslutade projektgruppen att använda källor publicerade de senaste 15 åren för att säkerställa att informationen var relevant. Om äldre information ansågs betydelsefull och lämplig inkluderades även denna.

Efter hantering av urvalskriterier övergick processen till filtrering, vilket syftade till att välja bort information efter om den var användbar till frågeställningarna (Umeå Universitet, 2023). Filtreringen delades in i tre steg, där initiala fasen var att läsa titeln. Om titeln inte ansågs bidra till att besvara frågeställningarna sållades den bort. Om titeln däremot gav indikation på att det var en relevant källa lästes även sammanfattningen (Karolinska Institutet, 2024). Här skedde samma typ av bortsållning och om informationen fortsatt ansågs vara till hjälp för att besvara frågeställningarna lästes även introduktionen och slutsatsen igenom, då sållning på titel och sammanfattning inte var tillräcklig. De källor som fortfarande betraktades som givande till studien var det som under steg fyra inkluderades i litteraturstudien. Samtliga källor lästes igenom av minst två medlemmar från projektgruppen för att säkerställa god kvalitet av urvalet (Bengtsson, 2016). Med ovanstående urvalsprocess säkerställdes att ingen

relevant information förbisågs, utan majoriteten av alla tillgängliga källor hanterades. I Figur 4 presenteras en sammanfattning av urvalsprocessen där antalet bortsållade samt relevanta källor inkluderas.



Figur 4: Sammanfattning över urvalsprocessen

Utöver ovan metod för litteraturstudien har även handledaren från RISE, Tatjana Karpenja, tagit fram relevanta artiklar och uppsatser publicerade av RISE samt av DCC. Syftet med informationen hämtad från RISE har varit att skapa en ökad förståelse om digital cellulosa och energilagringslösningar som batterier samt grön elektronik som är ett samlat begrepp som förklaras under kapitel 1.1. DCCs hemsida har även använts för att identifiera partners inom batteribranschen. Dessutom har även ett flertal EU-förordningar och den svenska lagboken studerats då det har varit relevant för att skapa en uppfattning om den existerande och framtida lagstiftningen med anknytning till batterier.

Litteraturstudien genomfördes tidigt i projektet i syfte att etablera en teoretisk grund att stå på inför arbetet med intervjuguiden. Materialet som litteraturstudien bidrog som grund till det teoretiska ramverket.

3.2 Intervjustudie

Intervjuer har genomförts i syfte att samla in primärdata och har använts för att besvara frågeställningar (Dalén, 2015). Informationen som intervjuerna har bidragit till presenteras i resultatavsnittet under respektive förutbestämd huvudkategori. Intervjuer anses vara en relevant kvalitativ metod för studien, då den gör det möjligt att upptäcka nya insikter och fenomen som inte tidigare dokumenterats i litteraturen. Metoden har möjliggjort att samla in detaljerad information direkt från källan (Jain, 2021), vilket har varit värdefullt i ett såpass nytt forskningsområde som digital cellulosa, där befintliga teorier eller modeller inte har varit tillräckliga.

Första steget i intervjuprocessen var att identifiera inom vilka områden projektgruppen önskade att respondenterna skulle bidra med relevant information. Projektgruppen beslutade

sig att utgå från huvudkategorierna i litteraturstudien, dock hamnade *cirkulär ekonomi* och *cirkulära affärsmodeller* inom samma område, då de ansågs vara såpass lika. Områdena fungerade som stöd i arbetet med att ta fram lämpliga respondenter och säkerställde att alla områden i litteraturstudien fick värdefullt underlag från primärkällor.

Intervjuformen valdes till semistrukturerade intervjuer, vilket är den vanligaste metoden vid uppbyggnad av empiriskt material. En semistrukturerad intervju är strukturerad runt ett antal frågeområden eller teman (Blomkvist & Hallin, 2021). Projektgruppen hade ett antal förberedda frågor på varje specifikt tema, samlade i en intervjuguide, se Bilaga A. Intervjuguiden skapades kring ett antal frågeställningar som alla gav respondenten möjligheten att prata om hur de upplever sin värld (Bryman, 2018). Om intervjuaren kom på nya frågor under intervjuns gång ställdes även dessa trots att de inte var inkluderade i intervjuguiden (Bell m.fl, 2019). Då digital cellulosa är ett såpass nytt område var det betydelsefullt att kunna ställa följdfrågor, alternativt rikta om frågorna så de var anpassade efter respondenten. Gruppmedlemmarna är medvetna om att inte alla förbestämda frågor ställdes till samtliga respondenter, dock utelämnades ingen viktig information då datamättnad uppnåddes. Exempelvis var flertalet miljöpolitiker kunniga även inom området cirkulär ekonomi och de fick därför även besvara frågor som egentligen var riktade mot experter inom cirkulär ekonomi. En semistrukturerad intervjuform var alltså att föredra då det bidrog till en flexibilitet som uppmuntrade en djupare utforskning än vad en strukturerad intervjuform hade gjort (Leavy, 2014). Vidare har semistrukturerade intervjuer bidragit till målet med kvalitativa intervjuer, vilket är att låta respondenten röra sig i olika riktningar då det ger kunskap om vad som anses väsentligt att prata om (Bryman, 2018). Följaktligen fastställdes intervjuguiden efter den inledande litteraturstudien och utgick från att omsätta studiens problemformulering till tydliga teman med underliggande frågor (Dalen, 2015).

Under varje intervju medverkade två till tre projektmedlemmar, där en hade i uppgift att leda intervjun och de andra ansvarade för anteckningar och inspelning. Varje intervju inleddes med att fråga huruvida respondenten önskade att vara anonym samt om det var okej att spela in intervjun, då det är viktigt att ge respondenterna möjligheten att vara anonyma och samtidigt ta hänsyn till de allmänna GDPR-reglerna (Wallén, 1996). Enligt Bell m.fl 2019) är det fördelaktigt att genomföra intervjuerna på plats, dock har det blivit allt vanligare att interagera online och det har därför blivit ett utmärkt verktyg. Projektgruppens mål var att genomföra merparten av intervjuerna fysiskt, på plats hos respondenterna. Dessvärre var det svårt att hitta relevanta personer i Göteborgsområdet och därav skedde majoriteten online, där Zoom-plattformen var det främsta hjälpmedlet. Intervjuerna som genomfördes online gav möjligheten att öka antalet intervjuer samt studiens räckvidd och delaktighet. Varje intervju varade mellan 30-60 minuter, beroende på hur lång tid respondenten kunde avvara. Om alla ämnesområden i intervjuguiden bearbetats, samt att det bedömdes att ingen ytterligare information gick hämta av respondenten, avslutades intervjun innan avtalad tid. Majoriteten av intervjuerna ägde rum under februari och mars månad, det vill säga under en åtta veckors period.

3.2.1 Urval av intervjupersoner

Strategiskt urval var den generella metoden när intervjupersoner handplockades. Det syftar till att välja personer som kan ge information i hög grad om fenomenet, samt underlag som kan ligga till grund för att besvara frågeställningarna (Lundén, 2020). Enligt Blomqvist och Hallin (2021) är 10-20 intervjuer en bra riktlinje. Till en börja med valdes ca 15 respondenter utifrån förslag från handledarna på RISE och Chalmers, sökningar på internet och efter namn som dykt upp under litteraturstudien. Urvalet av personer utgick från de ovannämnda kategorierna,

som använts i det teoretiska ramverket samt intervjuguiden. Inom varje kategori var riktlinjen att hitta personer från olika aktörer på marknaden, såsom företag inom batteriindustrin, myndigheter och forskningsinstitut. Projektgruppen var angelägen om att finna förståelse över hur olika parter upplever samma situation för att fånga nyanserna (Dalen, 2015). Vidare kontaktades både kvinnliga och manliga respondenter i blandade åldrar med anledning av att skapa mångfald och differentiering (Blomqvist & Hallin, 2021). Med anledning av att studien är avgränsad till inom Sverige kontaktades enbart personer som arbetar på företag lokaliserade i Sverige. Dock uppmuntrades det att kontakta personer som inte vuxit upp i Sverige samt inte arbetat hela sitt liv på ett svenskt företag, även här med anledning av att skapa nyansering.

I slutet av varje intervju uppmuntrades respondenten till att rekommendera personer de ansåg kunna bidra till studien. Tillvägagångssättet kallas snöbollsmetoden och bygger på att en liten grupp kontaktas inledningsvis och de används för att etablera kontakt med andra (Dalen, 2015). Snöbollsmetoden är väl lämpad för kvalitativa studier där det är svårt att hitta relevanta personer. I vårt fall fanns det få personer som arbetar med digital cellulosa och merparten av företagen är små, vilket lett till en utmaning att hitta rätt personer. Tillvägagångssättet öppnade följaktligen upp för att använda andra personers kontaktnät för att nå respondenter som annars hade varit svåra att skapa kontakt med (Bell m.fl., 2019). Användandet av snöbollsmetoden fortskreds till dess att datamättnad uppnåtts inom varje kategori. Datamättnad syftar till den tidpunkt då återkommande mönster börjar förekomma i data, där upprepade erfarenheter och information alstras utan att något nytt tillförs (Lundén, 2020). Det varierade i antalet intervjuer som krävdes inom varje kategori för att uppnå datamättnad. Exempelvis inom området miljöpolitik uppnåddes datamättnad redan efter ett par intervjuer då det är tydligt vilka lagar som existerar samt vilka som är på ingång. Dessutom tog nästintill alla respondenter upp lagstiftning trots att de inte var deras expertis. Inom kategorin energilagring fanns det däremot behov av fler intervjuer då det förekom olika upplevelser bland respondenterna. Intervjuprocessen pågick tills dess att det var väletablerade samband mellan kategorierna och data var validerad inom respektive kategori (Bell m.fl., 2019). I Tabell 1 presenteras de intervjupersoner som urvalsprocessen resulterade i.

Tabell 1: *Respondenter i studien*

Namn	Roll	Företag	Kunskapsområde	Datum
Respondent 1	Projektledare	RISE	Återvinning	2024-02-09
Respondent 2	Forskare	RISE	Återvinning	2024-02-12
Respondent 3	Materialforskare	RISE	Digital cellulosa	2024-02-12
Respondent 4	Chef, batterisektorn	AFRY	Energilagring	2024-02-13
Respondent 5	Teknisk direktör	Rivus Batteries	Energilagring	2024-02-13
Respondent 6	Forskningsingenjör	RISE	Energilagring	2024-02-14
Respondent 7	Expert inom miljöpolicy	Svenskt Näringsliv	Miljöpolitik, cirkulär ekonomi	2024-02-19
Respondent 8	Jurist på miljödepartementet	Regeringskansliet	Miljöpolitik, återvinning	2024-02-19
Respondent 9	Operativ chef	Cradlenet	Cirkulär ekonomi	2024-02-20
Respondent 10	Enhetschef Handel och hållbarhet	Teknikföretagen	Miljöpolitik, cirkulär ekonomi	2024-02-20
Respondent 11	Handläggare producentansvar	Naturvårdsverket	Energilagring	2024-02-21
Respondent 12	Affärsutvecklingschef	Stena Recycling	Återvinning	2024-02-21
Respondent 13	Projektledare	Chalmers industriteknik	Cirkulär ekonomi	2024-02-22
Respondent 14	Affärsutvecklare och projektledare	Chalmers industriteknik	Cirkulär ekonomi	2024-02-22
Respondent 15	VD	Elektronik Branschen	Energilagring	2024-02-22
Respondent 16	Centerdirektör	DCC	Digital cellulosa	2024-02-27
Respondent 17	Senior forskare	RISE/DCC	Digital cellulosa	2024-02-29
Respondent 18	Membranspecialist	Cellfion	Digital cellulosa	2024-03-01
Respondent 19	Materialflödesexpert	Naturvårdsverket	Återvinning	2024-03-07
Respondent 20	Expert batteriforskning	Energimyndigheten	Energilagring	2024-03-07
Respondent 21	Forsknings- och utvecklingsingenjör	Vattenfall	Cirkulär ekonomi	2024-03-08
Respondent 22	Affärsutvecklare	Cellfion	Digital cellulosa	2024-03-13
Respondent 23	Affärsutvecklare	RISE/DCC	Cirkulär ekonomi	2024-03-15
Respondent 24	VD	Ligna Energy	Energilagring	2024-03-25
Respondent 25	Forskare	RISE	Digital Cellulosa	2024-04-17
Respondent 26	Enhetschef	RISE	Cirkulär ekonomi	2024-04-19

3.2.2 Analys av intervjuer

Samtliga intervjuer antecknades i separata dokument samt spelades in för att säkerställa att ingen viktig information gick förlorad. I efterhand lyssnade den som höll i intervjun igenom ljudfilen samt granskade det transkriberade dokumentet för att validera datan (Blomqvist & Hallin, 2021). Vidare har alla medlemmar i projektgruppen studerat det transkriberade materialet för att säkerställa tillförlitlighet samt en jämn kunskapsnivå mellan individerna (Trost, 2010). Det transkriberade dokumentet skickades även till respondenten för godkännande samt korrigeringar.

Analysen av intervjuerna var iterativ, vilket innebär att intervjumaterialet granskades flertalet gånger samt ägde rum under tiden intervjuprocessen pågick (Bell m.fl., 2019). Anledningen till att projektgruppen valde att granska materialet innan alla intervjuer var genomförda var för att få en känsla för när datamättnad var uppnådd samt använda lärdomar från analysen i vidare datainsamling. Vid analys av intervjuerna användes strategin Systematic Text

Condensation (STC). STC är en strategi för att analysera kvalitativa data. Metoden genomfördes i fyra steg och resulterade i en tvärsnittsanalys. Det första steget syftade till att skapa en övergripande förståelse över den insamlade data, vilket i sin tur möjliggjorde att den kunde delas upp i övergripande teman (Malterud, 2012). Enligt Bell m.fl. (2019) är ett tema en kategori som identifierats genom att ha påträffats upprepade gånger i transkriberingsmaterialet från intervjuerna. Steg två i STC var att identifiera och organisera samtliga element som var relevanta för studiens frågeställningar. Därefter kopplades de identifierade elementen ihop med de etablerade temana. I det slutgiltiga steget analyserades mönster och studiens slutsatser diskuterades (Malterud, 2012). Blomqvist och Hallin (2021) menar att en analysprocess som bygger på teman reducerar materialet och är ett bra förberedande steg inför resultatskrivningen. Analysen av intervjuerna har utgått från frågeställningarna och det som har ansetts vara relevant har presenterats i resultatavsnittet. Efter att alla intervjuer analyserats går det att konstatera att datamättnad har uppnåtts inom alla områden. Resultatavsnittet, som intervjuerna resulterat i, har sedan legat till grund för att besvara frågeställningarna i diskussionen.

3.3 Studiens kvalitet

Den här studien, likt nästintill alla andra studier, har punkter som hade kunnat förbättrats för att öka kvaliteten. Däremot hade förbättring av en aspekt antagligen lett till försämring av en annan. I det här avsnittet presenteras därför studiens styrkor samt svagheter när det kommer till val av metod och källor. Vidare diskuteras forskningsetik.

3.3.1 Metodkritik

Inledningsvis går det att påpeka att tidigt i studiens förlopp gjordes upptäckten att det fanns en begränsad information om digital cellulosa, både vad det gäller antalet källor men även kunskapen hos respondenterna. Utöver de personer som arbetade inom DCC eller dess partnerföretag var det få som kunde uttrycka sig om digital cellulosa specifikt. Samtidigt var projektgruppen medvetna om situationen och såg därför till att anpassa frågorna som ställdes i intervjuerna, för att inte påverka resultatet. Genom att ta hänsyn till den begränsade information som fanns inom området har studiens kvalitet inte försämrats avsevärt.

En studies kvalitet utgörs i de flesta fall av validitet och reliabilitet, vilket är två faktorer som projektgruppen tog hänsyn till tidigt i arbetsprocessen. Validitet innebär att man studerar rätt sak medans reliabilitet syftar till att man studerar det på rätt sätt (Blomqvist & Hallin, 2021). En hög validitet förutsätter en hög reliabilitet och därför har gruppen främst fokuserat på att upprätthålla god validitet. När det kommer till kvalitativa studier pratas det ofta om trovärdighet, där två av fyra kriterier för trovärdighet rör validitet. En av de två kriterierna kallas “credibility” och går att likställa med intern validitet. Det syftar till att det resultat som nås ska redogöras för andra för att avgöra dess acceptans. En metod för att åstadkomma intern validitet är respondentvalidering, vilket innebär att deltagare i studien får ta del av resultaten (Bell m.fl., 2019). I studien har intern validitet säkerställts genom två olika ansatser. För det första, när hela intervjuprocessen var avklarad, hade projektgruppen gemensamma genomgångar av intervjuerna inom varje kategori för att validera informationen med ett jämförande angreppssätt. När hela arbetet var avklarat fick samtliga respondenter ta del av arbetet för att medge sitt godkännande.

