

Design av tvättmaskiner för ökad cirkularitet

Olivia Asp Birgersson & Elisabet Törnered



MG105X Examensarbete inom produktframtagning och industriell ekonomi, grundnivå

Kungliga Tekniska Högskolan, Maj 2017

Sammanfattning

Med dagens ekonomiska tillväxt stiger levnadsstandarden i samhället samtidigt som konsumtionstakten ökar, vilket leder till att jordens resurser förbrukas i ett allt högre tempo. Till följd av detta börjar riskerna med den traditionella, linjära ekonomin uppmärksammas i allt högre grad, då den utgår från att tillgången till dessa resurser är obegränsad. Dessa utmaningar har lett till att idén om den cirkulära ekonomin växt fram, vilken syftar till att skapa ett långsiktigt hållbart kretslopp. Tanken är att komponenter och material bör hållas i stängda loopar och att de innersta ska prioriteras. I detta arbete benämns dessa loopar underhåll och reparation, återanvändning, återtillverkning och återvinning.

Syftet med arbetet är att utreda hur koncepten inom cirkulär ekonomi lämpligast appliceras på tvättmaskiner. För att åstadkomma detta behandlas tre frågeställningar utifrån vilka en slutsats gällande hur tvättmaskiner ska designas för en cirkulär ekonomi kan dras. Dessa frågeställningar innefattar vilka designparametrar hos tvättmaskinen som har störst påverkan på möjligheterna att öka cirkulariteten, hur looparna inom cirkulär ekonomi tillämpas idag och varför, samt vilka incitament och hinder som finns för ökad cirkularitet hos tvättmaskinen. Strategin för utförandet var att kombinera teori med empiri genom en inledande litteraturstudie följt av fyra intervjuer med olika aktörer i värdekedjan: Miele, Electrolux, Hushållsservice Söderort AB och El-Kretsen.

Vår rekommendation för ökad cirkularitet är att designa tvättmaskiner som är enkla att demontera, består av väl valda material och är konstruerade för lång livslängd. Vidare bör det också finnas möjlighet till förlängning av livslängd såväl som till uppgradering av komponenter och mjukvara. Samtliga av dessa designlösningar är grundläggande för att öka resurseffektiviteten, varför vi inte uteslutande kan rekommendera en enskild av dem. Även modularisering utvärderas som designlösning, men en eventuell rekommendation skulle kräva djupare analyser än detta arbete behandlar. För att ökad cirkularitet ska vara realistiskt krävs dessutom ytterligare åtgärder som inte avser produktens design eftersom satsningar i praktiken förutsätter att lösningarna uppmuntras med finansiella incitament. Exempelvis skulle dessa kunna genereras till följd av en främjande lagstiftning, forskningsframsteg och ökad efterfrågan hos konsumenterna.

Abstract

With the economic growth of today, both living standards and the consumption rate in society increases, which leads to an accelerated exhaustion of resources. As a consequence, the risks that follow the traditional, linear economy are accentuated since it is based on the assumption of unlimited resources. With these challenges, the idea of a circular economy has emerged. The aim is to create a long-term sustainable cycle, where both components and materials are kept in closed loops of which the inner ones should be prioritized. In this report, the included loops are Maintain/Prolong, Reuse/Redistribute, Refurbish/Remanufacture and Recycle.

This degree project aims to investigate how to appropriately apply the concepts of circular economy to washing machines. To achieve this, three questions are raised and discussed so that a conclusion on how washing machines should be designed to fit the concept of circular economy can be drawn. These questions cover the following topics: which design parameters of the washing machine have the largest impact on circularity, the current appliance of the loops as well as incentives and obstacles for circularity. The approach is to combine theory with empirical data through an initial literature study followed by four interviews with different operators of the value chain: Miele, Electrolux, Hushållsservice Söderort AB and El-Kretsen.

Our recommendation is to design washing machines for easy disassembly, using carefully selected materials. Moreover, the products should be designed for long-life with the possibility of product life extension as well as upgradability of components and software. These solutions concerning the design are all essential for increasing resource efficiency, which is why we cannot exclusively recommend either one of them. Furthermore, modularisation was investigated as a design solution, but in order to make a recommendation a deeper analysis than the one presented in this report would be required. However, for an increased circularity to be realistic, further measures that do not concern the product design are necessary. For efforts to be made by companies, they must be encouraged through financial incentives. These could be generated as a result of promoting legislation, progress in research and development and increased customer demand.

Förord

Denna rapport är resultatet av vårt kandidatexamensarbete inom produktframtagning och industriell ekonomi, utfört vid Institutionen för Industriell produktion vid Kungliga Tekniska Högskolan under våren 2017. Det övergripande temat för året var *Resurseffektivitet i tillverkande företag*.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Per Johansson och Bo Karlsson för vägledning, uppmuntran och värdefull input under arbetets gång. Vi vill också tacka företagsrepresentanterna Oskar Herodes, Karl Edsjö, Carina Tornborg och Fredrik Benson från Miele, Electrolux, Hushållsservice Söderort AB respektive El-Kretsen, som tagit sig tid att besvara våra frågor och delat med sig av kunskap, erfarenheter och åsikter inom de områden som rapporten behandlar.

Olivia Asp Birgersson & Elisabet Törnered

Stockholm, Maj 2017

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Metod	2
2. Tvättmaskinens konstruktion	4
3. Från linjär till cirkulär ekonomi	6
4. Loopar för cirkularitet	7
4.1 Underhåll och Reparation.....	8
4.2 Återanvändning	8
4.3 Återtillverkning	8
4.4 Återvinning.....	9
5. Cirkulär ekonomi idag.....	11
5.1 Lagstiftning	11
5.2 Underhåll och Reparation.....	12
5.3 Återanvändning	13
5.4 Återtillverkning	13
5.5 Återvinning.....	13
6. Intervjuer	15
6.1 Miele.....	15
6.2 Electrolux	16
6.3 Hushållsservice Söderort AB	18
6.4 El-Kretsen.....	18
7. Incitament för ökad cirkularitet.....	20
8. Hinder för ökad cirkularitet.....	22
9. Möjliga designlösningar	24
9.1 Design för demontering.....	24
9.2 Materialval	24
9.3 Konstruktion för lång livslängd.....	25
9.4 Modularisering	27
9.4.1 Fördelar med modularisering för ökad cirkularitet	27
9.4.2 Nackdelar med modularisering för ökad cirkularitet	28
9.4.3 Modularisering av tvättmaskinen	29

10. Övriga lösningar	31
10.1 Lagstiftning	31
10.2 Konsumentbeteende	32
10.3 Finansiella incitament	32
10.4 Forskning och utveckling	33
11. Diskussion	34
12. Slutsatser	36
13. Förslag till vidare forskning	38
Referenser.....	39
Bilagor.....	43
Bilaga 1: Intervjufrågor, Miele.....	43
Bilaga 2: Intervjufrågor, Electrolux	44
Bilaga 3: Intervjufrågor, Hushållsservice Söderort AB	45
Bilaga 4: Intervjufrågor, El-Kretsen.....	46

1. Inledning

1.1 Bakgrund

År 2010 ägnade Hans Rosling en hel TED-föreläsning åt att tala om tvättmaskiner, vilka han använder som metafor för ekonomisk tillväxt [1]. Rosling menar att en tvättmaskin är något alla vill ha och ingen frivilligt kommer att sluta använda. I takt med den ekonomiska tillväxten får allt fler människor råd att upprätthålla en högre levnadsstandard, vilket inte bara leder till högre konsumtionstakt utan även högre krav på produktvariation och kund Anpassning.

Tvättmaskiner är en intressant produktfamilj att undersöka i och med att dessa anses vara självklara i konsumtionssamhället, samtidigt som de i allt större utsträckning konsumeras som "slit och släng"-produkter. Att köpa en ny tvättmaskin ses i många fall nämligen som både enklare och billigare än att laga en trasig [2]. I Europa är det lagstadgat att uttjänta tvättmaskiner ska omhändertas, vilket kallas för producentansvar. Detta innebär i praktiken att tvättmaskinerna transporteras till insamlingscentraler där materialet återvinns då de av konsumenterna uppfattas som uttjänta [3].