Det andra av de två kriterierna inom trovärdighet och som rör validitet är “transferability”, vilket är en typ av extern validitet. Det handlar om att kvalitativa studier har en förmåga att enbart studera en lite grupp av individer och därför tenderar att bli unika utan en bredd. Det är

därför önskvärt att nå en tjock beskrivning för att kunna dra mer allmänna slutsatser (Bell m.fl., 2019). Ett sätt att öka den externa validiteten hade kunnat vara att skicka ut en enkät i datainsamlings-syfte för att nå en större grupp individer. Samtidigt ville projektgruppen ha tydliga och nyanserade argument, vilket är svårt att få med en enkät. Dessutom ansågs det viktigt att kunna besvara frågor angående digital cellulosa, vilket ansågs vara lättare verbalt.

För att ytterligare säkerställa validitet genomfördes ett seminarium tillsammans med representanter från RISE där projektgruppen presenterade resultatet. Intentionen var att erhålla värdefulla insikter från de som sitter och arbetar dagligen med digital cellulosa. Medarbetarna fick komma med åsikter om huruvida frågeställningarna var besvarade på ett relevant sätt samt om lämpliga cirkulära affärsmodeller var framtagna. Då RISE är ett forskningsinstitut är det en del av deras arbete att vara objektiva i alla typer av studier och därav säkerställdes en opartisk validering.

3.3.2 Källkritik

Ett källkritiskt synsätt har använts i val av primär- och sekundärkällor. Det innebär att källorna kritiskt har analyserats och diskuterats för att avgöra om de uppfyller validitet och reliabilitet. Reliabiliteten hos källor syftar på att informationen ska ge rimliga svar på de ställda frågorna, medan validiteten berättar om källan passar undersökningens syfte (Blomqvist & Hallin, 2021). Källkritiken utgick från fyra källkritiska kriterier: äkthet, beroendekriteriet, samtidskriteriet och tendenskriteriet (Eriksson & Wiedersheim-Pauls, 2014). Äkthet syftar på vem som ligger bakom källan och om uppgifterna går att kontrollera (Blomqvist & Hallin, 2021). Vad det gäller källorna i litteraturstudien är de hämtade från databaser där det inte finns ett krav på att de ska vara granskade av andra forskare. Äktheten kan därför påverkas, dock har vetenskapliga artiklar som granskats av andra forskare (referee-granskning) valts i största möjliga mån. Angående intervjuerna uppfyller de inte komplett äkthet då ingen expert har granskat det som sagts under intervjuerna. Samtidigt har sakkunniga personer inom områdena valts och intervjuerna sinsemellan har jämförts.

Beroendekriteriet handlar om att två oberoende källor ska styrka varandra (Berggren, 2008). Information från olika författare, respondenter, företag och myndigheter har valts för att beroendekriteriet ska tillgodoses både vad det gäller primär- och sekundärkällor. Vidare har samtidskriteriet varit betydande då digital cellulosa är en ny upptäckt. Vid val av sekundärkällor har riktlinjen varit att välja de som publicerats de senaste 15 åren då ju närmare en källa befinner sig händelsen i tid, desto mer trovärdig (Eriksson & Wiedersheim-Pauls, 2014). Tills sist har tendenskriteriet tagits i beaktning, det vill säga om den som skapat källan har haft en speciell avsikt och därför framställt informationen på ett missriktat sätt (Blomqvist & Hallin, 2021). Vad det gäller primärkällorna är det svårt att avgöra om respondenten varit delvis partisk, samtidigt tar studiens kvalitet inte skada av partiska åsikter så länge viktig information har validerats och individerna valts ut från olika företag. Slutligen, ett källkritiskt tankesätt har förekommit under hela datainsamlingsprocessen där källor som har riskerat studiens validitet och reliabilitet har valts bort i största möjliga mån.

3.3.3 Etiska principer

I det inledande arbetet med studien diskuterades de etiska principerna för att garantera att ingen individ som intervjuats tagit skada samt inte medgivit sitt samtycke för att medverka (Bell m.fl., 2019). Den enda "skada" respondenterna ansågs kunna utsättas för var att dela med sig av privat information alternativt information de inte hade tillåtelse att offentliggöra. Om någon under en intervju sa att de inte vill svara på en fråga har det respekterats och inte ifrågasatts. Vidare har alla ovannämnda intervjupersoner givit sitt godkännande att vara med samt att deras arbetsgivare och roll får publiceras. I efterhand har inspelningsfilerna raderats för att inte kunna användas i annat syfte än vad som givits samtycke till.

4. Resultat

I följande avsnitt presenteras resultatet från intervjustudien. Resultatet delas upp utefter de kategorier som användes under intervjuprocessen och fungerar som underlag för diskussionen.

4.1 Cirkulära affärsmodeller

Under samtal och intervjuer med ekonomer och experter inom cirkulär ekonomi och cirkulära affärsmodeller framgår det att det inte finns någon självklar väg i omställningen från det linjära samhället till det cirkulära. Under intervjuerna beskrivs cirkulär ekonomi som "ett fluffigt och brett begrepp", "fluffigt" och "konstigt med många delar" då en definition efterfrågas. Det är märkbart att en entydig och allmän definition för cirkulär ekonomi saknas men från intervjuerna tydliggörs även att det ändå finns en del grundläggande element och vissa koncept framhävs under samtliga samtal.

Att cirkulär ekonomi kan verka som ett verktyg med flera användningsområden är en allmän ståndpunkt. Under intervjuerna förklaras att cirkulär ekonomi kan användas för att lösa flera olika problem. Hållbar resursanvändning och cirkulära flöden beskrivs höra ihop och vara kompletterande. Genom att ställa om ekonomin kan resurser i en värdekedja användas mer effektivt och utvinningen samt användningen av jungfruliga material minskas när de linjära affärsmodellerna byts ut mot de cirkulära. Däremot handlar den cirkulära ekonomin och dess affärsmodeller om mer än enbart återvinning, något som samtliga intervjuade är tydliga med att poängtera. Idag läggs mycket fokus på end-of-life och just återvinningen trots att detta är långt ner i värdekedjan. Detta kan bero på att dessa värden är lätta för företagen att kvantifiera och arbeta med jämfört med andra åtgärder som kräver förändringar på en mer grundläggande nivå för företaget och dess affärsmodell och som ställer större krav på förändring av beteende, inklusive vanor hos konsumenten.

Idag läggs det mycket fokus på återvinning när andra områden såsom återbruk eller cirkulär design också är av stor vikt. Att mer uppmärksamhet behöver läggas på designfasen och att cirkulariteten ska vara med redan under designen, eller ännu tidigare i konceptfasen, är något som samtliga intervjuade är ense om. Genom att ha med cirkulariteten från start kan värdekedjan optimeras och göras hållbar i sin helhet. Produkterna kan designas för lång hållbarhet, för att möjliggöra reparationer, demontering, återbruk och återvinning. Det är viktigt att ha långsiktighet i designen, att redan i första fasen fokusera på att förlänga livslängden, att få tillbaka råmaterialen och att komponenter kan bytas ut. Flera av de intervjuade lägger mycket vikt vid att designa in modularitet för att underlätta just detta, service, reparationer, återvinning och återbruk.

Andra återkommande koncept som lyftes under flertalet av intervjuerna var R-ramverket och tjänstefiering. Likt definitionen av cirkulär ekonomi saknades en distinkt tolkning av R-ramverket och vilka delar samt hur många R detta skulle innehålla. En av de intervjuade menade att de viktigaste principerna kunde sammanfattas i endast tre R medan en annan arbetade med en mer omfattande modell bestående av 13 R. Oavsett antalet principer gällde att R-modellen menades att fungera som ett sätt att kategorisera olika cirkulära affärsmodeller och dess ingående delar. Varje R fokuserar på ett visst område eller del av värdekedjan och beroende på bransch och verksamhet är olika R av intresse. Dock är olika principer viktiga för olika typer av produktionskedjor eftersom samma cirkulära strategi varken är genomförbar

eller framgångsrik i alla verksamheter. Det finns inget recept för cirkulära affärsmodeller men R-ramverket är ofta applicerbart.

En typ av affärsmodeller som genomgående ansågs ha potential var tjänstefieringen av olika slag och flera av de intervjuade spanade att fler och fler av dagens produkter kommer att ta formen av tjänster i framtiden. Det handlar om olika *Product-as-a-Servicelösningr* såsom leasing, prenumerationer och delningsplattformar där ägandeskapet inte längre ligger hos kunden. På så sätt kan effektiviteten i användandet ökas genom att produkterna antingen används längre, oftare eller både och. Det gäller att hitta affärsmodeller där kunden betalar för tillgänglighet samt service och omkringstjänster. Istället för att lönsamheten ligger i antalet sålda enheter måste kunden få och betala för andra typer av värden och det finns ett behov av att hitta affärsmodeller där kunden binds fast. Behovet av att köpa nytt behöver minska och detta kan ske genom att nyttja affärsmodeller där produkterna hyrs ut, leasas eller får längre livslängd genom att service och tjänster tillhandahålls till produkter som designats för att kunna repareras och uppdateras.

4.2 Drivkrafter och hinder för cirkulär ekonomi

Det faktum att lagar och regelverk kan vara den starkaste drivkraften för cirkulär ekonomi, men att processerna är för långsamma, är något som framkommer i flertalet intervjuer. En av respondenterna berättar i sin intervju att arbetet med att ta fram en EU-förordning som batteriförordningen kan ta över ett decennium. Det beskrivs även hur processerna kan vara så pass långa att det resulterar i att den nya lagstiftningen inte blir optimal.

Dock betonas det också hur viktig lagstiftningen är för en omställning till det cirkulära. Lagar och regler är viktiga pådrivare, och den ideala situationen är att företag på eget bevåg arbetar hållbart men med en politik som också driver dem i den riktningen. Flertalet respondenter beskriver i sina intervjuer att lagar och regelverk är både en mycket viktig drivkraft och ett viktigt incitament för hållbar och cirkulär omställning. En av de intervjuade menar att dessa obligatoriska krav faktiskt är den främsta drivkraften, då de inte går att förhandla. Vidare beskrivs det hur lagstiftning kan trigga cirkulära flöden, och EU:s batteriförordning dyker upp som ett exempel på det i flera intervjuer. Detta är en ny lagstiftning som bland annat ska syfta till att de metaller som används i batterier i Europa också ska återvinnas och återproduceras i Europa. En respondent berättar att denna förordning kommer resultera i att batteriproducenter nu blir skyldiga att följa hela sin leverantörskedja samt ansvara för avfallshanteringen, vilket blir ett mycket större ansvar i jämförelse med tidigare.

Att olika drivkrafter till hållbar omställning kan samverka med varandra är något som flera av de intervjuade framhåller. En av respondenterna beskriver hur batteriförordningen kommer att möjliggöra att Europa ständigt slipper köpa nytt material från Kongo, Kina och andra utvecklingsländer, därmed bör det finnas ekonomisk lönsamhet för företag stimulerad av lagstiftning. Det redogörs också för hur företag alltid drivs av ekonomisk lönsamhet och vinst. Med hjälp av lagstiftning kan företag få incitament att bli mer innovativa i sitt hållbarhetsarbete. Detta understryks av en annan respondent som förklarar i sin intervju att det är just ekonomiska styrmedel som behöver tillkomma för att företagen ska våga bli mer hållbara.

I en av intervjuerna tas det upp flera exempel på ekonomiska drivkrafter för företag, så som en ökad konkurrenskraft, effektivisering, ökade kostnadsbesparingar samt bättre

marknadsföring. Det beskrivs även i en annan intervju hur det redan nu finns exempel på framgångsrika cirkulära affärsmodeller, bland annat produkt-som-tjänst-modellen. Genom att företag arbetar utifrån denna modell så skapas incitament som gör att produkten har en längre livslängd samt att företaget får en längre och närmare relation till kunderna. Vidare innebär modellen att man säljer en problemfri användning, där kunderna betalar för funktion som alltid fungerar och eventuellt kan repareras. Genom dessa nära och långa kundrelationer samt en högre men distribuerad intäkt per produkt eller komponent finns det lönsamhetspotential i denna typ av cirkulär modell.

En annan respondent berättar att de ekonomiska drivkrafterna till cirkulär omställning i grunden kommer från konsumenter som ställer krav på företag och att det finns en så pass stor efterfrågan att företagen är villiga att ställa om. Konsumenters efterfrågan och faktiska konsumtion skapar incitament för företag att driva på sitt hållbarhetsarbete, men detta är också något som går att problematisera kring vilket en respondent gör i sin intervju och kallar hållbar konsumtion för en "paradox". Det behövs konsumtion för att företag ska kunna vara ekonomiskt lönsamma, men samtidigt resulterar konsumtion i miljöförstörelse. Därför är det viktigt att titta på hur den konsumtionen som faktiskt sker kan bli mer effektiv och hållbar, något som EU kan reglera genom att ställa krav på att producenterna behöver hålla en viss standard. Här kan en till koppling mellan de olika drivkrafterna utläsas, då det är här som producentansvaret kommer in. Det innebär, enligt en av respondenterna, att producenter kollektivt ska ansvara för avfallshantering av sina produkter. Dessutom kräver den nya batteriförordningen att producenter också säkerställer att utvinning och tillverkning av batterier följer sociala och miljömässiga regler. För batterier innehållande cellulosa tror denna respondent att de kan ha lättare att klara de krav gällande klimatavtryck som finns i batteriförordningen.

Gällande hinder för hållbar omställning när det kommer till batterier är flera av respondenterna överens om att en viktig faktor är materialbrister. Detta är något som kommer bli en allt större utmaning, då batteriförordningen innehåller nya bestämmelser om att batterier ska innehålla en viss mängd återvunnet material av vissa metaller. I en intervju beskrivs det att de kritiska metallerna måste bort från batterier, då det finns en brist och att dessa metaller behöver användas i andra applikationer än batterier.

Dessutom lyfts det fram att dagens lagstiftning, som till stor del är anpassad efter den linjära ekonomin, utgör ett betydande hinder. En av de intervjuade menar att stora delar av lagstiftningen inte är proaktiv, vilket resulterar i att producenterna kan tillverka batterier först och tänka på avfallshanteringen i efterhand. Andra respondenter har en liknande uppfattning av hur lagstiftningen inte är tillräckligt hård när det kommer till att skapa incitament för hållbar omställning. Enligt en av respondenterna kan den bristfälliga lagstiftningen bero på att svenska politiker saknar kunskap kring hållbarhet och cirkularitet. Det blir en lång process att införa tillräckliga lagar och regler när det kan finnas en okunnighet hos de högst beslutande i Sverige. I en annan intervju lyfts det fram att denna kunskapslucka också finns bland ledarna på de stora bolagen, vilket resulterar i att det blir ett fenomen som kallas för greenwashing. Det innebär att företag, organisationer eller myndigheter kommunicerar sina hållbarhetsåtaganden på ett felaktigt sätt eller vilseledande, i syfte att uppnå ekonomiska och/eller imagemässiga fördelar.

Det finns alltså en komplexitet i att kommunicera sitt företag som hållbart, eftersom det finns flera aspekter av vad hållbarhet faktiskt innebär. En av respondenterna berättar i sin intervju att det starkaste konceptet för cirkulär ekonomi är "värdebevarande och långlivade

produkter”. Idag saknas kunskap gällande de olika attributen som finns för diverse biobaserade produkter. Respondenten gör en jämförelse mellan plastmuggar och biobaserade pappersmuggar. Trots att den ena muggen inte kommer från en ändlig resurs blir den miljömässiga skillnaden marginell eftersom båda produkterna endast används en gång och sedan slängs. Det faktum att de kunder som aktivt söker sig till det cirkulära eller miljömässigt bästa är en minoritet, gör att även marknadsföringsfrågan för cirkulära företag blir komplex. Företagen behöver ha ett konkurrensmässigt erbjudande i grunden, och det är först när ett sådant existerar som de cirkulära aspekterna kopplas på som något ytterligare för att attrahera fler kunder. För biobaserade produkter blir det avgörande hur produktens egenskaper kommuniceras i marknadsföringen. I en intervju beskrivs det hur det idag finns en allmän bild om att biobaserade produkter antingen kan förbrännas eller komposterar när de når end-of-life. Därmed används sällan biobaserade produkter så länge som det är möjligt, och processer som återanvändning och reparation missas. För att överkomma detta hinder krävs en marknadsföring där det tydligt kommuniceras värdet i produkten i och med de processer den gått igenom samt vad produkten ska användas till.

Något som också framhålls är det faktum att om den cirkulära ekonomin i nuläget vore det mest lönsamma, borde inte alla företag redan ha ställt om då? Svaret på denna fråga menar en av respondenterna är det faktum att det fortfarande existerar trösklar som hindrar denna omställning. Produkter är inte designade för det cirkulära, de saknar den typen av modularitet som krävs för att de ska kunna ha en lång livslängd. Vidare är inte kunderna redo för de cirkulära affärsmodellerna, som till exempel produkt-som-tjänst. Det eventuellt största ekonomiska hindret är felkalibreringen i priser som finns mellan arbetskraft och ändliga resurser. Där priset för arbetskraft är för dyrt medan priset för ändliga resurser är för billigt. Denna barriär sätter stopp för de företag som vill driva sitt hållbarhetsarbete framåt, då en omställning inte blir ekonomiskt försvarbart.

Slutligen är det kanske mest komplexa hindret, nämligen det faktum att hela värdekedjan för batterier behöver vara hållbar. I en av intervjuerna framhålls det att det är viktigt att titta på hela värdekedjan endast i syfte att förstå batteribranschen. En annan respondent bygger vidare på detta med att förklara att om man ser till värdekedjan för batterier kommer troligen många utmaningar att upptäckas. I och med den nya batteriförordningen framkommer det i flera intervjuer att det nu ingår både socialt och miljömässigt ansvarstagande för batteriproducenter, gällande allt ifrån utvinning av metaller till avfallshantering. Därmed blir ansvarsområdet mycket större för batteriproducenter än vad det tidigare varit.

4.3 Energilagring

En gemensam nämnare bland intervjuerna med branschexperter har identifierats. Det är att samtliga respondenter menar på att marknaden och teknikutvecklingen för batterier ständigt växer och att det är litium-jonbatterierna som dominerar på marknaden. Det framgår i intervjuerna att det inte finns något det satsas så mycket på som batterier och att den största drivkraften bakom det är transportsektorn. Det finns ingen harmoniserad standard för batteritillverkning, utan tillverkare producerar sina egna varianter, vilket har resulterat i att det finns en stor mängd olika batterityper men i relativt små volymer per batterityp. Hur detta kommer att utvecklas finns det skilda meningar kring bland respondenterna. En respondent menar på att om inga spärrar, så som policyer, regleringar, pandemier eller krig, slår in kommer varje nisch att öka tio gånger. Medan en annan respondent istället tror att det gör att varje nisch fortsatt kommer vara relativt liten då det inte riktigt finns någon volym att köpa.

Dagens batterimarknad är inte hållbar, vilket flera respondenter är rörande överens om. Samhället måste tänka om. Istället för att fokusera på att hitta nya fyndigheter på de kritiska metallerna som används i dagens batterier måste fokuset ligga på att hitta alternativ som de kan bytas ut mot. Det framgår att det kommer att behövas väldigt mycket batterier de kommande åren, dels till fordon, men också för stationär energilagring i och med omställningen till mer förnybar energi. En respondent menade att för att tillgodose marknaden med batterier med traditionella material hade det behövts 26 gånger mer brytning av litium, 70 gånger mer kobolt och 140 gånger mer nickel.

Ett annat problem som lyftes av två respondenter är, förutom att materialen som används är kritiska mineraler, att dessa kommer från geopolitiskt problematiska länder. Ena respondenten tror att detta kan vara en aspekt som kommer att driva utvecklingen av batterier mot det gröna. Just för att säkra sina leveranskedjor och göra sig oberoende av problematiska stater. Den andra respondenten tror att vägen till ett självförsörjande Europa, när det kommer till batterier och dess komponenter, är genom återvinning, tillsammans med nya fyndigheter, nya tekniker och nya maskinleverantörer.

Dock framgick det under en intervju att batterier idag generellt anses vara hållbara. Detta för att jämförelsen oftast görs mot olja och då är batteriet det hållbara alternativet. I nuläget diskuteras sällan hur hållbara batterierna är i sig själva. Det lär dock bli en mer aktuell fråga när volymerna på batterier ökar och problem med batterier uppdagas. Innan dess tvivlar respondenten på att gröna alternativ kommer att vara intressanta, om det inte finns andra, specifikt ekonomiska, fördelar.

En respondent var en stark förespråkare för en mer lokal elproduktion. Genom att bygga solpaneler på tak och i fasader på offentliga byggnader, så som stora skolor, sjukhus och industrier, och sedan koppla på ett energilager kan elsystemet jämnas ut. När anläggningarna inte själva behöver elen kan de distribuera överskottet till elnätet lokalt och på så sätt öka kapaciteten i det lokala elnätet utan att behöva bygga ut stora dyra stamnät. Dock finns det legala begränsningar som måste ändras för att detta ska vara möjligt. Idag är det inte tillåtet för industrier att distribuera överskottsel, det är endast elbolag som får sköta distribution av el. Att bara använda solparker eller solpaneler och vindkraftverk utan energilager är att bara få ut en del av den förväntade nyttan.

För att nya tekniker ska kunna ta fart på marknaden krävs det att någon är beredd att betala för tekniken förklarar flera respondenter. Det gäller att den nya tekniken ska visa på bra prestanda, jämfört med den konventionella, men samtidigt inte vara för dyr. En respondent tror att en lösning hade kunnat vara att statliga, regionala och kommunala bolag går in och stöttar de hållbara företagen, och deras tekniker, genom att köpa deras produkt. På så sätt får företagen kapital till att investera i att bygga upp en industri som är hållbar och samtidigt erhålla referenser. Respondenten tror att marknaden måste vara tillräckligt stor för att man ska kunna bygga en gigafactory, annars kommer verksamheten inte att bli lönsam.

4.4 Återvinning

I R-ramverket som diskuteras i denna studie ingår flertalet koncept som främjar cirkularitet, varav en av dessa är återvinning. Återvinning är ett givet fokusområde för intervjuerna i detta projekt då det har blivit väldigt relevant i dagens klimatomställning. Självklart är det även relevant att undersöka andra komponenter av R-ramverket, vilket diskuteras senare i denna rapport. Dock fokuserar dagens avfallshanteringsanläggningar framförallt på återvinning och

det är det som diskuteras mest inom branschen i dagsläget. Det är ett välkänt koncept bland konsumenter och en stor del av dagens klimatarbete. Just därför är det extra intressant att undersöka vad som händer med återvinningen när marknaden skiftar till ett användande av gröna material.

I intervjuerna på temat återvinning diskuteras incitament för detta och något som ofta nämns är lagstiftning och andra statliga incitament. Många av de intervjuade experterna pratar om att de tror att det är just dessa statliga drivkrafter som vanligtvis driver förändringar inom företagen. Det kan då både handla om nya lagstiftelser, direktiv, skatter eller andra statliga initiativ och subventioner. Det nämns dock också att dessa regler ibland kan hämma utvecklingen då det tar lång tid att genomdriva förändringar med alla processer som projekten måste gå igenom idag. Idag finns det nya direktiv, till exempel batteriförordningen, om en ökad användning av återvunnet material i nya produkter, vilket ibland kan hämma utvecklingen då det inte låter företagen experimentera med nya, alternativa material.

Att det sker snabb teknikutveckling och skiften inom batterimarknaden skapar utmaningar när det kommer till återvinningsindustrin berättar en av respondenterna. De batterier som sitter i till exempel bilar idag är inte förbrukade förrän om 15–20 år, vilket innebär att de inte ska återvinnas förrän år 2040–2045. Samtidigt är det en relativt liten volym ute på marknaden, då endast dryga 10 procent av totala mängden fordon i Sverige är elektrifierade. Detta sätter begränsningar i investeringsviljan i återvinning av batterier. Företag är inte villiga att riskera miljardbelopp i återvinningsanläggningar av batterier som är förbrukade om 15–20 år, om det om 5 år kan komma ny teknik som kräver en helt annan återvinningsprocess. Detta skapar även en problematik om det produceras batterier, som måste innehålla en viss andel återvunnet material, i en högre takt än den takt som batterierna är redo att återvinnas i.

Ett annat problem med återvinning som tas upp under intervjuerna är de komplicerade produktionskedjorna hos elektronikprodukter. Det är många olika aktörer som ska samspela där alla har olika intressen. Elektronik, som drivs med batterier, har många olika komponenter, som produceras i olika länder, och detta adderar en svårighet i att bestämma vem som bär ansvar för elektroniken och det finns en avsaknad av spårbarhet i produktionskedjan. I flera av intervjuerna kommer digitala produktpass upp som exempel på något som de tror kommer underlätta övergången till en mer medveten konsumtion. Med digitala produktpass kan produkten på ett smart, digitalt sätt bär på information om vart den kommer ifrån, vad exakt det är den innehåller och information om dess hållbara avtryck. Denna teknik är dock idag under utveckling och man arbetar med hur man ska paketera informationen på ett universellt kommunicerbart sätt. Att kunna spåra vart råvaror och komponenter kommer ifrån och vad de innehåller menar de intervjuade skulle bidra med vad återvinningscentralerna ofta saknar, just information om produkterna. Detta skulle till exempel underlätta i återvinningsprocessen då man under hanteringen av elektroniken vet vilka åtgärder som behövs vidtas för just den specifika komponenten. Ett bristande område idag är att det är många elektronikprodukter som inte kan hanteras och återvinnas på rätt sätt eftersom man inte vet exakt vad den innehåller eller om innehållet kan vara farligt.

Respondenterna är också överens om att produktens design är av stor vikt för att återvinningen ska nå en högre grad. Det handlar mycket om att kunna separera de olika komponenterna för att kunna hantera avfall på korrekt sätt. Idag är komponenterna limmade eller behandlade med olika medel som gör att demontering av produkten till rent material blir mycket ineffektivt eller rent av omöjlig. Om detta är en faktor som tas i beaktning i designen skulle det underlätta återvinning och återbruk. Det innebär att batterierna måste vara lätta att

plocka isär och säkra för personalen att jobba med. På så sätt möjliggörs sortering och återvinning av varje material på ett optimalt sätt. Även modularitet är något som kan hjälpa producenter och konsumenter att hålla sig uppdaterade med den senaste tekniken och samtidigt förhålla sig till ett cirkulärt tankesätt, då vissa komponenter utvecklas i en snabbare takt än andra.

Ett genomgående tema i intervjuerna är påminnelsen om att en produkt har många komponenter och faser av sitt liv. Uppfattningen är att man idag fokuserar mest på hållbar utvinning samt konsumenternas återvinning men att det fortfarande krävs en förbättring i hur stor andel av det insamlade materialet som faktiskt hamnar i nya produkter. För att utveckla denna del krävs ett större samspel i designfasen där återvinningsaktörer tydligt förmedlar till producenter vad de har för krav för att kunna demontera produkterna och där producenterna av de mindre komponenterna bryr sig tillräckligt för att göra denna ansträngning under produktionen. En produkt kan alltså vara grön och hållbar ur ett utvinningsperspektiv men det innebär inte att den per automatik är det i ”end-of-life”-stadiet.

Idag outsourcar många producenter sin återvinning till bolag som Stena Recycling, som själva påpekar att det måste finnas lönsamhet i återvinningen för att detta koncept ska gå runt. Det är då värt att fundera på vad som händer om det mesta värdefulla kritiska materialet på marknaden byts ut till ett mindre värdefullt men också mindre farligt material. Basmetaller är i allmänhet material som går bra att återanvända många gånger utan att det tappar sitt värde medan trä och biobaserade material i regel inte har samma återanvändningspotential. Enligt de intervjupersonerna som har varit i kontakt med grön elektronik är det för tidigt att säga hur återvinningsfasen för produkter med digital cellulosa kommer att se ut eftersom tekniken fortfarande på många sätt är under utveckling. Hittills har fokuset framförallt legat på att framställa cellulosan miljövänligt och att hitta passande tillämpningsområden.

Ett av de responderande företagen förklarar att deras batterier med cellulosa idag inte har en uttänkt återvinningsplan men att på grund av de snälla materialen i produkten är återvinningsfasen inte lika viktig som för konventionella batterier. Företagsrepresentanten förklarar att det finns två möjliga scenarion när batteriet kommer till sitt “end-of-life"-stadie. Antingen så kommer produkten kännas igen som ett batteri under demonteringen och då skickas till återvinningsanläggning för små-batterier. Alternativet är att komponenten inte identifieras som ett batteri och istället slängs bland det brännbara avfallet. I fallet med dessa batterier är detta alternativ inte värre än att man bränner biomaterial och små delar av aluminium, vilket ofta räknas in i det brännbara materialet på återvinningscentraler. Om batteriet skulle skickas till anläggning för återvinning är det inte säkert att de skulle veta hur de ska hantera batteriet och det finns då en risk att det hamnar bland det brännbara avfallet ändå. En annan respondent berättar att det absolut är möjligt att återvinna rent papper men om papprets materialegenskaper ändrats för att passa i produkten kan det påverka återvinningsgraden. Man har också varit medveten om att man ännu inte vet riskerna med långsiktigt bruk av biobaserat material. Ett exempel som lyftes under intervjuerna var risken för att den digitala cellulosan skulle ha lättare för att fatta eld. Skulle materialet i förebyggande syfte behandlas för bli flamskyddat skulle det påverkar återvinningen negativt.

4.5 Digital cellulosa

Under intervjuer med experter inom digital cellulosa och anställda på företag inom branschen för batterier med cellulosa blir det tydligt hur brett begreppet digital cellulosa är. För många är det svårt att definiera exakt vad digital cellulosa är eftersom det kan vara så många olika

saker. Medarbetare på RISE förklarar att man har definierat det som ett elektriskt aktivt material som är cellulosa-baserad. Det görs tydligt under intervjuerna att cellulosan kan få ett brett spektrum av olika egenskaper beroende på vilken storts cellulosa det är och hur den behandlas.

Under de genomförda intervjuerna har fler olika komponenter för energilagring diskuterats och att det finns många användningsområden för cellulosa inom energilagring, får tydligt. Bland annat är utvecklingen av anoder av hårt kol från cellulosa ett område som utforskas. Tekniker för framställning av tryckt elektrisk i form av ledande papper, med potential för produktion av stora rullar för användning i storskalig energilagring, är ytterligare ett exempel på tillämpningar. Dessutom diskuterades utvecklingen av cellulosabaserade membran för flödesbatterier samt batterier av lignin för sensorer och små devices.

Det råder olika åsikter kring vilka som är de viktigaste framgångsfaktorerna och drivkrafterna för energilagringsbatterier med digital cellulosa. Flera av de intervjuade tar upp prestanda som den viktigaste framgångsfaktorn och att det måste gå att bevisa att komponenterna har tillräckligt hög prestanda och livslängd för specifika applikationer, och att de passar in i befintliga tillverkningskedjor. Det finns dock stora utmaningar kring att visa prov på de cellulosabaserade produkternas prestanda. Svårigheten med att lyckas bevisa produktens potential innan det finns färdiga produktionslinor för den i batterier är något som beskrivs i flera av intervjuerna som ett ”moment 22”. Ytterligare en liknande situation som beskrivs är de kommersiella utmaningarna med att etablera en storskalig produktion utan en befintlig kundbas. Ett av de intervjuade företagen fick på grund av sådana utmaningar göra ett strategiskt val och skifta fokus från den ursprungliga visionen att utveckla storskalig energilagring för förnybar energi till att satsa på småskalig energilagring.

Vikten av reglering som incitament till att byta till cellulosabaserade komponenter tas upp under flera intervjuer. Utan reglering är det oerhört svårt att få befintliga producenter av batterier att byta ut ett material eller en komponent de anpassat sin produktion efter under flera års tid. I ett av de intervjuade företagens fall är det EU:s reglering av PFAS kemikalier som har fått producenter att vända sig till alternativ baserade på cellulosa. På grund av att tekniken befinner sig i ett tidigt skede, ingår företaget och deras kunder gemensamma utvecklingsprojekt för att finansiera utformningen av produkten. Utifrån dessa projekt, som anpassas efter kundernas behov, formuleras kommersiella avtal. Utmaningarna för företaget förklaras ligga i att varje batterisystem skiljer sig åt och att produkten ska passa in i befintliga produktionsmodeller, snarare än en brist på incitament hos kunder. En annan intervjuad företagsrepresentant understryker också vikten av lagstiftning för att skapa innovationsincitament och menar att hållbarhetsincitamentet sällan räcker i sig självt. Det måste kombineras med andra anledningar för att en förändring ska ske.

Att den ekonomiska aspekten har stor påverkan nämns flertalet gånger. I kontrast till detta tror en av de intervjuade att det inte krävs ekonomiska incitament för övergång till grön elektronik och menar att det till stor del är kunskap som får människor att ändra sitt beteende. Personen trycker på vikten av god kommunikation till industrin och att ta sakdebatter för att öka politikers kunskap om de hållbara alternativ som finns, och som skapas, för energilagring.

Något som resoneras kring är att produkter med digital cellulosa måste ha en cirkularitet och faktiskt måste vara ett miljövänligare alternativ mot dagens produkter, vilket inte är en självklarhet i dagsläget. Flertalet av de intervjuade tar upp problematik kring dagens

skogsbruk och att det är viktigt att ha i åtanke var cellulosan kommer ifrån. Trots behovet att byta ut fossila resurser mot mer förnybar skogsråvara innebär upptrappning av skogsbruket också avverkning av potentiellt gamla skyddsvärda skogar, kortare omloppstider, riskfylld gödsling och förstörelse av ekosystemtjänster och den biologiska mångfalden. Det är även viktigt att våga utsätta sin produkt för en LCA analys för att kunna bekräfta produktens miljömässighet.