Under det senaste decenniet har råvaror genom produktionseffektiviseringar kontinuerligt sjunkit i pris, men denna trend prognostiseras nu vända till följd av den växande globala ekonomin [4]. För att undvika de ökade produktionskostnader höjda råvarupriser skulle medföra krävs alltså att resurseffektiviteten ökar. Att minska förbrukningen av resurser och fossila bränslen kommer dock endast att fördröja uttömningen av de naturliga materialbestånden, snarare än att motverka den [5]. Detta visar ytterligare på att den traditionella, *linjära ekonomin* måste revideras, då den förlitar sig på att stora kvantiteter av energi och material alltid kommer att vara billiga och finnas lättillgängliga.

För att kunna möta dessa utmaningar har idén om den *cirkulära ekonomin* växt fram, som syftar till att förloppet ska fungera som ett cirkulärt flöde, istället för en kedja med början och slut. Målet är att skapa ett långsiktigt hållbart kretslopp där både avfall och resursförbrukning minimeras. Flödet kan förklaras med hjälp av fyra loopar, där en inre, kortare loop innebär att produkten kräver mindre arbete för att kunna brukas igen [6]. Den innersta loopens syftar till att produkten ska hållas vid gott skick under en så lång tid som möjligt, och innefattar aktiviteter som underhåll och reparationer. I nästa loop återanvänds en tidigare använd produkt. Denna får genomgå mindre reparation eller liknande, medan produkten i den tredje loopens måste renoveras eller återtillverkas för att kunna cirkulera. Den yttersta loopens är i teorin till för produkter som inte kan repareras, varför fokus istället ligger på materialåtervinning för att sluta cirkeln [6].

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med detta arbete är att utreda hur koncepten inom cirkulär ekonomi lämpligast appliceras på tvättmaskiner. Utgående från antagandet att resurseffektiviteten ökar då produkter, komponenter och material cirkulerar i framförallt inre, kortare loopar, kommer vi att besvara frågeställningen:

- *Hur ska tvättmaskinen designas för en cirkulär ekonomi?*

För att besvara denna frågeställning krävs mer information om metoder för ökad cirkularitet, hur dessa tillämpas på tvättmaskiner idag samt vilka incitament och hinder som finns för respektive loop. Detta mynnar ut i följande kompletterande frågeställningar:

- *Med utgångspunkt i tvättmaskinens konstruktion, vilka designparametrar har störst påverkan på möjligheterna att öka cirkulariteten?*
- *Hur tillämpas looparna inom cirkulär ekonomi på tvättmaskinen idag och varför?*
- *Vilka incitament och hinder finns för ökad cirkularitet hos tvättmaskinen?*

1.3 Avgränsningar

Frågeställningen utgår från två stora ämnesområden: cirkulär ekonomi och produktfamiljen tvättmaskiner. Dessa kan analyseras ur flera perspektiv och med olika metoder. För att fokusera arbetet görs följande avgränsningar:

- Arbetet behandlar tvättmaskinens design och hur denna påverkar möjligheterna att tillämpa koncepten inom cirkulär ekonomi. Därmed finns inget fokus på affärsmodeller som ofta nämns i samband med cirkulär ekonomi, såsom leasing.
- Arbetet avgränsas till användningsfasen och slutfasen av tvättmaskinens livstid, då det är i dessa faser som det finns möjlighet för tvättmaskinen att cirkulera. Slutfasen är relevant främst för yttre loopar, medan användningsfasen omfattar de inre looparna. Produktionsfasen utesluts.
- Arbetet fokuseras enbart på optimal design för de beskrivna looparna, varför inte designförändringar som förbättrar tvättmaskinens prestanda granskas.
- Arbetet utgår från rådande förutsättningar i Sverige, exempelvis i termer av lagstiftning.
- Arbetet utgår från följande specifikationer för tvättmaskinen:
 - Frontmatad.
 - Endast tvättfunktion. Det vill säga ingen torkfunktion eller kombinerad tvätt- och torkfunktion.
 - Ämnad för bruk i privata hushåll.

1.4 Metod

Vår strategi för utförandet av arbetet var att kombinera teori med empiri. Denna följdes genom en inledande litteraturstudie och fyra intervjuer med olika aktörer i värdekedjan. Intervjumaterialet tolkades utifrån vad som framkommit under litteraturstudien för att kunna stötta empiriska resultat med teoretiska begrepp, och därmed få ett bredare perspektiv på resultatet.

Litteraturstudien var till en början generell för att sedan fördjupas och specificeras i takt med att den egna kunskapsnivån höjdes. Området cirkulär ekonomi är brett, men behandlas inom litteraturen främst på en generell nivå. Majoriteten av forskningen vi utgått från syftar till hur konceptet implementeras praktiskt; litteraturen som utgår från specifika produkter är mer begränsad. Gällande tvättmaskiner är teorin i huvudsak inriktad på nya affärsmodeller snarare än hur cirkularitet kan uppnås med nuvarande affärsmodell med ägande i fokus, vilket är vad detta arbete handlar om.

För att vidare undersöka hur koncepten inom cirkulär ekonomi lämpligast appliceras på tvättmaskiner genomfördes fyra intervjuer med olika aktörer. Två av dessa intervjuer var semi-strukturerade, vilket innebär att frågorna i huvudsak var bestämda på förhand men att utrymme för dialog och följdfrågor fanns. Båda dessa intervjuer genomfördes via telefon, vilket det finns både för- och nackdelar med. Viktiga medel som kan underlätta kommunikationen, såsom kroppsspråk och miner, utesluts. Dessutom tenderar telefonintervjuer att hållas kortare än möten, vilket gör att man riskerar att gå miste om ytterligare viktig information [7]. Samtidigt sätts informationen snarare än individen i fokus. Den främsta fördelen med telefonintervjuer är dock tids- och kostnadseffektiviteten. De övriga intervjuerna var strukturerade och genomfördes via mail, då respondenterna ifråga föredrog det kommunikationsmedlet.

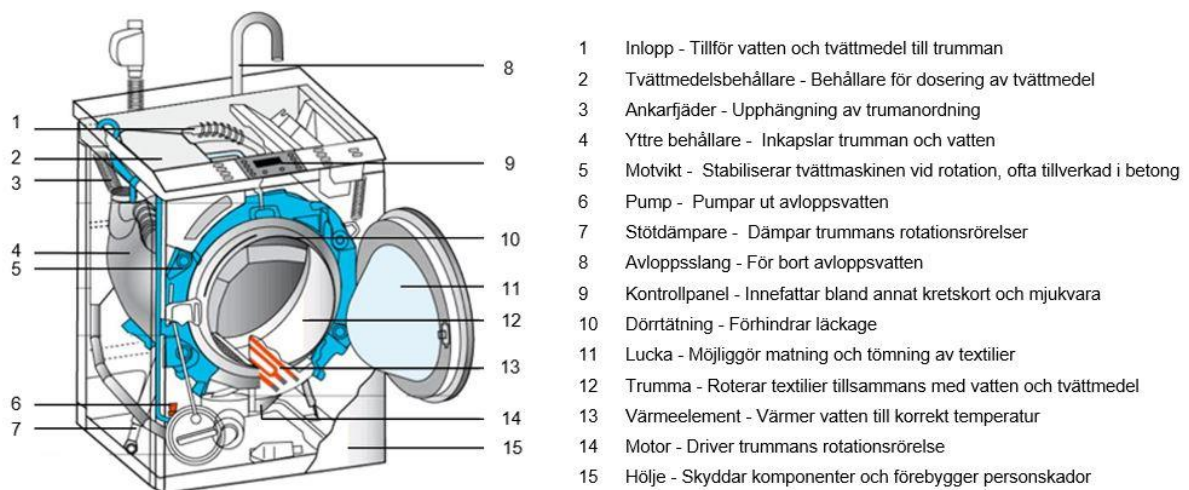
Avsikten med urvalet av respondenter var att täcka in en så stor del av värdekedjan som möjligt för att få en helhetsbild av incitament och hinder för cirkulär ekonomi. För att åstadkomma detta intervjuades två producenter, en reparatör och ett insamlingssystem: Miele, Electrolux, Hushållsservice Söderort AB och El-Kretsen. Ambitionen var att även inkludera återtillverkare, men då dessa generellt inte riktade sig mot privatpersoner och dessutom var svåra att både hitta och få kontakt med, fick de uteslutas. Vidare ansågs det organisatoriska perspektivet vara mer relevant än det individuella, varför en urvalsavgränsning gjordes och konsumenter uteslöts.