Utöver det miljömässiga ges ytterligare ett perspektiv av hållbarhet. Många av de metaller som används i konventionella batterier bryts ur gruvor där arbetsförhållandena är mycket dåliga och där det förekommer barnarbete. Många i materialens ursprungsländer lever redan i extrem fattigdom och när odlingsmarker och andra arbetsplatser försvinner på grund av att gruvproduktionerna breder ut sig finns få andra inkomstalternativ. Eftersom det finns en begränsad mängd av dessa metaller kan cellulosabaserade komponenter förutom att vara miljömässigt bättre även vara ett sätt att minska beroendet av konfliktmaterial.

Enligt experterna är de bästa applikationsområdena för cellulosabaserade batterier i nuläget områden där det krävs väldigt lite energi, såsom sensorer och små devices, eller i batterier i större skala där det går att uppta stor plats, såsom containrar eller lador med energilagring för avlastning av elnätet eller för temporär lagring av förnybar energi. Detta för att det än så länge inte går att uppnå tillräckligt hög energieffektivitet för andra typer av energilagring och applikationsområden än de ovannämnda. Under intervjuerna understryks utöver de i nuläget bäst anpassade områdena också den stora membranbristen på marknaden och hur denna kommer att öka. Membrantillverkarna tros i framtiden tvingas prioritera sina största kunder och utesluta de mindre. Därav ses cellulosabaserade membran som en snabbt växande komponent med stor potential.

Flera av experterna inom området trycker på vikten av modularitet för att kunna skapa återvinningsbara batterier med cellulosa. Cellulosabaserade komponenter och de övriga komponenterna måste gå att separera för att de olika materialen ska kunna cirkuleras. De intervjuade företagen förklarar däremot att de i sin innovationsprocess lägger större vikt vid att öka livslängden på sina produkter och i sin tur batterierna de används i än vid återvinningsprocessen. Hos samtliga intervjuade företag utgår man i livscykelanalysen från att batteriet i slutändan bränns.

4.6 Sammanfattning av resultatet

Det framgår att det framförallt är tre avseenden av cirkulär ekonomi och cirkulära affärsmodeller som de intervjuade genomgående håller med om. Det gäller att “cirkulär ekonomi” är ett brett och mångtydigt begrepp med många olika delar som kan kombineras på olika sätt beroende på situation och produkt. Något som däremot verkar gälla är vikten av design och tjänstefiering av produkter. Genom rätt design läggs förutsättningarna för att kunna skapa cirkulära flöden och skapa erbjudanden där värde skapas i tjänster, reparationer och underhåll.

I flertalet intervjuer framkommer det att lagstiftning är en avgörande drivkraft för övergången till cirkulär ekonomi, även om processen att skapa nya lagar kan vara utdragen och ibland leda till suboptimala resultat. Lagstiftningen är viktig för att främja cirkulära flöden, där till exempel EU:s nya batteriförordning ökar producenternas ansvar över hela batteriets värdekedja. Ekonomiska incitament såsom konkurrenskraft och konsumentkrav på hållbarhet stärker också företags vilja att investera i cirkulära modeller som till exempel produkt-som-tjänst modeller. Dock finns det även hinder för den cirkulära ekonomin, bland annat att dagens lagstiftning är otillräcklig, samt att det kan existera en kunskapsbrist hos politiker och företagsledare. Detta försvårar implementeringen av cirkulär ekonomi.

Det är uppenbart att det behövs mer batterier för att klara av en omställning till förnybar energi, samt omställningen till en fossilfri fordonsflotta, men detta är inte helt problemfritt. Det pågår diskussioner kring att batterier möjligen inte är ett miljövänligt alternativ. Detta till stor del på grund av att batterier består av ändliga resurser men även hur dessa utvinns. För att främja hållbar utveckling krävs investeringar i nya tekniker och stöd från offentliga sektorn som leder till tillräcklig marknadsvolym.

Återvinningen kräver ett starkt samarbete mellan inblandade aktörer. Under intervjuerna tas framförallt design upp som en viktig komponent. Det gäller att aktörerna kan kommunicera sina behov och därmed uppnå en optimal utformning av produkten. Digitala produktpass kan komma att bli högst relevanta i elektronik och batterier både med och utan digital cellulosa för att kunna förmedla om lämpliga återvinningsprocesser till aktörer i “end-of-life"-stadiet. Det kan också uppstå problem med återvinning i lagstiftningar då det är en snabbt växande marknad. Lagkrav på återvunnet material i en produkt kan komma att bli problematiskt att uppfylla då produkterna på marknaden idag har en lång livslängd innan de blir till avfall och kan återvinnas till nytt material.

Digital cellulosa är ett brett begrepp då det finns många olika sätt att behandla cellulosan för att få de egenskaper som krävs i olika applikationer. Det finns flertalet tekniker och komponenter som utvecklats och som fungerar. Det finns dock stora utmaningar med att visa prov på de cellulosabaserade produkternas prestanda och möjlighet till storskalighet. Detta beror på att det ännu inte finns färdiga produktionslinor för batterier med cellulosabaserade komponenter. Enligt experterna är de bästa applikationsområdena för cellulosabaserade batterier i nuläget områden där det krävs väldigt lite energi eller där det går att uppta stor plats. Dessutom har membran baserade på cellulosa möjlighet att ta sig in på marknaden tack vare lagstiftning som förbjuder konventionella membran producerade med PFAS-kemikalier.

5. Diskussion

Diskussionen är baserad på de insikter som har uppkommit under litteraturstudien och resultatet, vilket är baserat på intervjuerna. Avsnittet är uppdelat i fyra delar, där de tre inledande sektionerna utgår från studiens tre frågeställningar. Det sista stycket är framtidsutsikter angående den digitala cellulosans roll i energilagringen framöver.

5.1 Hållbara aspekter med digital cellulosa i energilagring

Det finns olika aspekter att ta i beaktning för att digital cellulosa i energilagring ska vara ett hållbart alternativ gentemot dagens alternativ. Nedan framställs förutsättningar men även problematiken för huruvida digital cellulosa är ett hållbart alternativ.

5.1.1 Ändliga resurser

Hållbarheten i energilagringsektorn, och i synnerhet batterisektorn, är i nuläget mycket ifrågasatt. Efterfrågan på energilagring ökar i hög fart i takt med att samhället elektrifieras. De snabbast expanderande områdena är dels batterier till fordonsbranschen, men också branschen för stationär energilagring i och med omställningen till mer förnybar energi. Den kommande bristen på de kritiska material som litium, kobolt och nickel, som krävs i produktionen av dagens konventionella batterier, blir allt mer tydlig. Detta står i stor kontrast till den cirkulära ekonomin och hållbarhetsinitiativ i stort som har som mål att frikoppla den ekonomiska utvecklingen från den ändliga resursanvändningen. Dagens globala hållbarhetsstrategi, som innebär att ersätta fossil energi med förnybara alternativ, är ohållbar så länge den bygger på ytterligare ändliga resurser. Att ersätta de kritiska och ändliga materialen i batterier är därför väsentligt för att skapa en hållbar energilagringssektor. Dessutom är det ett krav för att säkerställa att det framtida behovet av batterier ska kunna täckas. Komponenter av digital cellulosa är ett mycket lovande sätt att byta ut kritiska material i batterier mot biobaserade alternativ, dvs oändliga resurser.

Något som står i konflikt till argumentationen kring komponenter baserade på cellulosas hållbarhet är problematiken med skogsbruk. Det räcker inte att byta ut ändliga resurser för att göra en produkt fullständigt hållbar. För att produkter av digital cellulosa i batterier ska förbli hållbara är det av stor vikt att en intensifiering av det storskaliga skogsbruket inte överexploaterar de ekosystem som är källa till cellulosan. Reglering kring skogsbruk måste finnas på plats för att en bioekonomi ska kunna fungera. För att storskaligt och på lång sikt byta ut komponenter i batterier krävs alltså utvärdering av cellulosakällorna och dess hållbarhet. För att visa på en produkts långsiktiga hållbarhet krävs analyser på hela dess livscykel.

5.1.2 Kritiska material

Utöver miljömässiga hållbarhetsargument för cirkulär ekonomi och biobaserade material finns även andra drivkrafter som berör den ekonomiska och sociala hållbarheten. Ytterligare dimensioner av den digitala cellulosans hållbarhet är de geopolitiska problem som råder kring de kritiska material som i dagsläget används i batterier. Många leverantörer bryter mot grundläggande arbetsförhållanderättsliga och mänskliga rättigheter vilket ger hela dagens

batteribransch mycket låg social hållbarhet. Att vara beroende av ändliga resurser från problematiska delar av världen innebär utöver den sociala problematiken också osäkerhet i både priser och tillgänglighet av resurser. I takt med samhällets elektrifiering blir bristen på kritiska metaller allt större. När efterfrågan ökar på ändliga resurser höjs priserna kraftigt och leverantörsnätverken kan rubbas. Dessutom kan nya lagar och regleringar i både Sverige och länderna resurserna kommer ifrån utmana dagens system. När medvetenheten kring problematiken med dagens material ökar och nya alternativ innoveras drivs initiativ för att minska beroendet av ohållbara resurser. Att ligga i framkant med hållbara material, i flera aspekter, ger företag ett försprång mot just denna typ av regleringar. Andra oförutsägbara och okontrollerbara händelser som krig, konflikter och naturkatastrofer är ytterligare risker med att vara beroende av dessa typer av metaller. Genom att byta ut de kritiska materialen kan energilagringsbranschen minska sitt beroende av resurser från geopolitiskt problematiska länder och på så sätt öka både sin sociala och ekonomiska hållbarhet. Digital cellulosa är ett bra alternativ tillgänglighetsmässigt då cellulosa är en förnybar resurs som kan produceras i stort sett var som helst. Materialet ger förutsättningar för att kunna kontrollera både den miljömässiga, sociala och ekonomiska hållbarheten från batterivärdekedjans början till slut. Dessutom minskar riskerna för problematik relaterat till konflikter, krig och naturkatastrofer med alternativ baserade på cellulosa.

Något som är viktigt att ha i åtanke i kontrast till de positiva aspekterna kring att ersätta kritiska material är att en bojkott av de kritiska materialen kan vara förödande för alla de människor som försörjs av gruvproduktionen. Gruvdriften är en god möjlighet för utvecklingsländer att förbättra ekonomin och förhållandena för befolkningen men för att detta ska ske krävs att batteriproducenterna ställer krav på arbetsförhållandena hos sina leverantörer. Konsumenterna i sin tur måste bli upplysta om vad deras val av produkt kan göra för skillnad. Då behovet av kritiska metaller inte kommer sina trots introduktionen av cellulosabaserade komponenter på marknaden tros inte detta komma att påverka gruvornas inkomst negativt då behovet av batterier ständigt ökar. Däremot skulle det kunna vara en drivkraft för att göra även de konventionella batterierna mer hållbara, i flera bemärkelser, och förbättra den sociala problematiken kring kritiska material.

5.1.3 PFAS kemikalier

PFAS är ett samlingsnamn för skadliga kemikalier som används i bland annat membran i flödesbatterier. I och med EU:s beslut om att fasa ut denna typ av kemikalier under kommande år har efterfrågan på PFAS-fria membran skjutit i höjden. Det finns helt enkelt inte tillräckligt många membran av denna typ på marknaden för att täcka behovet. Att kunna ersätta PFAS membran med cellulosabaserade alternativ är därför ett bra sätt att göra energibranschen fri från skadliga kemikalier och därmed mer hållbar. I takt med att fler kemikalier och material fasas ut kan cellulosabaserade komponenter vara ett förslag som, utöver att produceras utan kemikalier, dessutom bygger på förnybara material.

5.1.4 Återvinning

Eftersom produkter med digital cellulosa fortfarande är så pass nytt, verkar det mesta av fokuset på marknaden fortfarande ligga på utvecklandet av tekniken och dess tillämpning. Det är idag alltså inte klart hur återvinningsfasen för batterier med digital cellulosa kommer att se ut. Intervjuer med experter inom återvinning och cirkularitet underströk dock vikten av att planera för hela produktens livscykel redan i utvecklingsfasen. Det framgår att hela

livscykeln, inkluderat “end-of-life"-stadiet, måste tas i beaktning för att en produkt ska kunna kallas för hållbar.

Ett stort problem när dessa produkter kommer ut på marknaden tros vara bristande information kring hur återvinningsprocessen ska se ut. Eftersom tekniken är helt ny inom detta fält måste ett sätt hittas så att information om hur man ska avfallshantera cellulosan når ut till alla inblandade aktörer. Det är alltid en utmaning när det kommer ut produkter med nya tekniker som helt frångår marknadens standarder. Det kan då krävas nya rutiner och metoder, ny kunskap och en annan typ av anläggningar. Allt detta innebär ytterligare investeringar för de företag som jobbar med återvinning, vilket kan vara en utmaning för att möjliggöra fullständig cirkularitet hos denna typ av komponenter.

På dagens globala marknad är det dessutom möjligt att produkterna konsumeras på global skala, vilket medför en utmaning i att kommunicera hur tekniken bör hanteras när den blir avfall på ett universellt sätt. Under intervjuer lyftes digitala produktpass som ett verktyg för att kunna kommunicera hanteringen av produkten. Detta förväntas möjliggöra en högre återvinningsgrad. Dock är även digitala produktpass något som fortfarande är under utveckling och det är inte helt självklart hur man ska förmedla informationen på bästa sätt.

Fördelen med cellulosa som material i batterierna verkar, enligt intervjuerna, vara att miljökonsekvenserna av att batterierna inte återvinns utan endast förbränns är mindre än om samma sak sker med konventionella batterier. Det finns idag stor sannolikhet att dessa batterier slängs som brännbart material då man inte vet hur de ska behandlas. Eftersom dessa batterier bara innehåller biobaserat material och relativt snälla metaller är det värsta som kan hända att man förbränner aluminium, ett material som faktiskt brukar godkännas som brännbart på återvinningscentraler. Alltså kan ett cellulosabaserat batteri vara mer hållbart än ett konventionellt trots att det inte återvinns.

Det är idag inte tydligt vilken potential som finns för en marknad i återvinning av batterier med digital cellulosa. Dock behöver det inte betyda att det saknas potential för cirkulära materialflöden. Istället för konventionell återvinning i dagens återvinningssystem kan materialet kan brytas ner och användas i framställningen av nya produkter på andra sätt. Återvinning är en komplex process och idag finns inget tydligt svar på hur återvinningen kommer se ut för produkter med digital cellulosa då det också beror på vilken applikation de produkterna ska användas i. Behöver digital cellulosa överhuvudtaget kunna återvinnas eller kan det finnas andra hållbara sätt att hantera avfallet från batterierna? Kommer det att behövas nya tekniker och anläggningar? Vem ska i så fall finansiera dessa nya anläggningar? Bör batterierna vara anpassade efter dagens processer? Detta är definitivt fortfarande outforskad mark men något som bör undersökas mer framöver.

5.2 Förutsättningar för att möjliggöra digital cellulosa i energilagring

Det finns ett flertal olika faktorer som har betydelse för att digital cellulosa i batteri-baserad energilagring ska vara framgångsrikt på marknaden. Nedan presenteras de interna förutsättningarna, det vill säga vilka applikationsområden som tekniken är mogen för. Vidare redogörs för vad som krävs av omvärlden för att produkterna ska nå framgång på marknaden.

5.2.1 Interna förutsättningar

För att digital cellulosa ska bli en framgångsrik och hållbar lösning inom batteri-baserad energilagring är en viktigt intern förutsättning att tekniken visar på tillräckligt relevant prestanda och livslängd för sin valda applikation. Detta innebär att den cellulosabaserade tekniken måste prestera minst lika bra som de konventionella teknikerna. Det forskas vidare på de cellulosabaserade produkternas prestanda, där utmaningarna ligger i att lyckas bevisa cellulosans potential i batterier i stor skala utan att det ännu finns färdiga produktionslinor för det.

Sett utifrån de tekniska förutsättningar som föreligger idag är de bästa applikationsområdena för cellulosabaserade batterier i nuläget områden där det krävs mindre energi, såsom sensorer och små enheter. Alternativt storskalig stationär energilagring i anslutning till förnybara energikällor där storlek och vikt inte är avgörande parametrar. Det är alltså inom dessa segment som cellulosabaserade tekniker anses vara mest konkurrenskraftiga idag och kan ta marknadsandelar.

Än så länge uppnår inte den cellulosabaserade tekniken tillräckligt hög energitäthet för att användas i exempelvis fordon, därför är tekniken idag inte konkurrenskraftig inom transportsektorn. För att cellulosa batterier ska bli ett alternativ inom transportsektorn krävs vidareutveckling för att uppnå en högre grad av energitäthet.

En annan avgörande aspekt är de ekonomiska förutsättningarna, det vill säga förmågan att kunna finansiera produktion och utveckling av de cellulosabaserade batterierna. Det är viktigt att hitta en första kund som köper produkten och som kan agera referens för framtida kunder. Detta kan vara utmanande för att konsumenter ofta köper sådant som de vet fungerar och som andra köper. Det gäller alltså att någon måste våga satsa på den nya tekniken.

Ur resultatet framgår vikten av att det måste finnas ekonomiska fördelar med den cellulosabaserade tekniken jämfört med de konventionella, det räcker alltså inte att tekniken visar på relevant prestanda, eller att det är ett miljömässigt bättre alternativ. Exempelvis att det är billigare att producera cellulosabaserade batterier. Andra ekonomiska fördelar kan vara att företag som presterar väl inom hållbarhet ofta också uppvisar starka finansiella resultat jämfört med företag med bristande hållbarhetsarbete. Detta stärker argumentet för att implementera grön teknologi i batteriproduktion. Investerarnas växande intresse för företag med starka hållbarhetsprofiler pekar också mot en omställning i investeringsstrategier. Med tanke på att ekonomisk lönsamhet är en av de starkaste drivkrafterna för företag, bör dessa aspekter uppmuntra en övergång till mer hållbara affärsmodeller. Dock bör det framhållas att en organisatorisk transformation är kostsam. Initiala investeringar är bara en del av utmaningen, där bristande kunskap inom företagsledning och bland anställda ytterligare kan öka kostnaderna för övergången. För att underlätta denna omställning och uppnå långsiktig lönsamhet är det avgörande att företagen har en god kunskap om cirkularitet och hållbarhet.

Detta för att kunna finna samt etablera partnerskap med hållbarhetsmedvetna leverantörer samt lyckas engagera alla relevanta intressenter som krävs för att främja en cirkulär produktion och affär.

5.2.2 Externa förutsättningar

För att digital cellulosa i batteri-baserad energilagring ska lyckas på marknaden spelar externa förutsättningar en stor roll. Områden som lagar och regler, konsumenter och ekonomi påverkar huruvida det kommer bli en framgångsrik lösning gentemot dagen konventionella teknik.

5.2.2.1 Lagstiftning och ekonomi

En tydlig gemensam nämnare från både teorin och resultatet är det faktum att lagar och regler som främjar cirkulär ekonomi och hållbarhet är en viktig förutsättning för att produkter med hållbara material ska kunna få fäste på marknaden. Då ekonomisk lönsamhet är en stark drivkraft för företag att ställa om från det linjära till det cirkulära, är det viktigt att det finns lagstiftning som skapar ekonomiska incitament för denna omställning. Detta kan bland annat innebära mer förmånliga skatter eller andra subventioner för företag som arbetar med cirkulära flöden eller att företag som inte uppfyller miniminivån av återvunnet material i en produkt blir straffade ekonomiskt. Dessa ekonomiska styrmedel är en grundläggande förutsättning för att företag ska våga ställa om, då övergången från en linjär till en cirkulär produktionsprocess kan vara både kostsam och komplicerad.

Vidare krävs det en transformation från dagens felkalibrering gällande ändliga resurser och arbetskraft. Ekonomiska styrmedel krävs för att överkomma denna barriär där det idag är för billigt med ändliga resurser, vilket skapar incitament för en fortsatt linjär produktionskedja.

Dock är det viktigt att notera hastigheten som marknaden för batterier förväntas växa i, där den globala efterfrågan på batterier beräknas vara mer än 10 gånger så stor år 2030. Detta, i kombination med de trögrörliga processerna för att ta fram lagar och regelverk, kan leda till en lagstiftning som blir suboptimal och kanske till och med motverkar företag från att bli mer cirkulära. Redan nu finns det indikationer på detta problem, där dagens lagstiftning inte alltid anses vara tillräckligt proaktiv. Utöver det framkommer det i rapportens resultat att lagstiftningen är anpassad efter den linjära ekonomin. Detta gör att det kan bli mer fördelaktigt att driva ett företag med linjär affärsmodell, där processer som återvinning blir mer av en eftertanke än ett långsiktigt arbete. Dagens bristande lagstiftning kan enligt vad som framgår i resultatet vara en konsekvens av att politiker saknar kunskap om cirkulär ekonomi. Kunskap är något som lyfts fram konsekvent som en yttre förutsättning för en cirkulär omställning. Utöver kunskap hos beslutsfattare är också kunskap hos kunder, investerare samt företagsrepresentanter av stor vikt.

5.2.2.2 Konsumenter

Som en yttre förutsättning är det främst kunskap och medvetenhet bland kunder som är väsentligt. Detta då efterfrågan och konsumtion skapar incitament för företag att bedriva en mer cirkulär och hållbar verksamhet. Eftersom den cirkulära ekonomin bygger på förväntningen att kunderna återanvänder produkter och minskar sitt linjära beteende, blir konsumenternas kunskap om cirkularitet en viktig grund för en cirkulär omställning. Det finns en brist på detta bland kunderna och en syn på cirkulära produkter som opålitliga och med en

lägre standard. Dock finns det studier som pekar på att det pågår en transformation kring detta, där yngre generationer efterfrågar mer hållbara produkter och verkar ändra sina köpvanor i syfte att inkludera produkter som är bättre för miljön.

5.2.2.3 Batterimarknaden

Det framgår tydligt i datainsamlingen att batterimarknaden är ständigt växande och att efterfråga på batterier kommer att öka de kommande åren. Detta grundar sig i omställningen till mer förnybar energi samt omställningen till en fossilfri fordonsflotta. Marknaden domineras av litium-jon batterier på grund av dess höga energitäthet och långa livslängd. Detta för att den största drivkraften bakom utvecklingen av batterier i många år har kommit från transportsektorn där dessa egenskaper är högt prioriterade. Med en ökad marknad inom stationär energilagring öppnas nya möjligheter för andra batteriteknologier att få fäste på marknaden.

Nedan presenteras en sammanfattning av de olika förutsättningarna för digital cellulosa i batteri-baserad energilagring illustrerat i form av en SWOT-analys.

	Hjälpsamma	Skadliga
Interna faktorer (inom företaget)	**Styrkor** Hög teknisk prestanda i specifika tillämpningar Potential för starka finansiella resultat	**Svagheter** Svårt att hitta första kunden Ny teknik, okänd kapacitet inom vissa områden
Externa faktorer (utanför företaget)	**Möjligheter** Stor efterfrågan på batterier Ej risk för materialbrist Uppfylla EU:s krav på klimatavtryck	**Hot** Trögrörliga politiska processer Kunskapsbrist bland potentiella konsumenter

Figur 5: SWOT-analys över förutsättningar för digital cellulosa i batteri-baserad energilagring

5.3 Affärsmodeller för batterier med digital cellulosa

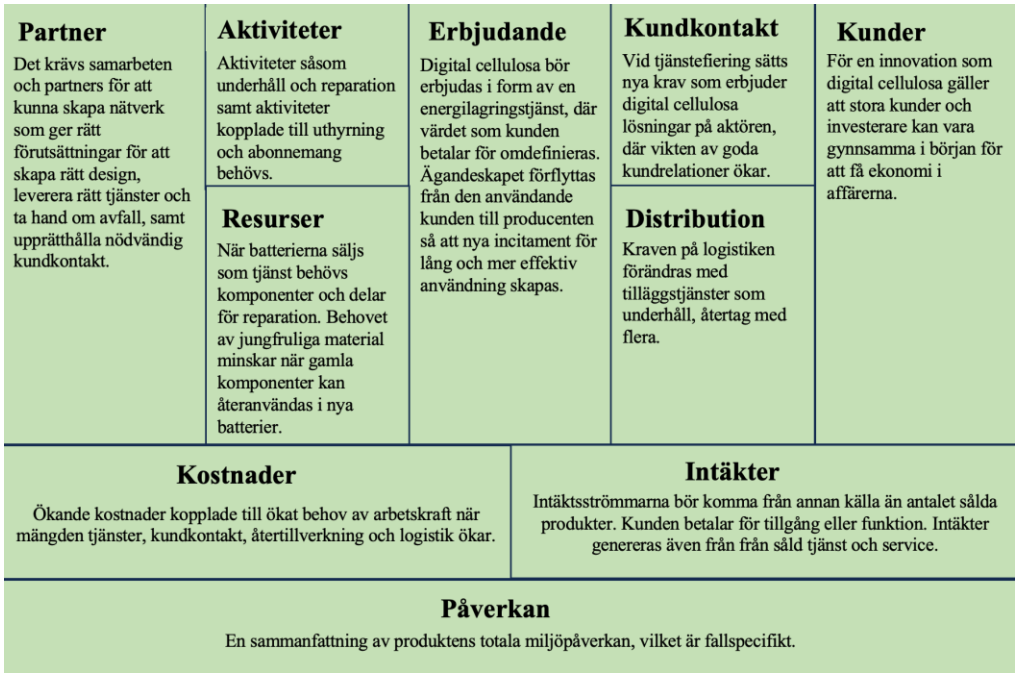
I det teoretiska ramverket samt resultatet presenteras olika hjälpmedel för att övergå från en linjär ekonomi till en mer cirkulär ekonomi. Nedan presenteras de olika verktygen som kan vara till hjälp för att nå en cirkulär ekonomi samt hur de kan appliceras specifikt på digital cellulosa för batteri-baserad energilagring.

5.3.1 Circular Business Model Canvas

Verktyget Circular Business Model Canvas hjälper till att strukturera upp affärsmodeller samt skapa och visualisera dess olika delar. Samtidigt som den berör den grundläggande affärslogiken, hur värde skapas och levereras till kund, fokuserar modellen även på

hållbarhetsaspekter och cirkularitet. Varje del och ruta i canvasen öppnar upp för diskussion för hur affären kan bli mer hållbar och för nya möjligheter att tänka cirkulärt. Modellen är därför en bra utgångspunkt för att säkerställa att digital cellulosa är framgångsrikt i en cirkulär ekonomi. För studiens avgränsningar och syfte anses vissa delar i modellen vara av större intresse och vikt. Detta eftersom digital cellulosa undersöks i större och mer generell bemärkelse och vissa av rubrikerna tenderar att bli för fallspecifika och mer beroende av den faktiska produkten.

Detta innebär att olika delar av CBMC diskuteras mer eller mindre. Rutorna för bland annat *Kunder, Aktiviteter, Resurser* och *Kostnader* blir mer fallspecifika där den faktiska produkten och dess sammanhang blir mer väsentliga. Dessa delar kommer därför att nämnas men med en begränsad diskussion på en högre nivå. Vad som bör ingå i modellens samtliga delar sammanfattas i figuren nedan.



Figur 6: Sammanfattning av CBMC applicerat på energilagring innehållande digital cellulosa

5.3.1.1 Erbjudande

I affärsmodellen för digital cellulosa krävs samtliga delar men utifrån resultaten från intervjuerna kan de cirkulära principerna främst appliceras under rubriken erbjudande. I erbjudandet definieras det som kunden betalar för och vad det är i produkten eller tjänsten som kunden ser ett värde i. En vanlig cirkulär strategi som förespråkades av de intervjuade är tjänstefiering där annars klassiska produkter istället säljs som tjänster. För den digitala cellulosan kan denna strategi appliceras så att kunden, istället för att köpa ett batteri, köper eller får tillgång till tjänsten/funktionen energilagring. Värdet som kunden betalar för skulle då omdefinieras när ägandeskapet inte längre ligger hos den användande kunden.

5.3.1.2 Intäkter

De olika delarna i affärsmodellcanvasen hänger samman och då erbjudandet tar form av en tjänst påverkas hur intäkterna genereras. För en affärsmodell för energilagring baserad på

digital cellulosa som säljs som en tjänst snarare än som en produkt gäller att intäktsströmmarna måste komma från en annan källa än antalet sålda produkter (engångstransaktion). Istället betalar kunden för andra värden såsom tillgång eller funktion samt olika tjänster som t ex underhåll, ta tillbaka produkter för återbruk i samma applikation hos nästa kund eller återbruk i andra applikationer. Generering av intäkter är nödvändigt för att det ska finnas ekonomi i de cirkulära lösningar och för att affären även ska vara ekonomiskt hållbar.

5.3.1.3 Kunder

Vem kunden är är starkt beroende av själva produkten samt applikationsområde. Batteri-baserad energilagring med digital cellulosa kommer i olika format och beroende på batterityp kan det handla om antingen många och små privatkunder eller färre större kunder i form av företag, kommuner och myndigheter. Beroende på typ av produkt och därmed typ av kund ser förutsättningarna för resterande av affärsmodell ut. För en ny teknik som digital cellulosa gäller att stora kunder och investerare kan vara gynnsamma i början då detta kan hjälpa till att få skala och därmed ekonomi i affärerna.

5.3.1.4 Kundkontakt

För cirkulära affärsmodeller och affärsmodeller som snarare bygger på tjänster än produkter ökar vikten av kundkontakt och kundrelationer. Detta sätter nya avtalskrav på aktören som behöver kunna tillgodose kunden med nya tjänster. Beroende på typ av produkt och applikation och därmed typ av kund kan kundkontakten skötas av företaget själv eller med hjälp av mellanhänder och leverantörer.

5.3.1.5 Distribution

För tjänster och affärer med större behov av kundkontakt uppkommer ett annat typ av behov av distribution när material- och produktflödet blir annorlunda. Kraven på logistiken samt returlogistiken förändras när tjänster som återtagande av produkter behövs.

5.3.1.6 Partners

För att kunna leverera köpt värde till kunderna kan olika samarbeten och partnerskap behövas. Detta för att kunna skapa ett nätverk eller så kallad ekosystem med relevanta aktörer, och rätt förutsättningar för att kunna skapa rätt design, leverera rätt tjänster och kunna ta hand om eventuellt avfall. Genom industriell symbios kan avfall och överskott av material bättre omhändertas och utnyttjas och tjänster och service bättre tillgängliggöras till kunden. Tillsammans i ett ekosystem av relevanta aktörer kan man hitta nya applikationer för uttjänta produkter och produktkomponenter och på så sätt öka effektiviteten i återbruk samt materialanvändningen. För produkter med digital cellulosa gäller framförallt att samarbeten i form av partnerskap behövs för utveckling av återbruks- och återvinnigsprocesser samt design som underlättar för dessa.

5.3.1.7 Aktiviteter

Även nödvändiga aktiviteter kommer att påverkas och förändras när batterier erbjuds i form av en tjänst snarare än som produkt. Beroende på det exakta värdeerbjudandet kan aktiviteter såsom underhåll och reparation av batterierna kan behövas som tilläggstjänster samt

aktiviteter kopplade till uthyrning, leasing och abonnemang. Även återtagande och återtillverkande aktiviteter kan behövas.

5.3.1.8 Resurser

Batterier med digital cellulosa kommer skapa ett annat behov av resurser, dels på grund av dess användning av förnybara material istället för kritiska metaller men även på grund av värdeerbjudandets form. När batterierna säljs som en tjänst och med kompletterande tilläggstjänster som t ex underhåll behövs även reservdelar fr att kunna reparera produkten. Uttjänta produkter och produktkomponenter kan återanvändas i nya batterier istället för att dessa direkt blir till avfall, något som minskar behovet av jungfruligt material.

5.3.1.9 Kostnader

Kostnaderna förknippade med tjänstebaserade cirkulära affärsmodeller är även dessa fallspecifika där det, beroende på den specifika produkten samt applikation, ser olika ut. En av de större skillnaderna, jämfört med den konventionella försäljningen av batterier som produkt, är ett annat, och möjligtvis större, behov av arbetskraft när mängden tjänster, kundkontakt, service, underhåll och logistik ökar. Kostnader förknippade med återtagande logistik, återtillverkning och reparationer kommer att uppstå.

5.3.1.10 Påverkan

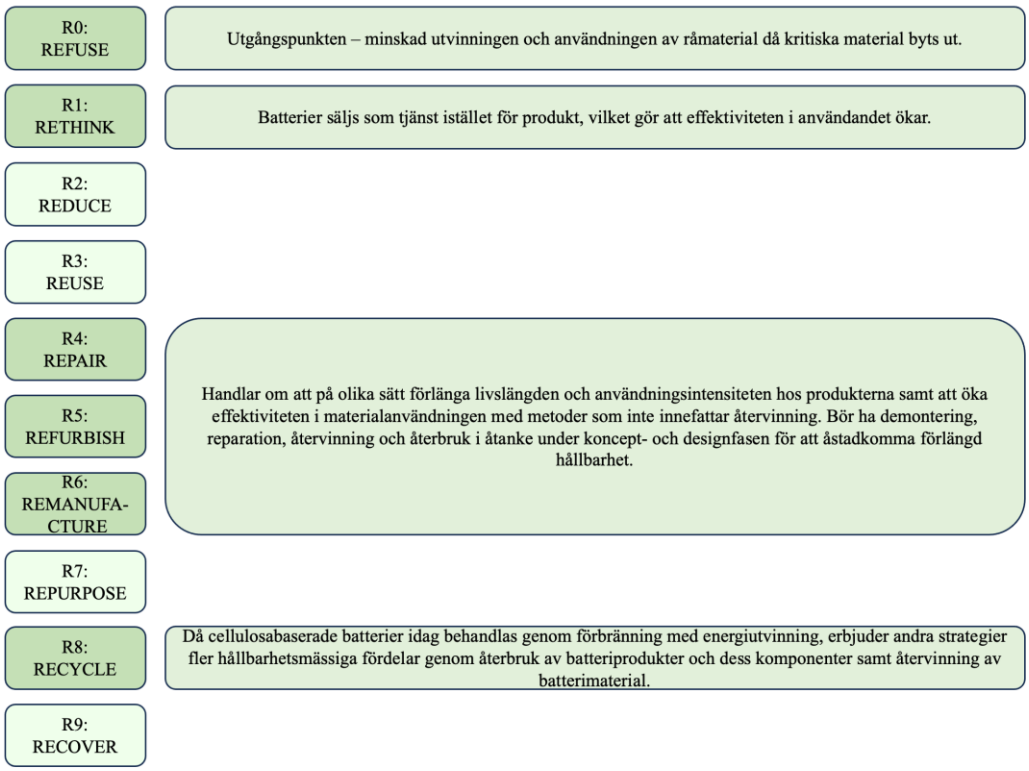
Denna del av affärsmodellcanvasen kan ses som en sammanfattning av produktens totala miljöpåverkan och summerar såväl de positiva och negativa aspekterna. Genom att få en övergripande förståelse för hur påverkan ser ut på samhället och miljön kan de övriga nio rutorna arbetas med och förbättras. Denna ruta är alltså fallspecifik och tätt beroende av den specifika produkten och kommer därför inte att diskuteras vidare.