I samtliga delar av arbetet har hög validitet och reliabilitet eftersträvat i syfte att den slutliga rapporten ska hålla hög kvalitet. I huvudsak har detta handlat om systematiskt och iterativt sökande på vetenskapliga databaser med väl tilltagen källkritik, såväl som icke-ledande frågor till väl utvalda respondenter. Intervjufrågorna till Miele och Electrolux skiljer sig något, trots att båda är producenter. Detta beror dels på att olika kommunikationsmedel användes, dels på att intervjuerna genomfördes i olika skeden av arbetsprocessen.

2. Tvättmaskinens konstruktion

Sedan dess genombrott i början av 1900-talet har den eldrivna tvättmaskinen spelat en viktig roll i samhället [8]. Utvecklingen har varit stadig och byggt vidare på den ursprungliga teknologin med vattenbaserad tvätt i en roterande trumma. Trots stora effektiviseringar i användningsfasen, förväntar sig konsumenter ytterligare framsteg för att reducera vatten- och energikonsumtion, samtidigt som krav ställs på ökad användarvänlighet och optimerade tvättprogram [9]. Dessa krav från den nästintill mättade marknaden har lett till fortsatta innovationer för ökad hållbarhet, exempelvis utveckling av vattenfria teknologier. Ett företag som satsat på sådan utveckling är Xeros, vars teknologi istället för vatten använder polymerer i form av pellets [10]. Konstruktion och funktioner hos en sådan tvättmaskin skiljer sig dock radikalt från de maskiner som främst används idag [11].

Detta arbete utgår från den klassiska vattenbaserade teknologin för vilken en tvättmaskin definieras som en apparat för vattenbaserad tvätt och sköljning av textilier, och som även kan ha funktioner för att extrahera överflödigt vatten från dessa [12]. Som tidigare nämnts är arbetet avgränsat till frontmatade tvättmaskiner, vilket innebär att textilierna placeras i en trumma som roterar kring en horisontell axel. Genom granskning av olika patent och jämförelser av olika modeller från olika tillverkare har komponenter karakteristiska för frontmatade tvättmaskiner, oberoende av tillverkare och modell, identifierats. De relevanta delarna listas i *Figur 1*.



Figur 1: Tvättmaskinen och dess komponenter. Källa: HEA, 2017 (Redigerad).

Skillnader mellan olika märken och modeller avspeglas i hur dessa komponenter är designade och relaterade till varandra [13]. Vidare har teknologisk utveckling gjort det möjligt att med hjälp av programvara och sensorer erhålla smarta tvättmaskiner, som bland annat kan anpassa vattenintag och energikonsumtion efter mängden tvätt [14]. Fortsatt utveckling av komponenters design och teknologiska innovationer gör att tvättmaskiner blir alltmer energieffektiva och konsumerar mindre vatten, vilket som tidigare nämnts varit i fokus hos producenter. De flesta tvättmaskiner har dock redan utvecklats mycket inom detta område och

numera säljs endast tvättmaskiner i klass A eller högre [15]. Genom att designa tvättmaskiner för lång livslängd och enkel reparation kan miljöpåverkan minskas ytterligare [13].

För att göra detta är det centralt att de delar som utsätts för mest slitage, och därmed ofta är anledningar till att tvättmaskinen havererar, är möjliga att byta ut och reparera. Enligt statistik sammanställd i en studie av Joint Research Centre är de mest kritiska komponenterna i tvättmaskiner elektronikdelar (14 % av fallen), stötdämpare och kullager (13,8 %), luckor (11,5 %), kolborstar (9,7 %) och pumpar (7,5 %) [16]. Dessa är komponenter som sällan repareras på grund av att reparationskostnaderna är för höga eller på grund av tekniska barriärer, såsom att tvättmaskinens design gör den olämplig att demontera. De tvättmaskiner som i studien kunde repareras genom byte av komponenter utgjorde ca 58 % av alla maskiner, men enbart 7 % av de ersättande komponenterna var återanvända. Ytterligare komponenter som ofta havererar är inlopps- och avloppsslangar, värmeelement och tvättmedelsfacket [13].

3. Från linjär till cirkulär ekonomi

Den linjära ekonomin, som sedan den industriella revolutionen varit den rådande normen inom industriell produktion, bygger på att resurser är lättillgängliga, billiga och finns att tillgå i stora kvantiteter [17]. Förloppet för den linjära ekonomin kan i stora drag sammanfattas i följande kedja [18]:



Figur 2: Illustration av förloppet för linjär ekonomi.

I och med att råvarupriserna varit låga i relation till kostnaderna för arbetskraft har slösaktigt användande av resurser satts i system. Att återvinna material har inte varit en ekonomisk prioritet, då det både varit enkelt att införskaffa nytt material och att kassera avfall. Tvärtom har ökad resursanvändning bidragit till reducerade kostnader för arbete och därmed genererat de största ekonomiska vinsterna [6]. I takt med att jordens resurser förbrukas börjar dock riskerna med den linjära ekonomin uppmärksammas i allt högre grad [19], vilka för tillverkande företag främst utgörs av utbudsstörningar och höjda råvarupriser [6]. Detta driver i sin tur upp materialpriset, vilket ökar företagets produktionskostnader och minskar lönsamheten.

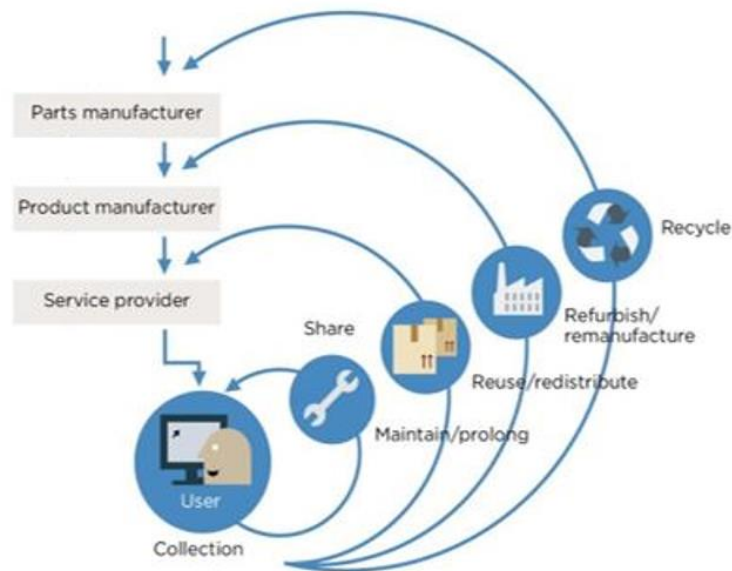
Tanken bakom den cirkulära ekonomin är att återskapa resurser genom att omforma förloppet till ett cirkulärt flöde. Den cirkulära ekonomin styrs av tre grundläggande principer [20]:

- Bevara och stärka naturkapital genom att styra ändliga lager och balansera flödet av förnybara resurser.
- Optimera resursavkastningen genom att cirkulera produkter, komponenter och material så att dessa används vid högsta möjliga nivå.
- Effektivisera systemet genom att eliminera negativa externa effekter.