5.3.2 R-ramverket

Under intervjuerna tydliggjordes att olika tolkningar av R-ramverket används som en utgångspunkt då affärsmodeller görs cirkulära. Oberoende antal ingående R struktureras de cirkulära problemen och åtgärderna upp. Vilket eller vilka som är av intresse eller ens möjliga att arbeta med är beroende av produkt samt applikation. Affärsmodellen för digital cellulosa berör flera av R-strategierna, vilka presenteras i Figur 7, då denna görs mer cirkulär. En av strategierna är Refuse, vilket handlar om att vägra användningen av vissa produkter och material. För Produkter med digital cellulosa handlar det om att förebygga eller förhindra utvinningen och användningen av råmaterial i produktionen av tjänsten. Eftersom produkter med digital cellulosa bygger på ett ersättande av ändliga resurser mot förnybara resurser i form av cellulosa-material är Refuse en grundläggande strategi och utgångspunkt i batterier med digital cellulosa. Utöver denna strategi kan även andra R-principer användas för att utveckla en passande cirkulär affärsmodell.

Nedan presenteras de principer i R-ramverket som anses lämpliga att applicera på produkter med digital cellulosa. Dessa principer diskuterades av några eller samtliga av respondenterna och anses i högre grad framgångsrikt kunna bidra till att nå en cirkulär ekonomi. Vissa R-

principer nämndes inte till någon vidare grad av någon av respondenterna och även på grund av studiens begränsade tid har därför utelämnats från vidare diskussion, dessa utelämnas därför även i nedanstående figur 7.



Figur 7: Sammanställning av R-ramverket applicerat på energilagring innehållande digital cellulosa

I dagsläget läggs mycket fokus på återvinning hos flertalet produkter då det är lätt för företagen att arbeta med då det inte ställer lika höga krav på grundläggande förändring och är lätt att visualisera och kvantifiera. Efter intervjuer framgår dock att dagens cellulosabaserade elektronik och återvinningssystem inte är i samspel. De cellulosabaserade batterierna som ankommer till återvinningscentralerna skulle idag förbrännas och endast energin och inte materialet skulle återvinnas. Idag ger därför andra strategier än *Recycle* i R-ramverket mer effekt, samtidigt kräver de resterande strategierna högre krav på förändring hos både företag och konsumenter.

Några av de R-strategier som kräver en grundläggande förändring hos företagen är *Refurbish*, *Remanufacture* och *Repair*, vilka alla tre handlar om att på olika sätt förlänga livslängden på produkterna samt att öka effektiviteten i materialanvändningen med hjälp av metoder som inte innefattar återvinning. Grunden och förutsättningarna till dessa strategier sätts redan i designfasen, eller helst ännu tidigare i konceptfasen, och möjliggör på det sättet att cirkulariteten inkluderas redan från början. Vid utveckling av produkter innehållande digital cellulosa är det därför viktigt att redan från start ha i åtanke hur konceptet och designen kan påverka möjligheten till demontering, reparation, återvinning och återbruk, vilka alla är komponenter som kan leda till förlängd hållbarhet.

Vidare är det viktigt att ha *Rethink* i åtanke för att energilagring med digital cellulosa ska vara framgångsrikt cirkulärt. Strategin bygger på att ett stort antal kunder använder produkten utan att köpa den och på så sätt öka effektiviteten i användandet. Ett tillvägagångssätt för att

möjliggöra *Rethink* i cirkulära affärsmodeller är tjänstefiering och delningsplattformar, vilket tros bli alltmer vanligt för framtidens produkter.

5.3.3 Komponenter i affärsmodellen

Utifrån de två ovan nämnda modellerna och ramverken, Circular Business Model Canvas och R-ramverket, och resultatet från intervjuerna kan vissa cirkulära komponenter lyftas fram med mer potential för affärsmodeller för digital cellulosa. De två komponenter och strategier vars vikt och cirkulära effekt tydligt lyfts fram under studien är Tjänstefiering och Design.

Något som tydliggjordes både i litteraturen och under intervjuerna var vikten av produktens design. Redan i koncept- och designfasen läggs grunden och förutsättningar för hur produkterna senare kan hanteras och hur de påverkar vår miljö. Det handlar både om val av material och relationen mellan de ingående komponenterna där båda delar har stor påverkan på end-of-life och återvinningen. När det kommer till energilagring skiljer sig möjligheterna åt för hur miljö- och hållbarhetsanpassad design utformas. En bred särskiljning kan göras mellan batterier av mindre storlek för små devices och stora stationära batterier.

Även tjänstefiering är en nyckelkomponent till en cirkulär affärsmodell för energilagring innehållande digital cellulosa. Genom tjänstefiering kan företag fortsatt inneha produktägandet och istället sälja en tjänst till kunden i syfte att öka effektiviteten i användningen samt skapa motivation för att förlänga livslängden på produkten. I fallet med energilagring för digital cellulosa innebär det att det finns företag som producerar och äger batterier som de sedan i form av en tjänst säljer till andra företag och kunder. Det ägande företaget ansvarar för underhåll och reparationer samt hur och var batterierna bör återvinnas. Förhoppningen är att produkterna ska användas längre och oftare för att minska behovet av att köpa nytt. Likaså vid tjänstefiering ser potentialen olika ut beroende på typ av och storlek av batteri och därmed applikation.

5.3.3.1 Cirkulär affärsmodell för mindre batterier i små devices

Vid utvecklingen av batterier av mindre storlek för små devices är det betydande att se till att de designas på ett sätt så att en hållbar återvinningsprocess är möjlig. Vid en hållbar återvinningsprocess är målet att komponenterna ska gå att separera med enkla metoder samt tidseffektivt. De råvaror som utvinns ur de olika komponenterna behöver vara rena för att gå att använda i nya produkter. Under designfasen av ett mindre batteri är det alltså viktigt att säkerställa att komponenterna i batteriet enkelt går att separera samt att delarna inte innehåller blandat material. De olika komponenterna i ett mindre batteri bör gå att sortera var för sig för att förlänga de enskilda livscyklerna. För att garantera att produkten i slutändan når återvinningsprocessen är det önskvärt att det finns en produktägare som tillhandahåller batterierna. Ägandeskapet ligger på så sätt aldrig hos kunden utan de har endast ansvar över produkten tills dess att användningsperioden eller prenumerationen går ut. En prenumerationstjänst ökar effektiviteten på användningen då kunderna endast prenumererar på batterierna under den tid de är i bruk. På så sätt används batterierna oftare än om kunden hade haft ägandet. Samtidigt är en prenumerationstjänst för mindre batterier problematisk då batterierna i de flesta fall redan är integrerade i den produkt de har syfte att verka i. Det finns även ett stort antal produkter, vilket försvårar för produktägaren att ha koll på batterierna. För att en prenumerationstjänst ska fungera krävs samarbete med företagen som batterierna är avsedda att fungera i samt att de också är villiga att tillhandahålla produkterna istället för att sälja dem. Situationen blir såvida mer invecklad och kräver att fler företag använder sig av en

liknande affärsmodell som en standard på marknaden. En prenumerationstjänst är alltså inte helt optimal då det krävs en dialog med alla potentiella kunder för att det ska fungera. Dessutom framkom det under intervjuerna att digital cellulosa bör introduceras på en marknad med stora och få kunder.

Det ligger sedan i produktägarens (i fallet med prenumeration) alternativt företagets intresse att återvinna batterierna vid den tidpunkt då de inte längre går att använda då det är en lagstifning. Angående återvinning har företagen ett producentansvar. Det finns två vägar företagen kan gå för att tillgodose producentansvaret: antingen återvinner företaget själva sina batterier eller så outsourcar det återvinningen till producentansvarsorganisationer vars huvudfokus är återvinning. Ett partnerskap med ett återvinningsföretag är att föredra då det möjliggör att material kan omhändertas korrekt för att i senare skede nyttiggöra i nya produkter. I dagsläget finns det få återvinningsprocess för digital cellulosa. För att få fram ytterligare fungerande återvinningsprocess är det väsentligt att återvinningen tas i hänsyn till redan i designfasen, samt att det sker i samarbete med det företag som har hand om återvinningen.

5.3.3.2 Cirkulär affärsmodell för batterier för stationär storskalig energilagring

För batterier av den större storleken, såsom stationär storskalig energilagring i elnätet, ser det annorlunda ut jämfört med de små batterierna som används i devices. Fortsatt gäller att ingående material ska kunna separeras och återvinnas utan att materialen blandas, men designen kan även göras mer hållbar då dessa batterier enklare kan moduleras. Genom modulering av batterierna kan delar enkelt bytas ut, repareras och uppdateras för att förlänga livslängden. En sådan design gör att felaktiga eller trasiga komponenter, eller moduler vars teknik snabbt blir uråldrig på grund av snabb teknikutveckling, kan bytas ut utan att hela batteriet behöver ersättas. Eftersom teknikutvecklingen är snabb och batteri- och energibranschen förändras möjliggörs en längre och mer effektiv användning av batterierna när de ouppdaterade modulerna enkelt kan bytas ut mot ny och uppdaterad teknik.

Förutom storleken på batterierna ser även användningen annorlunda ut och kunden är en annan typ av kund. Det handlar om färre och större kunder där kunden sällan är privatpersoner utan oftare industriella företag. I de fall då batterierna säljs till privatpersoner är det i de flesta fall för att lagra energi från solpaneler. Med färre och större kunder underlättas möjligheten att upprätthålla de närmare kundrelationerna som en tjänstefiering av en produkt innebär. Möjligheten till en tydlig relation och kontakt mellan kund och företag gör att affärsmodeller baserade på prenumerationer eller leasing lämpar sig. Ägandeskapet skulle då ligga kvar hos det producerande företaget som behåller ansvaret för reparationer och hantering av batterier som förbrukats hos kund alternativt en mellanhandaktör uppfyller denna funktion i ekosystemet. När det handlar om färre kunder och större produktvolymer finns det större möjlighet för producenten att hantera kunderna, reparationer och service jämfört med när kundantalet är stort då det uppstår ett annat behov av samarbeten, inklusive partnerskap. Genom att fokusera på dessa större batterier ökar möjligheten för statliga och kommunala kunder och investerare. Som en av intervjuerna presenterade skulle en sådan stöttning av de innovativa och hållbara företagen hjälpa till för att få den omfattning som krävs för att få ekonomi i det. Något som i sin tur ger förutsättningar till fortsatt utveckling och uppbyggnad av hållbar energilagring.

5.4 Framtidsutsikter

Det är uppenbart att förväntningarna är höga på de hållbarhetseffekter som EU:s nya batteriförordning förväntas medföra. Bland annat kommer producenterna få ett mycket större ansvar för hela batteriets livscykel och kraven för klimatavtryck av produkter kommer att bli allt hårdare. Denna förordning blir en viktig nyckel för hur stor den framtida efterfrågan av batterier med digital cellulosa kommer att vara. I och med att kraven kring andelen återvunna metaller i batterier samt batteriets klimatavtryck endast kommer att öka, kommer efterfrågan av dessa återvunna metaller samt klimatsmarta lösningar att öka. Med tanke på den höga hastigheten som marknaden för batterier förväntas växa, finns det en risk att mängden återvunna metaller inte kommer att räcka till eller att priset på dem kommer bli väldigt högt. Därmed kan det finnas en öppning på marknaden, som batterier med digital cellulosa kan fylla. Genom att undvika kravet på andelen återvunna metaller kan företag effektivt penetrera marknaden och nå fler kundgrupper genom att erbjuda mer kostnadseffektiva lösningar.

Den digitala cellulosan i batteri-baserad energilagring kommer förhoppningsvis bidra till en ökad hållbarhet inom branschen genom att vara banbrytande och därmed uppmuntra till en omställning av marknaden. Genom att skifta ifrån problematiska material och öppna upp för en självständighet på marknaden kan utvecklingen förhoppningsvis fortskrida för att kunna uppfylla samtliga hållbarhetsmålen, dvs. den miljömässiga, den ekonomiska och den sociala. Det kan vara så att det inte är lika framgångsrik marknad för återvinning av digital cellulosa i dagens återvinningslösningar förutom i smältning men det kan ändå uppmuntra till att ändra sitt förhållningssätt till konsumtion. Det uppmanar till att tänka mer i mönster av att använda andra materialkällor, till ett innoverande systemtankesätt med grunden i produktutveckling och kreativitet inom cirkulära materialflöden som är paketerade i optimala cirkulära affärsmodeller.

6. Slutsats

Slutsatsen är uppdelad utefter studiens tre frågeställningarna samt avslutas med en summering av den digitala cellulosans framtida utsikter.

6.1 På vilka sätt kan digital cellulosa användas för att göra energilagring mer hållbart?

Genom att skifta marknaden från konventionella batterier till batterier med komponenter baserade på digital cellulosa minskar användningen och beroendet av ändliga resurser. Istället används förnybara resurser som, givet att cellulosan kommer ifrån ett hållbart skogsbruk, är mer hållbara. Då behovet av energilagring ständigt ökar krävs frigörelse från ändliga material för att säkerställa att framtida behov ska kunna täckas. Cellulosabaserade komponenter minskar även behovet av kritiska råmaterial som idag produceras i geopolitiskt problematiska länder i gruvor med oacceptabla arbetsförhållanden. Att byta ut dessa råmaterial skulle resultera i en både socialt och miljömässigt mer hållbar energilagringsbransch. Samtidigt skulle det försäkra en mer pålitlig materialtillgång tack vare lägre risk för påverkan från oförutsägbara händelser som krig, konflikter och naturkatastrofer.

Idag finns få återvinningsprocesser för digital cellulosa. Smältning är en av dessa, där det biobaserade materialet används under processen för att framställa metaller. Återvinningen av digital cellulosa passar inte in i de konventionella återvinningsprocesser för batterier som finns idag men har potential för att materialåtervinnas på andra sätt. Återvinningsprocesserna behöver undersökas vidare i olika produktionsapplikationer och utvecklas i samspel med den digitala cellulosans inträde på marknaden.

I utvecklingsprocesserna av batterier med digital cellulosa är det av stor vikt att man redan i designfasen möjliggör separation av olika komponenter eller använder rena material utan beläggningar som försvårar återvinning. I kombination med att samtidigt införa en standard av digitala produktpass på marknaden har återvinning en större potential att lyckas som koncept för att skapa cirkulära materialflöden för den digitala cellulosan. Detta då informationen om produktens innehåll samt återvinningsrekommendationer kommer att finnas tillgängligt för varje produkt i det digitala produktpasset. Trots att den digitala cellulosa inte ännu har en färdigutvecklad teknik har den ändå fördelar jämfört med dagens konventionella batterier då negativt miljökonsekvenserna blir mindre om dess avfall inte hanteras på rätt sätt. Det gäller att produkterna får rätt tekniska förutsättningar för att kunna återvinnas och det handlar då främst om designen av komponenten. Den behöver vara enkelt att demontera och vara gjord av rena material eller vara separerbara Dessutom måste information tydligt framgå hur avfallet ska hanteras, vilket förslagsvis kan vara genom digitala produktpass.

Den digitala cellulosan uppmuntrar dessutom till nya konsumtionsmönster och sätter tonen på marknaden för innovationen av batterier samt dess komponenter. Med hjälp av nya cirkulära affärsmodeller och de relevanta förutsättningarna har digital cellulosa potentialen att bli en viktig spelare i energilagringsbranschen. Genom att visa på tillgängliga alternativ driver komponenter av digital cellulosa därtill på lagstiftning som fasar ut konventionella icke hållbara alternativ. På så sätt kan de vara en drivkraft samt en förebild för att initiativ ska tas för att fortsätta driva energilagringsbranschen i en hållbar riktning.