En övergång till cirkulär ekonomi skulle alltså innebära att företag blir mindre känsliga för utbudsstörningar och prisvariation. Genom att sträva efter nya cirkulära lösningar kan dessutom nya idéer uppstå, och mynna ut i betydande teknologiska framsteg [21].

4. Loopar för cirkularitet

McDonough och Braungart karaktäriserade i sin rapport *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* två typer av materialflöden - biologiska och tekniska, där de biologiska materialen avses återvända till biosfären medan de tekniska istället ska cirkulera [22]. Detta resonemang har Ellen MacArthur Foundation byggt vidare på och illustrerat i *Figur 3*. Idén är att komponenter och material bör hållas i stängda loopar, och att de innersta ska prioriteras [20]. Ju tightare dessa loopar är, desto större besparingar kan göras gällande kostnader för material, energi och löner bland annat [6]. För att öka cirkulariteten ytterligare bör antalet loopar i följd maximeras, såväl som tiden i varje cykel.



Figur 3: Illustration av förloppet för de tekniska materialflödena för cirkulär ekonomi. Källa: Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment; Drawing from McDonough and Braungart, *Cradle to Cradle (C2C)*, (2015) (Redigerad).

I följande avsnitt granskas de tekniska looparna och hur koncepten kan appliceras på tvättmaskiner, både uttjänta och sådana som fortfarande är i bruk. I detta arbete kommer svenska begrepp användas för respektive loop för ett sammanhängande språkbruk.

- *Maintain/Prolong – Underhåll och Reparation.* Innefattar maintenance - både preventative och predictive, och repair. Dessa har översatts till underhåll - förebyggande och förutseende, respektive reparation.
- *Reuse/Redistribute – Återanvändning.* Centrala begrepp för denna loop är direct product reuse och parts reuse, vilka översatts till direkt produktåteranvändning och återanvändning av delar.
- *Refurbish/Remanufacture – Återtillverkning.* Den tredje loopens benämns i detta arbete endast återtillverkning, även om refurbish i texten översätts till renovering när denna aktivitet avses specifikt. Detta eftersom aktiviteterna i praktiken är snarlika.

- *Recycle – Återvinning*. Innefattar begreppen functional recycling och downcycling/upcycling som översatts till funktionell återvinning respektive nedgradering/uppgradering.

4.1 Underhåll och Reparation

Den innersta loopen utgörs av underhåll och reparation, vilka ökar möjligheterna för produkter att hållas i gott skick under en längre tid. Underhåll innefattar inspektion och service för att bevara en produkts funktionella egenskaper medan reparation syftar till att återställa en produkt till gott skick efter att den gått sönder [23]. Exempel på underhåll av tvättmaskiner är avkalkning och rengöring av filter.

Det finns olika sätt att sköta underhållet på; det kan både vara förebyggande och förutseende [24]. Det förstnämnda är baserat på tid och schemaläggning, det vill säga när det statistiskt sett är lägligt med kontroller. Detta tillvägagångssätt är vanligt för komplexa produkter vars ingående delar inte har samma förväntade livslängd, och där kostnaderna om produkten går sönder långt överstiger underhållskostnaderna. Denna typ av underhåll innebär dessutom att de skador ett fel på en enskild del skulle kunna orsaka på resterande delar kan undvikas i större utsträckning. Förutseende underhåll baseras istället på övervakning av parametrar som indikerar fel och effektivitetsförluster. På så sätt byts delar endast ut vid behov, att likna vid reparationer. Skillnaden är att varning ges så att underhåll kan ske innan fel uppstår [24].

4.2 Återanvändning

Den andra loopens utgörs av återanvändning. Definitionen av återanvändning skiljer sig inom litteraturen; somliga argumenterar för att termen endast omfattar produkter och delar som återanvänds helt utan omvandling [24], medan andra menar att samtliga produkter och delar som kan användas i ursprungligt syfte trots att de genomgått operationer omfattas [16]. Med den andra definitionen skulle återtillverkning vara en del av återanvändning, vilket inte är analogt med looparna som illustreras i början av avsnittet. I fortsättningen kommer arbetet därför att utgå från den första definitionen. Beroende på om det är fråga om en hel produkt eller endast delar av den, kan begreppet delas upp i direkt produktåteranvändning och återanvändning av delar. I denna loop avgränsas dock begreppet till att endast gälla produkter, då återanvändning av delar tillhör nästa loop.

Återanvändning syftar alltså till att hela produkten återanvänds utan omvandling, vilket vanligtvis sker genom antingen leasing eller då ägaren säljer produkten vidare. Därmed krävs inget ytterligare material och endast en mindre kvantitet arbetskraft och tillförsel av information [24].

4.3 Återtillverkning

Den tredje loopens utgörs av återtillverkning, som innebär att använda produkter återställs till så gott som nyskick, samtidigt som de ges minst lika god prestanda och hållbarhet som tidigare [24]. Trots att det adderade materialvärdet är lågt innebär aktiviteten en stor omvandling av komponenten eller produkten. Bearbetningen kräver mycket arbetskraft

eftersom många delar måste testas och/eller renoveras, vilket gör lönekostnader till en viktig faktor [24]. För renovering är tanken densamma, men kraven lägre då det räcker att produkten återställs till ett tillfredsställande skick [16].

Processen för återtillverkning inleds med både utvändiga och invändiga kontroller där tidsåtgång, kostnader och tillgänglighet av reservdelar estimeras [16]. Genomgår produkten kontrollerna utan större anmärkningar utförs ett antal tester, vilka för tvättmaskiner kan innefatta exempelvis låsmekanism hos luckan, påfyllning av vatten, motorns rotation och temperaturkontroll. Detekteras något fel utförs mer noggrann testning varefter trasiga delar kan bytas ut, såvida det inte anses vara för dyrt, svårt eller tidskrävande. I dessa fall avlägsnas istället de delar som kan återanvändas, och då prioriteras komponenter som ofta byts ut, är särskilt dyra eller avgörande för produktens utseende. För tvättmaskiner gäller detta kontrollpanel med kretskort, motor, tvättmedelsfack, termostat och pumpfilter, för att ta några exempel [16]. Att samla ihop och testa fullt funktionella delar från kasserade produkter är i teorin betydligt billigare än att framställa nya, vilket ger en stor ekonomisk potential. I praktiken är denna potential dock svår att utnyttja i och med att delar ofta skiljer sig både märken och modeller emellan. Har en produkt tillverkats under en längre tid kan till och med delar från tvättmaskiner av samma modell skilja sig [25].

I vissa fall byts delar ut i förebyggande syfte för att undvika framtida haveri, såsom avloppspump och tvättmaskinens drivrem. När alla kontroller och reparationer är gjorda genomgår produkten en fullständig rengöring följt av en yttre kontroll, vilka är de mest tidskrävande delarna av processen. Detta både för att undvika hälsorisker och för att den ska ge ett välvårdat intryck vid försäljning. Slutligen genomförs en kvalitetskontroll då bland annat funktioner och program testas.

4.4 Återvinning

Den sista loopen utgörs av återvinning. Av EU definieras begreppet som samtliga operationer genom vilka avfallsmaterial återprocessas till produkter, material eller ämnen [26]. Det är både den vanligaste och den som genererar minst ekonomiskt värde av de fyra looparna. Alla material måste separeras och bearbetas var för sig, samtidigt som värdet av det material som faktiskt återvinns är betydligt lägre än värdet av råmaterial [24]. Dessutom är dagens återvinningsprocesser vanligtvis lösa eller långa loopar i vilka materialets användbarhet reduceras till dess lägsta nivå [6].

Begreppet materialåtervinning kan delas in i tre kategorier: funktionell återvinning, nedgradering och uppgradering [6]. Den förstnämnda innebär att material återvinns för det ursprungliga ändamålet eller andra syften, med energiutvinning undantaget. Nedgradering syftar till processen där materialet omvandlas och både kvalitet och funktionalitet reduceras. Uppgradering är alltså motsatsen, där materialet får högre kvalitet och ökad funktionalitet till följd av återvinningen.

Tvättmaskiner ingår i kategorin 'Stor elutrustning' och återvinningsprocessen börjar därför med förbehandling där miljöfarliga ämnen och vissa komponenter separeras från övrigt

material enligt *Avfallsförordningen* [27]. Förbehandlingen sker oftast manuellt. I Sverige innebär detta steg för tvättmaskiner främst utsällning av äldre tvättmaskiner som kan innehålla PCB-kondensatorer [28]. Gemensamt för både nya och gamla tvättmaskiner är att eventuella större displayer avlägsnas under förbehandlingen. I nästa steg fragmenteras tvättmaskinen så att materialet delas upp i lika stora delar. Med teknisk utrustning som utnyttjar bland annat densitet, induktion och magnetism kan olika material såsom koppar, rostfritt stål, järn och plaster sedan separeras. Det sorterade krosset skickas till behandlingsanläggningar som säljer eller skickar det vidare till förbränningsanläggningar, återvinningsföretag, destruktion eller deponi. Priserna på det återvunna materialet baseras på materialets renhet och efterfrågan.

5. Cirkulär ekonomi idag

5.1 Lagstiftning

Den rådande lagstiftningen påverkar till stor del hur de fyra looparna inom den cirkulära ekonomin tillämpas, varför denna inledande behandlas i detta avsnitt. I slutet av 2015 antog EU ett lagstiftningspaket för att stimulera Europas övergång mot cirkulär ekonomi [29]. Detta syftar dock främst till ökad materialåtervinning och minskad deponering, och främjar inte utvecklingen mot cirkulation i de inre looparna i samma utsträckning. Som medlemsstat i EU är Sverige skyldig att vidta åtgärder för att följa det så kallade WEEE-direktivet. I detta specificeras hur lagar för producentansvar och hantering av elavfall ska utformas [30].

Förordningen om producentansvar för elutrustning är en av de förordningar som utformats till följd av WEEE-direktivet. Denna redogör bland annat för hur producenter av elutrustning, såsom tvättmaskiner, är skyldiga att anmäla sig till Naturvårdsverket och se till att någon som driver ett insamlingssystem med tillstånd har åtagit sig att ta hand om elavfallet. De måste även ta emot uttjänta produkter, märka produkter och årligen rapportera hur stor vikt av olika material företaget sålt respektive mottagit [3]. Därtill är företagen skyldiga att utforma produkter på ett sätt som främjar återanvändning och materialåtervinning, och säkerställa att farliga ämnen utesluts eller dokumenteras enligt *Förordningen om farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning* [3] [31]. Sedan augusti 2015 måste minst 80 % av allt konsumentelavfall förberedas för återanvändning eller materialåtervinnas [3]. Exakt hur stor andel av allt avfall som ska gå till respektive ändamål är dock inte definierat, men i *Miljöbalken* förtydligas att avfall i första hand ska förberedas för återanvändning [32].

De insamlingssystem som idag har tillstånd att samla in konsumentelavfall är Elektronikåtervinning i Sverige (EÅF) och El-Kretsen [33]. Dessa har avtal med butiker, producenter och kommuner över hela landet och hanterar insamling, transport och återvinning hos certifierade återvinningsföretag. El-Kretsen tar ut en avgift för förbehandlingen och beroende på hur mycket av materialet som kan återvinnas och säljas får producenterna tillbaka överskottet [34]. Detta ska ge producenter incitament att designa sina produkter så att materialseparation blir enkel och att rena material kan utvinnas.

Ett problem med utformningen av producentansvaret är att återvinning främjas i större utsträckning än förberedelse för återanvändning, trots prioriteringsordningen som presenteras i *Miljöbalken* [32] [35]. Detta beror bland annat på oklarheter gällande distinktionen mellan begreppen *förberedelse för återanvändning* och *återanvändning* i lagstiftningen. Förberedelse för återanvändning behandlar produkter som klassats som avfall och ska kontrolleras, rengöras eller repareras för att sedan kunna återanvändas. Återanvändning å andra sidan, behandlar produkter som *inte* avfallsklassats [3]. Olika lagar gäller nämligen beroende på huruvida produkten klassats som avfall, och i vissa länder är lagstiftningen utformad så att produkter som en gång blivit avfall aldrig kan återanvändas [36]. Otydligheterna kring vilka lagar som ska gälla, i kombination med att det inte finns någon tydlig målsättning för hur stor

andel av de insamlade produkterna som ska förberedas för återanvändning, har gjort att fokus lagts på återvinning.

En annan otydlighet gällande producentansvaret är definitionen av en producent [37]. Exempelvis anser producenter att det blir problematiskt när varor korsar nationsgränser, såväl som vid verksamhet i flera länder med olika tolkningar av definitionen. Det kan vara oklart vem som bär producentansvaret och hur producenter ska gå tillväga för att möta krav gällande exempelvis företagsregistrering och rapportering i olika länder. Då en produkt återförs till marknaden efter att ha förberetts för återanvändning eller återtillverkats kan liknande frågor uppstå [35].

Ytterligare ett problemområde är märkningen av produkter [37]. Anledningen till att produkter ska märkas är bland annat att aktörer inom återvinningsområdet ska få nödvändig information om farliga ämnen och att produkter ska kunna spåras tillbaka till producenten. Spårningen möjliggör att producentansvaret blir individuellt istället för kollektivt. Följaktligen får varje producent ta sitt individuella ansvar för sina produkter, och får även ersättning i förhållande till återvinningsmöjligheterna för dessa. Märkningen ska således ge producenter incitament att minska återvinningskostnader genom lämpligare design och materialval. Hade producentansvaret utformats för att vara mer kollektivt hade en producers designförbättring enbart haft marginell påverkan på återvinningskostnaderna. Problemet är att märkning av produkter som innehåller komponenter av olika material och från olika underleverantörer är oerhört komplex, eftersom ingående delar måste märkas separat. Vissa producenter menar att kraven är svåra att leva upp till, medan andra aktörer anser att marknadskrafter skulle lösa problemet om högre press sattes på producenter [37].

5.2 Underhåll och Reparation

I studien *Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency*, som utförts åt Europeiska Kommissionen och behandlar konsumenters generella inställning till avfallshantering och resurseffektivitet i Europa, deltog drygt 26 500 personer varav 77 % var villiga att försöka reparera olika typer av produkter istället för att köpa nya [38]. Av de svenskar som deltog var motsvarande siffra 76 %. Trots att viljan att reparera verkar vara hög, slutar det ofta med att produkter slängs [36]. Detta lyfts bland annat i en undersökning av WRAP, i vilken totalt 49 % av de stora hushållsapparater som slängdes egentligen var möjliga att reparera, direkt återanvända eller återtillverka [39].

Den främsta orsaken till att konsumenter slänger produkter som är möjliga att reparera är att de anser att kostnaden för reparation är för hög i förhållande till priset på en ny produkt [39]. Detta är något även El-Kretsen lyfter som ett problem [34]. Andra vanliga anledningar är att man inte tror att produkten går att reparera, att man inte längre vill ha den eller att man inte visste att reparation var ett alternativ [39]. Reparerbarhet är dock av hög prioritet för båda de producenter som intervjuats för detta arbete [40] [41].

Även om tidigare nämnda studier indikerar att många reparerbara produkter slängs i samhället, är tvättmaskiner en av de vitvaror som oftast repareras. Detta uppmärksammas i en

annan studie för Europeiska Kommissionen, där 30 % av tvättmaskinerna i undersökningen någon gång hade genomgått reparation [14]. Att tvättmaskiner oftast är tekniskt möjliga att reparera stärks även av den reparatör vi varit i kontakt med [42]. Beträffande underhåll tillhandahåller de flesta producenter manualer för hur privatkonsumenter själva kan hålla sin produkt i gott skick, och sensorer och elektronik finns ofta inbyggda för att underlätta förebyggande och förutseende underhåll [13].