6.2 Vilka inre och yttre förutsättningar krävs för att detta ska vara möjligt och bli framgångsrikt?

Batterier med digital cellulosa har potential att bli ett framgångsrikt alternativ inom energilagring. Detta under förutsättningen att tekniken visar på relevant prestanda i respektive applikationer, jämfört med de konventionella teknikerna. Dagens cellulosateknologi har visat på relevant prestanda för användning i små enheter och storskalig energilagring och det är här som cellulosabaserade batterier kan konkurrera mot övriga batteritekniker.

Andra viktiga aspekter är de ekonomiska förutsättningarna. Bland annat gäller det att det ska finnas ekonomiska fördelar med cellulosabaserade batterier jämfört med de konventionella batterierna. Detta anses finnas då det finns studier som visar på att företag som presterar väl inom hållbarhet ofta också uppvisar starka finansiella resultat jämfört med företag med mindre fokus på hållbarhet. Vidare finns ett ökat intresse bland investerare för företag med goda hållbarhetsprofiler, vilket också är något som kan ses som en ekonomisk fördel. En annan ekonomisk förutsättning är att hitta den första kunden. Genom att hitta en första kund, som sedan kan agera referens till senare kunder, går det att på större skala visa på att tekniken faktiskt fungerar vilket i sin tur kan ge fler kunder. Detta kan emellertid vara en utmaning.

Externa förutsättningar så som marknad, konsumenter och lagstiftning har stor inverkan på hur framgångsrikt cellulosabaserade batterier kan bli. Marknaden för energilagring är stor och förväntas att öka i och med omställningen till mer förnybar energi och fossilfri fordonsflotta. Med en ökad efterfrågan på batterier ökar även efterfrågan på kritiska råvaror som litium, kobolt och nickel vilket kan leda till råmaterialbrist av dessa jungfruliga resurser. Den nya batteriförordningen från EU kommer att ställa allt högre krav på andelen återvunna metaller i batterier, vilket i sin tur kommer att innebära en ökad efterfrågan på återvunna metaller. Detta innebär att en materialbrist riskerar att uppstå även för återvunna metaller, något som kan resultera i att priset på dessa kraftigt höjs. Här finns en möjlighet för batterier med digital cellulosa att vinna marknadsandelar. Då dessa inte innehåller, eller innehåller en mindre mängd, kritiska metaller har batterierna en stor potential att både kunna erbjuda ett lägre pris samt uppfylla EU:s krav på klimatavtryck.

Figur 8: Batteriförordningens effekter på batterier med digital cellulosa

En viktig förutsättning för att batterier med digital cellulosa ska få fäste på marknaden är att lagar och regler ska följa med i utvecklingen. Lagstiftningen behöver trigga cirkulära flöden och skapa incitament för en hållbar omställning. Med den hastighet som marknaden förväntas

växa krävs en mer proaktiv lagstiftning som gör det mer ekonomiskt hållbart att bedriva cirkulära verksamheter. Bland annat krävs det regleringar som gör att ändliga resurser ökar i pris, och att biobaserade alternativ därmed blir mer attraktiva för både tillverkande företag och kunder.

Slutligen behöver kunskapen kring cirkulär ekonomi och biobaserade produkter öka hos alla intressentgrupper i värdekedjan. Inom företaget kan en ökad kunskap resultera i att en cirkulär omställning blir mindre kostsam och långsiktigt finansiellt positiv, det vill säga att omställningen snarare ses som en investering än en kostnad. Det krävs också intern kunskap för att kunna kommunicera och marknadsföra batterier med digital cellulosa på ett korrekt och framgångsrikt sätt mot kunderna. Konsumtion spelar en avgörande roll i hur företag väljer att arbeta och därmed krävs också en kunskap hos kunderna för att incitament till cirkulär omställning ska skapas.

6.3 Vad bör cirkulära affärsmodeller för energilagring med digital cellulosa innehålla för att dessa ska vara framgångsrika i dagens ekonomi?

En affärsmodell kan göras mer cirkulär på flera sätt. Det finns inget exakt recept för hur en cirkulär affärsmodell blir framgångsrik eller några framstående komponenter eller strategier som en sådan ska innehålla. I fallet med digital cellulosa och dess applikationer inom energilagring har däremot vissa mer framgångsrika aspekter kunnat urskiljas, även om dessa fortsatt skiljer sig något beroende på typ av batteri, storlek och användningsområde. Utifrån analyser baserade på Circular Business Model Canvas och R-ramverkets principer kan de viktigaste och mest genomförbara cirkulära strategier sammanfattas i en omdefinition av erbjudandet i form av tjänstefiering samt i designen av batterierna. Genom att frångå det konventionella sättet att skapa intäktsströmmar, genom antal sålda batterier och istället genom att få kunden att se ett värde i tillgänglighet eller funktionen hos batterierna, kan effektiviteten i användningen av materialen intensifieras. Beroende på typ av batteri passar vissa typer av tjänster bättre där olika former av prenumerationer och leasing-lösningar lämpar sig ännu mer för de stora batterierna, detta eftersom en tjänstefiering skulle innebära ett större behov och krav på kundrelationer. Batterier med digital cellulosa som används inom stationär storskalig energilagring har den typ av kunder, färre och större, där närmare relationer möjliggörs så att reparationer, service och andra kringtjänster som skapar värde för kunden underlättas.

Oavsett användningsområde för batterierna med digital cellulosa kan vikten av designen inte nog framhävas. Det är tydligt att det redan är i designfasen som grunden och förutsättningarna sätts för livscykelns senare hållbara och cirkulära strategier och åtgärder. Genom att designa modulärt och ha end-of-life i åtanke när delar och komponenter sätts samman kan både underhåll, reparationer och annan service samt återanvändning och återvinningen av produkterna effektiviseras. Just för återvinningsaspekterna gäller att undvika design som försvårar demontering och separering av ingående material. Eftersom dessa aspekter är så pass viktiga och kritiska för hanteringen av batterierna kan ett samarbete, inklusive partnerskap med aktörerna som tar hand om återvinningen vara resultatrikt. Partnerskap kan även vara av värde och behov för att kunna tillhandahålla de tjänster som kunderna värdesätter samt returlogistik med återtagande av använda batterier skapar.

För att åstadkomma framgångsrika cirkulära affärsmodeller för batterier baserade på digital cellulosa gäller dock att de ekonomiska aspekterna är lika viktiga som de andra hållbarhetsaspekterna. Både för kunderna och företagen som producerar batterierna räcker sällan de miljömässiga och sociala hållbarhetsfördelarna och ekonomiska incitament blir

viktiga för att de konventionella batterierna ska bytas ut. För att åstadkomma detta behövs ett erbjudande att skapas där kunden upplever ett värde de är redo att betala för samt där stabila intäktsströmmar genereras. Ett sätt att påskynda och underlätta omställningen är t ex genom att först och främst rikta in sig på statliga och kommunala investerare och kunder för att få skala på affärerna och en omfattning som ger ekonomi.

6.4 Framtida rekommendationer

Eftersom digital cellulosa är ett relativt nytt forskningsområde finns det fortsatt behov av forskning och utveckling samt uppskalning. Dessa produkter berör tvärvetenskapliga ämnen och berör såväl ekonomiska, tekniska, miljömässiga och sociala /samhälleliga aspekter. Det rekommenderas att fortsätta denna kvalitativa studie med en datadriven hållbarhetsanalys i form av klimatavtryckberäkningar då det är ett kommande lagstiftningskrav.

För att komponenter av digital cellulosa ska få fäste på marknaden krävs samarbeten och utvecklingsprojekt mellan forskningsinstitut, universitet och industrin där komponenterna implementeras i produktionslinor. På så sätt kan produkternas tekniska prestanda och möjlighet till storskalighet bevisas och mest lovande cirkulära affärsmodeller testas på marknaden.

En annan viktig aspekt rörande energilagring innehållande digital cellulosa idag är bristen på fungerande materialåtervinningsmetoder förutom smältning. Det finns stort behov av att vidare undersöka återvinningsmetoder för specifika applikationer, och där behov finns, utveckla dessa. Samtidigt behöver även dagens återvinningssystem vidareutvecklas. Såväl design av batterierna som design av återvinningsmetoder bör ske i samspel mellan berörda aktörer för att skapa system som fungerar. Detta skulle ytterligare utöka cirkularitetspotentialen hos produkterna och på så sätt göra de mer hållbara.

För att energilagringsbatterier med digital cellulosa ska vara framgångsrika på marknaden och cirkulära affärsmodeller ska kunna ersätta dagens linjära konsumtion krävs även en allmän kunskapsspridning. Samtliga aktörer i värdekedjan behöver förstå vikten av transformationen, vad den innebär och kräver från både konsumenten, de tillverkande företagen och myndigheterna.

Källförteckning

Ahmadi, J. (2023-09-23). De vill ersätta kontroversiella evighetsämnet: "Det här är en het marknad", *Impact Loop.* Hämtad 2024-03-21 från *https://www.impactloop.se/artikel/de-vill-ersatta-kontroversiella-evighetsamnet-en-het-marknad*

Ahola, T., Hanski, J., Piiparinen, S., Ståhle, M., Tura, N., & Valkokari, P. (2019). Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production. 212*, 90-98.

Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., Stefanini, A., & Zerbino, P. (2020). Driving the transition to a circular economic model: A systematic review on drivers and critical success factors in circular economy. *Sustainability*, *12*(24), Artikel 10672.

Beaucamp, A., Collins, M.N., Culebras, M., Muddasar. (2022). Celluloce: Characteristics and applications for rechargeable batteries, *International Journal of Biological Macromolecules, 219,* 788-803.

Bell, E., Bryman, A., & Harley, B. (2019). *Business Research Methods*. Oxford: Oxford University Press.

Bengtsson, M. (2016). How to plan and perform a qualitative study using content analysis. *ScienceDirect, 2,* 8–14.

Berggren, L. (2008). *Berondekriteriet*. Hämtad 2024-03-18 från *https://www.pm.lth.se/fileadmin/_migrated/content_uploads/6_Kallkritik_beroendekriteriet.pdf*

Blomkvist, P., & Hallin, A. (2021). *Metod för teknologer: Examensarbete enligt 4-fasmodellen*. Lund: Studentlitteratur AB.

Braun, A.T., Schöllhammer, O., & Rosenkranz, B. (2021). Adaptation of the business model canvas template to develop business models for the circular economy. *Procedia CIRP*, *99*, 698–702.

Bryman, A. (2018). *Samhällsvetenskapliga metoder.* Stockholm*:* Liber AB.

Cantú, A., Aguiñaga E., Scheel, C. (2021). Learning from failure and success: the challenges for circular economy implementation in SMEs in an emerging economy. *Sustainability*, *13*(3), 529.

Chauhan, C., Dhir, A., Hina, M., Puneet, K., Kraus, S. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. J*ournal of Cleaner Production,* 333.

Chen, H., Wang, Z., Feng, Y., Cau, S., Gao, H., Wei, Z., Zhao, Y. (2023). *Chemical Engineering Journal, 471,* Artikel 133593.

Choi, J.W., Hu, L., Yang, Y., Jeong, S., Mantia, F.L., Cui, L., Cui, Y. (2009). Highly conductive paper for energy-storage devices, *National Academy of Sciences, 106(51),* 21490-21494.

Curtis T., Smith L., Buchanan H., & Heath G. (2021). *A Circular Economy for Lithium-Ion Batteries Used in Mobile and Stationary, Energy Storage: Drivers, Barriers, Enablers, and U.S. Policy Considerations*. Tillgänglig *https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf*

Dalen, M. (2015). *Intervju som metod*. Malmö: Gleerups Utbildning AB.

Dehghani-Sanij, A. R., Tharumalingam, E., Dusseault, M. B., & Fraser, R. (2019). Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *104*, 192–208.

Deng, D. (2015). Li-ion batteries: basics, progress, and challenges, *Energy Science & Engineering, 3(5)*, 385-418.

de Oliveira, O.J., Campos T.L.R., Espuny, M., Kandsamy, J., Kazançoğlu, Y., Kurita, A.E. (2023) Drivers for circular economy development: making businesses more environmentally friendly. *Environmental Science and Pollution Research, 30*, 79553–79570.

Digital Celluose Center. (u.å). *Home*. Hämtad 2024-02-05 från *https://digitalcellulosecenter.se/*

Eitelwein, O., Paquet, S. (2021). *Greenwashing won't wash – the new sustainability imperative.* EY Parthenon. Tillgänglig *https://www.ey.com/en_gl/insights/strategy/why-sustainability-has-become-a-corporate-imperative*

Ejvegård, R. (2019). *Vetenskaplig metod*. Lund: Studentlitteratur AB.

El-Kretsen. (u.å.). *Batterier*. Hämtad 2024-03-01 från *https://www.el-kretsen.se/batterier*

Ellen MacArthur Foundation. (u.å). *Circular cities: thriving, liveable, resilient.* Hämtad 2024-04-27 från *https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/cities/overview*

Ellen MacArthur Foundation. (2013 a). *Circular Business Model Design Guide.* Tillgänglig *https://www.emf/circularbusinessmodeldesign*

Ellen MacArthur Foundation. (2013 b). *Towards the circular economy.* Tillgänglig *https://emf.towardscircularеconomy.pdf*

Energimyndigheten. (2018). *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem: delrapport 1 – Framtidens elsystem och Sveriges förutsättningar*. (ER, 2018:06) Bromma: Energimyndigheten.

Energimyndigheten. (2019). *100 procent förnybar el: delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar*. (ER, 2019:06) Bromma: Energimyndigheten.

Engwall, M. & Susur, E. (2023). A transitions framework for circular business models. *Journal of Industrial Ecology*, *27*(1), 19–32.

Eriksson, L., & Wiedersheim-Paul, F. (2014). *Att utreda forska och rapportera.* Stockholm: Liber AB.

Europaparlamentet. (2006). *Förordning (EG) nr 1907/2006 av Europaparlamentet*. Tillgänglig *https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:266:0001:0014:SV:PDF*

European Chemicals Agency. (u.å). *Förstå batteriförordningen.* Hämtad 2024-01-29 från *https://echa.europa.eu/sv/understanding-batteries-regulation*

European Court of Auditors. (2023). *EU:s industripolitik för batterier; nya strategiska incitament behövs.* Tillgänglig https://www.eca.europa.eu/sv/publications/sr-2023-15

European Environment Agency. (2023). *Enabling consumer choices for a circular economy.* Hämtad 2023-04-22 från *https://www.eea.europa.eu/publications/influencing-consumer-choices-towards-circularity*

European Union. (2006). *Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC*. Tillgänglig *https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/66/oj*

European Union. (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.* Tillgänglig *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098*

Europeiska Kommissionen. (u.å a). *Akten om kritiska råvaror.* Hämtad 2024-01-29 från *https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/*

Europeiska Kommissionen. (u.å b). *Ecodesign for Sustainable Products Regulation.* Hämtad 2024-01-29 från *https://commission.europa.eu-ecodesignregulations*

Europeiska Kommissionen. (u.å c). *Klimatförändringarnas konsekvenser.* Hämtad 2024-01-22 från: *https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences*

Europeiska Kommissionen. (2019). *Circular business model innovation toolkit.* Hämtad 2024-03-29 från *ec.europa.eu/CircularBusinessModelInnovationToolkit*

Europeiska unionens råd. (2023). *Hållbar finansiering: rådet enas om förhandlingsmandat för ESG-betyg* [pressmeddelande], 20 december. Tillgänglig *https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2023/12/20/sustainable-finance-council-agrees-negotiating-mandate-on-esg-ratings/*

Fan, Z., Li, S., Li, W. (2020). Cellulose-derived electrodes for energy storage. *Biomass Based Energy Storage Materials, 78,* 124-142.

Fetyan, A., Bamgbopa, M.O., Vagin, M., Adelodun, A.A. (2022). Towards eco-friendly redox flow batteries with all bio-sourced cell component, *Journal of Energy Storage, 50,* Artikel 104352.

Fischer, H., Fischer, S., Martinez I.G.G., Mikahailova, D., Oswald, S., Thümmler, K. (2021). Activated Carbon Derived from Cellulose and Cellulose Acetate Microspheres as Electrode Materials for Symmetric Supercapacitors in Aqueous Electrolytes. *Energy & fuels, 35(15),* 12653-12665.

Fornasari, T., Neri, P. (2022). A Model for the Transition to the Circular Economy: The "R" Framework. *Symphonya. Emerging Issues in Management*, (8), 78-91.

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., Bel, G. (2020) *The Global E-waste Monitor 2020 -Quantities, flows, and the circular economy potential.* Bonn, Geneva and Rotterdam: United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.

Frishammar, J., Parida, V. (2019). Circular Business Model Transformation: A roadmap for incubent firms. *California management review, 61*(2). 5-29.

Geissdoerfer, M., Santa-Maria, T., Kirchherr, J., Pelzeter, C. (2022). Drivers and barriers for circular business model innovation. *Business Strategy and the Environment, 32*(6), 3814-3832.