5.3 Återanvändning

Som nämns i avsnitt 5.2 är det i de flesta fall teoretiskt möjligt att återanvända de produkter som kasseras; att detta inte sker i större utsträckning beror delvis på utformningen av dagens lagstiftning, som diskuteras i avsnitt 5.1. *Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency* visar att 37 % skulle överväga att köpa stora hushållsprodukter såsom spisar, kylskåp och tvättmaskiner på andrahandsmarknaden [38]. Orsaker till att konsumenter inte väljer detta alternativ är främst oro gällande lägre kvalitet och hälso- och säkerhetsrisker. Även El-Kretsen poängterar att konsumenters inställning är en viktig faktor för återanvändning av produkter [34].

I Sverige är återanvändning inte särskilt vanligt; endast ca 8,8 % av tvättmaskinerna i svenska hushåll är återanvända enligt en av de tidigare nämnda studierna för Europeiska Kommissionen [14]. Trots den låga siffran är dock Sverige det land, efter Finland, där återanvändning är vanligast av de tio länder som undersöktes. Vidare utnyttjas inte återanvändning i någon större utsträckning av varken de producenter, den reparatör eller det insamlingssystem som intervjuats för detta arbete [34] [40] [41] [42]. Affärsmodeller såsom leasing ligger dock utanför detta arbete och därmed har varken förekomsten av eller lönsamheten för sådan verksamhet undersökts.

5.4 Återtillverkning

Liksom återanvändning drabbas återtillverkning av bristerna i dagens lagstiftning, och endast 23 % av svenskarna anger att de någon gång köpt en återtillverkad produkt [38]. Återigen är osäkerhet kring kvalitet en dominerande anledning till att det inte görs i större utsträckning. Att konsumenter föredrar en ny produkt, inte är medvetna om alternativet att köpa en återtillverkad produkt eller att alternativet inte är tillgängligt i området, är andra orsaker. Det sistnämnda har tydligt framgått under detta arbete då det visat sig vara svårt att överhuvudtaget hitta företag som ägnar sig åt återtillverkning av tvättmaskiner. Detta demonstreras vidare av att de producenter, den reparatör eller det insamlingssystem som intervjuats berättar att de inte ägnar sig åt återtillverkning i någon större utsträckning [34] [40] [41] [42]. Electrolux har dock avtal med återtillverkare, men detta område utgör ingen stor del av deras verksamhet [41]. Detta beskrivs mer i avsnitt 6.2.

5.5 Återvinning

Eftersom dagens lagstiftning främjar återvinning är det denna loop som huvudsakligen utnyttjas i Sverige. Dels är återvinning insamlingssystemens enda prioritet [34], dels är det den loop konsumenter är mest medvetna om och tror att de har störst påverkan på samhällets resurseffektivitet genom [38]. Huruvida producenter designar tvättmaskiner för detta ändamål

varierar dock. Miele berättar exempelvis att de är noggranna med att designa produkter för att främja återvinning, och återvinner även material själva [40]. Samtidigt förklarar El-Kretsen att målen för återvinning är svåra att nå på grund av att produkter är designade i olämpliga material, såsom plast och betong [34]. Av detta dras slutsatsen att inte alla producenter gör lika omsorgsfulla materialval som Miele.

Vidare är det lagstadgat att tvättmaskiner som ska kasseras måste lämnas in till ett insamlingsystem [27]. Således hamnar produkterna alltid i denna loop tillslut, oavsett om de är lämpade för det. När materialet är färdigbearbetat måste det finnas en köpare av det för att loopen för återvinning ska slutas, och där bidrar bland andra Electrolux genom att köpa återvunna material [41].

6. Intervjuer

Detta avsnitt innehåller sammanfattningar av de intervjuer som genomförts i detta arbete. Avsnittet inleds med de två producenterna Miele och Electrolux, följt av reparatören Hushållsservice Söderort AB och avslutas med insamlingsystemet El-Kretsen.

6.1 Miele

Oskar Herodes är Distriktschef för området Hushållsprodukter på Miele, och intervjun genomfördes via mail. De frågor intervjun utgick ifrån återfinns i *Bilaga 1*.

Herodes berättar att Miele främst prioriterar kvaliteten på sina produkter i produktframtagningsprocessen så att dessa ska hålla för 20 års användning, varför alla produkter genomgår rigorösa tester. Därefter prioriteras självklart även energi- och vattenförbrukning. Materialet ska gå att återvinna och designspråket vara rent och sobert så att det tilltalar kunder även i framtiden.

Vid utformningen av sina tvättmaskiner arbetar Miele med nya tekniker, men främst ligger fokus på att produkterna ska vara tidlösa. Exempelvis har en modell (WDA 111), som haft samma utseende i nästan 30 år, nyligen ersatts. Detta visar på hur man utformar sina produkter så att de ständigt ska vara aktuella trots sin långa livslängd.

Miele har ett stort intresse för teknik och nyheter och utvecklar konstant sina maskiner. Uppdateringar av maskiner görs först när tekniken fungerar felfritt, enligt deras mått, eftersom ny teknik som fungerar dåligt inte tillför värde till kunden. Man tror på att skapa produkter som gör sitt jobb till det yttersta, och att detta ger större kundnytta. Fokus framåt ligger på att utveckla ännu mer hållbara produkter vars komponenter enkelt ska kunna återvinnas efter förbrukning.

I nuläget återvinns de delar som inte godkänns vid kontroller i produktionsfasen, samt skrotade produkter som tas tillbaka till fabrik, genom att dessa smälts ned och omarbetas. Merparten av alla produkter är nämligen producerade av återvinningsbara material som går att smälta ned och gjuta om. Exempelvis används enbart gjutjärn som motvikt i tvättmaskinerna, istället för betong.

Herodes poängterar att Miele i yttersta mån alltid reparerar produkter vid uppkommen skada, och att målsättningen är att avsluta 80 % av alla servicejobb på första försöket. Reparationen ska alltid utföras med originaldelar, och om samma fel uppstår mer än tre gånger under det första året av garantin byts produkten ut. Uppstår däremot problem efter det första året lämnas ett kvalitetsbevis till ett värde av 1000 kronor ut som avdrag på den service kunden kan komma att behöva. Vad gäller underhåll har samtliga produkter ett avsnitt i instruktionsboken för detta, så att kunden själv kan bibehålla nyskicket.

Den långa livstiden på tvättmaskinerna återspeglas i designen genom väl uttänkta materialval och konstruktionslösningar. Förutom att välja gjutjärn till förmån för betong i motvikten som

nämndes tidigare, används emaljerad plåt för bästa hållbarhet i chassiet. Dessutom uppnås stadigare upphängning av tvättrumman med tre stötdämpare istället för två, och fyra ankarfjädrar istället för två.

6.2 Electrolux

Karl Edsjö är Ansvarig för återvinningsfrågor på Electrolux, och intervjun genomfördes via telefon. De frågor intervjun utgick ifrån återfinns i *Bilaga 2*.

Electrolux fokuserar främst på att utveckla tvättmaskiner som är användarvänliga, energieffektiva, och ger ett bra tvättresultat. Dessutom prioriteras att minimera behovet av reparationer genom att tillhandahålla kvalitetsprodukter. Edsjö menar att man inte börjar i den slutliga änden av tvättmaskinens livscykel och att produkter inte konstrueras för att skrotas. Däremot är det fortfarande viktigt att produkten ska kunna repareras. I termer av cirkulär ekonomi är reparerbarhet den loop Electrolux producerar för - alla produkter ska gå att reparera. Detta görs genom att designa komponenter och produkter så att de olika delarna kan nås, lossas och ersättas. Vidare är man noggrann med att tillhandahålla reservdelar, även för modeller som gått ur sortimentet. Priset på reservdelar bestäms av flera faktorer, bland annat kostnaden för lagerhållning,

Edsjö berättar att Electrolux har en del samarbeten med en tredje part där affärsmodeller för återanvändning tillämpas, bland annat i USA där en modell för betalning per användning används och i Wien där man säljer till tvättstugor. Dessa samarbeten gäller dock professionella produkter och riktar sig alltså inte till privata hushåll.

Electrolux fokuserar i nuläget inte på återtillverkning av tvättmaskiner, åtminstone inte i egen regi. Detta beror bland annat på att det skulle vara logistiskt svårt att implementera, då det innebär att maskiner måste transporteras tillbaka till fabriker för att kunna bearbetas. Vidare berättar Edsjö att möjligheten för att återtillverka tvättmaskiner skiljer sig mellan olika marknader. Det varierar mellan olika länder och beror på hur ekonomin ser ut. I länder där välfärden är högre är maskinerna ofta i bättre skick då de kasseras och därmed finns det större möjligheter att återtillverka dem. I länder med lägre välfärd finns inte samma potential då konsumenterna tenderar att använda produkterna till de är helt uttjänta.

Det samband man sett mellan välfärd och återtillverkning försöker man utnyttja. Man har avtal med återtillverkare i exempelvis Norge och Storbritannien, som samlar in produkter från Electrolux för bearbetning och försäljning.

Vid konstruktion av en tvättmaskin har inte design för återvinning första prioritet, men eftersom tvättmaskinen är byggd för att kunna repareras går det förstås vid skrotning även att plocka ner maskinen i sina beståndsdelar. Normalt är det dock inte det som sker utan produkterna mals ned och materialen sorterar efteråt, vilket inte görs av Electrolux. Tack vare kemikalielagstiftning som RoHS (*Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment*) och Electroluxs egna regler har mängden farliga kemikalier i de produkter som återvinns minskat. Anledningen att andelen plast över tiden

ökat vid tillverkningen av tvättmaskiner är att det är ett material med många möjligheter och att det kan bidra till att sänka kostnaderna vid tillverkning.

Metall är lättare att återvinna än plast och därmed ofta mer värdefullt, varför insamlingssystemen kan generera högre inkomster från metallåtervinning än plaståtervinning. De intäkter som erhålls vid försäljning av återvunna material bidrar till att täcka kostnaderna från insamling och bearbetning av elavfall. När råvarupriserna, framförallt för metaller, är höga kan dessa intäkter vara tillräckliga för att även ge ett överskott för hela aktiviteten. Hur stora inkomsterna blir är inte enbart kopplat till råvarupriserna, utan det måste även finnas en efterfrågan på materialen som återvinns, vilket kan vara ett problem för plaster, men normalt inte för metaller. I detta område försöker Electrolux göra en insats och köpa återvunnen plast. Det finns dock utmaningar med användning av återvunna plaster. Processerna för plaståtervinning är inte lika välutvecklade som för metaller och de genererar inte lika rena material. På grund av detta får återvunnen plast inte samma egenskaper som den jungfruliga plasten. Därmed är det inte helt enkelt att använda återvunnen plast i produktionen av nya produkter. Den återvunna plasten är inte heller fullt kompatibel med nytillverkad plast. För att få en effektiv produktion vill man gärna ha ett och samma material för en komponent, men med dubbla material behövs dubbla processer. Användning av återvunnen plast medför därför strukturella problem. Tekniker för separation av plaster är dock under utveckling och användning av återvunnen plast är ett av huvudområdena Edsjö arbetar med hos Electrolux. Vidare ökar andelen återvunnen plast företaget använder varje år.

Beträffande den motvikt i betong som finns i tvättmaskiner finns inga starka drivkrafter att använda andra material eller lösningar i nuläget. Edsjö berättar att det finns alternativ såsom en motvikt i stål men denna lösning skulle vara betydligt dyrare, och det råder skilda meningar om huruvida en sådan lösning verkligen skulle vara fördelaktig ur återvinningssynpunkt. Visserligen förenklas materialseparation samtidigt som slutmaterialet har ett värde, till skillnad från betong. Å andra sidan menar vissa att en sådan stålkomp skadar de maskiner som maler ner tvättmaskinerna, vilket gör användningen av stål mindre lönsam i längden.

Electrolux satsar på att utveckla modulära produkter i alla sektorer inom företaget. Anledningen är främst kostnadseffektivitet i produktionen. Med modularisering kan man tillverka flera olika modeller utifrån ett begränsat antal grundkomponenter, istället för att använda specifika komponenter för varje modell. Detta blir billigare till följd av större serier och färre typer av komponenter att hålla reda på. Edsjö tar upp en jämförelse med bilindustrin och Volkswagen där man talar om plattformar som är gemensamma för ett stort antal modeller, men även för deras olika bilmärken.

Framtida utvecklingsarbete för Electrolux tvättmaskiner fokuserar på uppkopplade produkter. Man hoppas att detta ska leda till ökad funktionalitet. Eventuellt skulle livslängd och reparierbarhet kunna öka genom uppdateringar av mjukvara eller möjligheter att diagnostisera fel med hjälp av sensorer.

6.3 Hushållsservice Söderort AB

Carina Tornborg är Verksamhetsansvarig på Hushållsservice Söderort AB, som arbetar med installation, service, reparation och försäljning av vitvaror och är verksamma inom Stockholmsområdet. Intervjun genomfördes via mail och de frågor som ställts återfinns i *Bilaga 3*.

Tornborg berättar att delar skiljer sig mycket dels mellan olika märken, men också mellan olika modeller från samma märke. Även inom samma modell kan delar skilja sig om denna tillverkats under en längre tidsperiod (cirka 10 – 15 år). Generellt sett är det enkelt att få tillgång till reservdelar, men Tornborg menar att dessa i relation till priset på nya maskiner är alldeles för dyra. Att tvättmaskinen är så pass billig att köpa nytillverkad gör att konsumenter hellre köper en ny än reparerar en trasig; tvättmaskinen har blivit en ”slit och släng”-produkt. Att en maskin inte skulle kunna repareras är nämligen ovanligt, och handlar i sådana fall oftast om att en fabrik lagts ner eller liknande.

De tvättmaskiner Hushållsservice Söderort AB kasserar är omöjliga eller väldigt dyra att reparera. Dessa lämnas in på en återvinningscentral alternativt till Lantz Järn & Metall AB, som i sin tur monterar isär och tar vara på metallskrotet. Då företaget är litet finns varken tillräckligt med tid eller lagerutrymme för att ta vara på eventuella fungerande delar för återanvändning eller återtillverkning. Med tanke på hur mycket olika delar skiljer sig är det dessutom osannolikt att någon av de kommande maskinerna som ska repareras är i behov av just de delarna.

6.4 El-Kretsen

Fredrik Benson är Ansvarig för affärsutveckling på El-kretsen och intervjun genomfördes via telefon. De frågor intervjun utgick från återfinns i *Bilaga 4*.

Benson berättar om hur återvinningsprocessen för tvättmaskiner går till i Sverige. El-Kretsen tar betalt av producenter för förbehandlingen, och om materialutvinningen senare ger intäkter går överskottet tillbaka till dessa. Allt beror på hur rent materialet är. Förbehandlingen är det första steget då eventuella stora displayer tas bort. För tvättmaskiner äldre än 35 år avlägsnas också eventuella PCB-kondensatorer och komponenter som innehåller andra farliga ämnen såsom kvicksilver. Därmed är det viktigt att skilja på nya och gamla tvättmaskiner. Om gamla tvättmaskiner inte tas om hand korrekt i detta steg kan nämligen allt materialkross i samma parti kontamineras och därmed eliminera avkastningsmöjligheterna för materialet. Nya maskiner innehåller dock inga sådana farliga ämnen vilket förenklar förbehandlingen.