Ghoreishi, M. (2023). The role of digital technologies in a data-driven circular business model: A Systematic Literature Review. *Journal of Business Models, 11(1),* 78-88.

Goikolea, E., Palomares, V., Wang, S., Larramendi, I.R.D., Guo, X., Wang, G., Rojo, T. (2020). Na-Ion Batteries - Approaching Old and New Challenges. *Advanced Energy Materials, 10(44)*, Artikel 2002055.

Gröndahl, F., & Svanström, M. (2011). *Hållbar utveckling: en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare.* Liber AB.

GS1. (u.å). *Digitala produktpass*. Hämtad 2024-04-19 från *https://gs1.se/digitala-produktpass/*

Harvard Business School. (2021). *8 Types of Business Models & the Value They Deliver*. Hämtad 2024-02-15 från *https://online.hbs.edu/blog/post/types-of-business-models*

Henriksson, G., Li, J., Lindström, M.E., Moser, C., Zhao, Y. (2017). Cellulose Nanofibers from Softwood, Hardwood, and Tunicate: Preparation–Structure–Film Performance Interrelation. *Applied materials & interfaces, 9(15)*, 13508–13519.

Hólmarsdóttir, M., Moloney, P. (2023). *Key drivers and distruptors for circular economy in 2023*. Ramboll. Hämtad 2024-04-08 från *https://www.ramboll.com/lets-close-the-gap/key-drivers-and-disruptors-for-circular-economy-in-2023*

Hon, D. N. S. (2017). Cellulose and its derivatives: structures, reactions, and medical uses. *In Polysaccharides in medicinal applications.* New York*:* Routledge.

Hu, F., Yao, Y., Wan, J., Henderson, D., Zhang, X. (2017). High Temperature Carbonized Grass as a High Performance Sodium Ion Battery Anode, *Applied materials & interfaces 9(1)*, 391-397.

Hägglund, P. (2023). *Batteri.* Hämtad 2024-04-19 från *https://www.evify.se/elbilsordlista/batteri/*

International Energy Agency. (2023). *EU Directive 2006/66/EC Battery Directive.* Hämtad 2024-04-19 från *https://www.iea.org/policies/15684-eu-directive-200666ec-battery-directive*

Irrek, W., Mast, J., & Unruh, F. (2022). *Rethink: Enabling the Circular Economy.* Tillgänglig *https://prosperkolleg.ruhr/wp-content/uploads/2022/08/rethink_22-03_r-strategien_EN.pdf*

IVA. (2020). *Så når Sverige klimatmålen.* Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).

Jain, N. (2021). Survey versus interviews: Comparing data collection tools for exploratory research. *Proquest, 26*, 541-554.

Johansson, D. (2023). *Ny europeisk produktpolicy kräver ökat fokus på spårbarhet.* Vinnova. Hämtad 2024-04-19 från *https://www.vinnova.se/m/strategisk-omvarldsanalys/ny-europeisk-produktpolicy-kraver-okat-fokus-pa-sparbarhet/*

Joint Research Centre (JRC). (2014). *CRM Report on Critical Raw Materials*. Tillgänglig *https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf*

Junestedt C., Emilsson E., Romson Å., Wu A. (2023) *Förutsättningar för en ökad återvinning av kritiska råmaterial i Sverige.* Svenska Miljöinstitutet. Tillgänglig *https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1754930/FULLTEXT03*

Karlsson, M., & Marcusson, J. (2020). *Elteknisk konsekvensanalys kring elektrifiering av transportsektorn.* (Master's thesis) Lindköping: Linköpings universitetet. Tillgänglig *https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1430965/FULLTEXT01.pdf*

Karolinska Institutet. (2024). *Systematisk litteraturöversikt som examensarbete*. Hämtad 2024-03-18 från *https://kib.ki.se/soka-vardera/systematiska-oversikter/systematisk-litteraturoversikt-som-examensarbete*

Karpenja, T., Ahniyaz, A., Edberg, J., Granberg, H. (2022) *Circularity of DCC materials – case study on three energy storage solutions.* Digital Cellulose Center.

Karpenja, T., Beni, V., Granberg, H., Wästerlid, C. (u.å b) *Guidelines for Green Electronics – Sustainability and Foresight.* Digital Cellulose Center.

Kirchherr, J. D., Urbinati, A., & Vecchio, P. (2024). Enablers of managerial practices for circular business model design: An empirical investigation of an agro-energy company in a rural area. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 873–887.

Kliniska Studier Sverige. (2023). *Analys.* Hämtad 2024-01-29 från *https://kliniskastudier.se/forskningsprocessen/analys*

Kondo, T. (2005) Hydrogen bonds in cellulose and cellulose derivatives. *Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility, 2*,69-98.

Kunskapsrummet. (2022). *Batteriprocessen: från inlämning till återvinning.* Hämtad 2024-02-27 från *https://kunskapsrummet.com/artiklar/batteriprocessen-fran-inlamning-till-atervinning/*

Kunskapsrummet. (2023). *Statistik.* Hämtad 2024-03-01 från *https://kunskapsrummet.com/statistik/*

Leavy, P. (u.å). (2014). *The Oxford handbook of qualitative research.* Oxford: Oxford University Press.

Liljeblad, A. (2016). *Framtidens elanvändning.* (IVA-M, 461). Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademie (IVA).

Ljunggren Söderman M., Ingemarsdotter E. (2014). *Användning och återvinning av potentiellt kritiska material*. Göteborg: Chalmers University of Technology. Tillgänglig *https://research.chalmers.se/publication/206808/file/206808_Fulltext.pdf*

Lou, W., Schardt, J., Bommier, C., Wang, B., Razink, J., Simonsen, J., Ji, X. (2013). High Temperature Carbonized Grass as a High Performance Sodium Ion Battery Anode, *Journal of Materials Chemistry A, 1*, 10662-10666.

Lundén, M. (2020). *Kvalitativa metoder.* [PowerPoint-Presentation]. Göteborgs Universitet. Hämtad 2024-01-29 från Kvalitativa metoderGöteborgs universitethttps://canvas.gu.se › courses › files › download

Machnikowski, J. & Kierzek, K. (2018). Cellulose-derived carbons as a high performance anodic material for Na-ion battery, *Ionics, 24*, 1313-1320.

Malterud, K. (2012). Systematic Text Condensation: A Strategy for Qualitative Analysis. Scandinavian Journal of Public Health. *National Library of Medicine, 40,* 795-805.

Melati, K., Nikam J., Nguyen P. (2021). *Barriers and drivers for enterprises to transition to circular economy.* Stockholm Environment Institute.

Miljödepartementet. (2021). *Ny EU-förordning om batterier.* (Promemoria). Hämtad 2024-04-19 från *https://www.regeringen.se/faktapromemoria/2021/01/202021fpm-65/*

Ministry of Climate and Enterprise. (2021). *Sweden's climate policy framework.* Hämtad 2024-04-19 från *https://www.government.se/articles/2021/03/swedens-climate-policy-framework/*

Misra, N. R., Kumar, S., & Jain, A. (2021). A review on e-waste: Fostering the need for green electronics. *2021 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems*, 1032-1036.

Naturskyddsföreningen. (u.å a). *Avfallstrappan.* Hämtad 2024-01-25 från *https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/avfallstrappan/*

Naturskyddsföreningen. (u.å. b) *Cirkulär ekonomi*. Hämtad 2024-01-25 från *https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cirkular-ekonomi/*

Naturskyddsföreningen. (2021). *Hållbara Transporter*. Hämtat 2024-03-24 från *https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hallbara-transporter/*

Naturvårdsverket. (u.å). *Elavfall*. Hämtad 2024-01-22 från *https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/avfallslag/elavfall/*

Naturvårdsverket. (2023 a). *Producentansvar – från resurser i avfall till cirkulär ekonomi*. Hämtad 2024-02-20 från *https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/producentansvar-for-att-forebygga-avfall/*

Naturvårdsverket. (2023 b). *Ökad återvinning och återanvändning av elutrustning.* Hämtad 2024-01-22 från *https://www.regeringen.se/ökadåtervinning*

Naturvårdsverket. (2024 a). *Cirkulär ekonomi.* Hämtad 2024-02-15 från *https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/cirkular-ekonomi/*

Naturvårdsverket. (2024 b). *Producentansvar för batterier.* Hämtad 2024-02-20 från *https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/producentansvar/producentansvar-for-batterier/*

Naturvårdsverket. (2024 c). *Vad är en cirkulär ekonomi.* Hämtad 2024-02-15 från *https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/cirkular-ekonomi/vad-ar-en-cirkular-ekonomi/*

Nilsson, T. (2016). *Energilagring En kunskapssammanställning om energilagringstekniker & en fallstudie om energilagring i ett flerbostadshus.* (Master's thesis) Lund: Lunds Universitet. Tillgänglig *tps://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=8894574&fileOId=8894577*

Nishijima, D., Nansai, K., Kagawa, S., & Oguchi, M. (2020). Conflicting consequences of price-induced product lifetime extension in circular economy: The impact on metals, greenhouse gas, and sales of air conditioners. *Resources, Conservation and Recycling, 162.* Artikel 105023.

Nordling, A., Englund, R., Hambjer, A., & Mannberg, A. (2015). *Energilagring - Teknik för lagring av el.* (IVA-R, 482). Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).

Northvolt. (u.å.). *Recycling*. Hämtad 2024-03-01 från *https://northvolt.com/recycling/*

Obel, F., Sahlén, K., Xylia, M. (2020). (proj no, 15005677). *Elektrifiering av Sveriges transportsektor*. Sweco Energy AB.

OECD. (2020). *The Circular Economy in Cities and Regions.* *https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en*

Patel, R., & Davidson, B. (2011). *Forskningsmetodikens grunder: Att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Lund: Studentlitteratur AB.

PwC. (2018). *Det prioriterade hållbarhetsarbetet, så ser 400 svenska företag och organisationer på sitt hållbarhetsarbete.* Tillgänglig *https://www.pwc.se/sv/pdf-reports/hallbar-affarsutveckling/det-prioriterade-hallbarhetsarbetet.pdf*

PwC. (2023). *Future proofing the electronics industry: the case for circular business models.* Tillgänglig *https://circulareconomy.europa.eu/futureproofing*

Reichertz, J. (2007). Abduction: The logic of Discovery of Grounded Theory. *Research Gate, 11. https://www.researchgate.net/publication/45686581_Abduction_The_Logic_of_Discovery_of_Grounded_Theory#pf6*

Rensfeldt, A. (2017). *Pumpvattenkraft & annan storskalig energilagring i Sverige.* (Master's thesis) Lund: Lunds Tekniska Högskola. Tillgänglig: *https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=8921971&fileOId=8922030*

Resvik, B., & Ågren, R.-M. (2016). *Framtidens el - så påverkas klimat och miljö.* (IVA-M, 467). Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).

RISE. (u.å. a) *Affärsmodells-innovation för cirkulär ekonomi.* Hämtad 2024-02-16 från *https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/cirkulara-affarsmodeller*

RISE. (u.å b). *Hållbar elektronik.* Hämtad 2024-01-22 från *https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/hallbar-elektronik*

RISE. (u.å c). *Sveriges forskningsinstitut.* Hämtad 2024-01-30 från *https://www.ri.se/sv/om-rise*

Ritzén S. & Öhlund Sandström G. (2017). Barriers to the Circular Economy – Integration of Perspectives and Domains. *Procedia CIRP, 64*, 7-12.

R2Pi Project. (2018). *Enablers and Barriers to a Circular Economy*. Tillgänglig *https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/enablers-and-barriers-circular-economy*

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research methods for business students*. Harlow: Pearson Education.

Sims Lifecycle Services. (u.å). *Retired electronics in a circular economy.* Tillgänglig *https://www.simslifecycle.com/electronics-circular-economy.pdf*

Stena Recycling. (u.å). E*U:s batteriförordning innebär nya krav på industrin*. Hämtad 2024-04-19 från *https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/insikter-inspiration/guider-artiklar/eus-batteriforordning-innebar-nya-krav-pa-industrin/*

Svenningsson, G., & Ninkovic, S. (2023). *Applications and competitiveness of redox flow batteries.* (Master's thesis). Stockholm: KTH Industrial Engineering and Management. Tillgänglig *https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1776708/FULLTEXT01.pdf*

Svenska kraftnät. (2022). *Lagring av el - omvärldsanalys.* Sundbyberg: Svenska kraftnät. Tillgänglig *https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2022/rapport-ru-energilager.pdf*

Svenska Miljöinstitutet. (2021). *Återanvändning av elektronik.* Tillgänglig *https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/cirkulara-floden/ateranvandning-av-elektronik.html*

Sveriges Geologiska Undersökning. (2021). *Kobolt.* Hämtad 2024-04-22 från *https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/kobolt/*

Tillväxtverket. (u.å). *Circular Business Model Canvas Version 2.0*. Tillgänglig *https://tillvaxtverket.se/Circularr-Business-Model-Canvas*

Trost, J. (2010). *Kvalitativa intervjuer.* Lund: Studentlitteratur AB.

Umeå Universitet. (2023). *Fördjupade sökmetoder.* Hämtad 2024-02-19 från *https://www.umu.se/bibliotek/soka-skriva-studera/informationssokning-och-kallkritik/fordjupade-sokmetoder/*

Upphandlingsmyndigheten. (u.å. a). *Affärsmodeller som främjar cirkulär ekonomi.* Hämtad 2024-02-15 från *https://www.upphandlingsmyndigheten.se/cirkuläraaffärsmodeller*

Upphandlingsmyndigheten. (u.å. b). *Verktyg för omställning till en cirkulär ekonomi.* Hämtad 2024-02-15 från *https://www.upphandlingsmyndigheten.se/verktygförcirkulärekonomi*

van Eijk, F. (2016). *Barriers & Drivers towards a Circular Economy*. Acceleratio. Tillgänglig: *https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge/barriers-drivers-towards-circular-economy*

Vismapcs. (u.å). *Affärsmodeller - vad är det och vad ska den innehålla?* Hämtad 2024-02-15 från *https://vismaspcs.se/ditt-foretagande/starta-eget-foretag/formulera-din-affarside*

Wallén, G. (1996). *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*. Lund: Studentlitteratur AB.

Wang, Z., Tammela, P., Strømme, M., Nyholm, L. (2017) Cellulose-based Supercapacitors: Material and Performance Considerations. *Advaced Energy Materials*, *7(8),* 304-315

Bilagor

I följande avsnitt presenteras arbetets bilagor.

Bilaga A – Intervjuguide

Inledande frågor (gemensamma för alla)

- Berätta lite kort om dig själv och din bakgrund
- Vad är din position/vad jobbar du med?
- Varför arbetar du med detta?

Teorigivande frågor

Energilagring

- På vilket sätt arbetar ditt företag med energilagring? Har det alltid sett likadant ut eller har det skett förändringar kopplade till hållbarhet?
    - Om det skett förändringar - berätta mer om dessa
        - Varför tror du att dessa förändringar har skett?
- Hur tror du att ditt företag kommer att arbeta med energilagring i framtiden?

Cirkulär ekonomi

- Hur ser det ut i samhället idag med linjär kontra cirkulär ekonomi?
    - Har det skett några förändringar kopplade till hållbarhet?
        - Om det skett förändringar - berätta mer om dessa
        - Varför tror du att dessa förändringar skett?25
- Hur tror du det kommer se ut i framtiden med linjär kontra cirkulär ekonomi?
    - Kommer det se likadant ut som idag eller tror du det kommer att ske förändringar?
    - Om det kommer ske förändringar - berätta mer om dessa
        - Varför tror du att dessa förändringar kommer att ske?

Återvinning av batterier

- Vilka incitament finns idag för återvinning?
- Hur ser avfallshanteringen av elektronik ut idag?
    - Vad ser du för förbättringspotential i elektronikprodukters livscykel?
- Hur ser dagens elektronikprodukter för energilagring ut?
    - Vilken är den största "boven" i dagens elektronikprodukter?

Digital cellulosa

- Vad är Digital Cellulosa?
- Hur ser tekniken bakom Digital Cellulosa ut?
- Hur tror du att framtiden för Digital Cellulosa ser ut?
- Varför tror du att framtiden ser ut på det viset?
- Vad tror du är de viktigaste framgångsfaktorerna för att digital cellulosa ska bli ett konkurrenskraftigt alternativ mot dagens linjära elektronik?

Lagar, regler och miljöpolitik

- Vilka lagar och regler omfattar end-of-life cykeln för elektronikprodukter idag? Har det alltid sett likadant ut eller har det skett förändringar?
    - Om det skett förändringar - berätta mer om dessa
        - Varför tror du att dessa förändringar skett?
- Finns det några lagförslag/kommande lagar och regler som kommer att omfatta elektronikprodukter samt deras end-of-life cykel?
    - Om ja – vad tror du att dessa lagar/regler kommer att innebära och resultera i?

Avslutande frågor (gemensamma för alla)

- Finns det något som du vill dela med dig av som du tycker att vi har missat att fråga?
- Har du några tips på kontakter som du tror hade varit relevant för oss att prata med?

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

CHALMERS