I nästkommande steg fragmenteras tvättmaskinen, detta för att i senare process kunna sortera materialet som då är uppdelat i lika stora delar. Teknisk utrustning separerar därefter det storleksreducerade, krossade materialet med hjälp av exempelvis densitet, magnetism och induktion. Det separeras som metall/ickemetall, magnetiskt/ickemagnetiskt och övrigt. De metaller som främst utvinns är aluminium, koppar, rostfritt stål och järn. De olika sorterade materialen skickas sedan till behandlingsanläggningar som säljer vidare för plaståtervinning, destruktion, deponi, energiåtervinning eller för att smältas i smältverk. Benson poängterar att

för att återvinning och återanvändning ska bli lönsamt måste någon vilja köpa det som återvinns respektive återanvänds. El-Kretsen arbetar i dagsläget enbart med återvinning. Möjligheterna att återanvända delar eller fungerande produkter avgörs av producenterna. Deras reservdelar är enligt reparatörer alltför dyra och kan saknas i sortimentet, vilket således skapar problem för återanvändning. Att aktiviteten inte förespråkas av producenter i särskilt hög grad tror Benson delvis kan bero på att de vill upprätthålla sin nyförsäljning, men också på svårigheter beträffande produktansvar och garantifrågor.

Det främsta problemet El-Kretsen står inför idag är den ökade användningen av plast och betong i nya tvättmaskiner, vilken minskar mängden rent och värdefullt material som går att utvinna. Deponeringsgraden stiger därmed, varför det kan bli svårt att hålla sig till målet på 80 % återvinningsgrad om denna utveckling fortsätter. För att främja återvinning i framtiden bör man alltså inte fortsätta blanda plast och metall på det sätt som görs idag. Benson ser gärna att modularisering tillämpas så att exempelvis teknikkomponenter och komponenter med farliga ämnen enkelt kan tas ut vid förbehandlingen. Det är fördelaktigt om materialseparation kan ske så tidigt som möjligt. Att förenkla demontering, genom exempelvis modularisering, skulle dels kunna sänka återvinningskostnaden då det manuella arbetet effektiviseras, dels öka möjligheterna för att ta vara på fungerande reservdelar och därmed kunna reparera trasiga maskiner. Konsumenterna är då viktiga i sammanhanget. De måste vara villiga och förstå vikten av att köpa och återanvända kvalitetsprodukter istället för att köpa nytt när de egentligen bara är i behov av reparation.

7. Incitament för ökad cirkularitet

Som framgår i avsnitt 3 och 4 innebär de stigande priserna på råmaterial och den annalkande resursbristen att den cirkulära ekonomin blir allt mer attraktiv. Att cirkulera produkter och material skulle innebära en lägre konsumtion av råvaror, och således även en minskad känslighet för utbudsstörningar och prisvariation [21]. Det ligger i företagens ekonomiska intressen att på bästa sätt utnyttja sina resurser, och genom regleringar och subventioner skulle beslutsfattare kunna stärka detta incitament ytterligare. Även lagstiftning i sig är ett starkt incitament. För att ett skifte ska kunna ske är en grundläggande förutsättning att det är lönsamt för företagen i fråga, eftersom näringslivet främst drivs av ekonomiska intressen. Det lagstiftningspaket som nämns i avsnitt 5.1, och antagits för att stimulera Europas övergång mot cirkulär ekonomi skulle kunna fungera som ett incitament, men främjar i nuläget inte utvecklingen mot cirkulation i de inre looparna på avsett vis.

Ännu ett starkt incitament är hållbarhetsaspekten, vilken blir allt viktigare i takt med att miljömedvetenheten hos konsumenter ökar. Med cirkulär ekonomi kan avfall och föroreningar minimeras, och resursförbrukningen effektiviseras. Förutom de faktiska insatserna för miljön kan företagen få en miljöstampel hos allmänheten, vilket ökar deras trovärdighet [17].

Ett annat incitament är teknologisk utveckling. Genom att söka nya cirkulära lösningar kan idéer uppstå, som sedan utmynnar i betydande teknologiska framsteg. Ett exempel på en sådan innovation skulle kunna vara en ny typ av material [21].

Vidare är de främsta incitamenten för underhåll och reparation att produkter kan hållas i gott skick under en längre tid samt att de skador på resterande delar som ett fel skulle kunna orsaka kan undvikas i högre grad, vilket nämns i avsnitt 4.1. Enligt Hushållsservice Söderort AB är det mycket ovanligt att en tvättmaskin inte kan repareras, vilket ger goda förutsättningar för denna loop [42]. Dessutom visar en studie utförd åt Europeiska Kommissionen på att lång hållbarhet är en av de viktigaste aspekterna för konsumenter vid köp av produkter som generellt har lång livslängd, såsom tvättmaskiner [38]. Att konsumenter efterfrågar hållbarhet stärker alltså incitamenten för underhåll och reparation, då denna syftar till att förlänga produkters livslängd.

Ett incitament för återanvändning är den potentiella ytterligare försäljningen som skulle genereras på andrahandsmarknaden. Eftersom inget ytterligare material och endast en mindre kvantitet arbetskraft krävs, är ekonomiska vinster möjliga [24]. Samma resonemang kan föras gällande återtillverkning eftersom en stor omvandling av produkten sker, trots att det adderade materialvärdet är lågt. Däremot krävs mer arbete vid återtillverkning vilket skulle kunna resultera i svagare incitament för denna loop. Vidare skulle den höga välfärden i Sverige kunna bidra till att dessa incitament stärks eftersom maskiner som kasseras ofta är i relativt gott skick, i likhet med vad Electrolux berättar om sina avtal med återtillverkare i Norge och Storbritannien [41].

Vad gäller återvinning är de största incitamenten enkelheten och tillgängligheten i och med att systemet redan existerar och fungerar. Således krävs inga extra lager eller anställda, som i fallen med de två mellersta looparna. Dagens lagstiftning är även utformad till fördel för denna loop, och förordningar som *Förordningen om farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning* har resulterat i att förekomsten av exempelvis giftiga plaster har reducerats. Detta poängteras bland annat av Electrolux [41]. Dessutom främjas nyförsäljning vilket är ett stort ekonomiskt incitament i jämförelse med de tre inre looparna.

8. Hinder för ökad cirkularitet

Ett problem som betonas i både litteraturstudie och intervjuer är de höga priserna på reservdelar. De intervjuade producenterna anser sig vara noggranna med att tillhandahålla dessa, även för produkter som utgått ur sortimentet [40] [41]. I avsnitt 6.2 förklaras att priserna delvis beror på höga omkostnader, vilket i kombination med det relativt låga priset för en ny, mer modern tvättmaskin gör att många konsumenter väljer bort reparation som alternativ trots att det alltså skulle vara möjligt.

Kostnader för att lagerhålla reservdelar utgör också hinder för ökad återanvändning och återtillverkning. För producenter kan det vara logistiskt svårt att ta tillbaka maskiner till fabriker och omarbeta dem, medan det för reparatörer är behovet av lagerhållning som är mest problematiskt [41] [42]. Det finns varken tillräckligt med tid eller plats för att demontering av fungerande delar för reparation, återanvändning eller återtillverkning, ska vara ekonomiskt försvarbart.

Vidare är komponenter inte standardiserade så att de kan användas mellan märken och modeller, vilket gör det än mindre fördelaktigt att lagerhålla demonterade delar [42]. Dessutom främjar tvättmaskinens design inte alltid enkel demontering. Det kan vara tekniskt möjligt att reparera en maskin, men för dyrt för att vara ekonomiskt fördelaktigt om det är svårt att komma åt och byta ut vissa delar. Exempelvis är en av de vanligaste orsakerna till att tvättmaskiner går sönder att stötdämparna havererar. Att reparera dessa kräver ofta demontering och byte av fler kringliggande delar vilket gör reparationen dyr. Svår demontering är även problematiskt vid återanvändning och återtillverkning, eftersom det kräver mer arbete vilket medför högre lönekostnader. Speciellt för återtillverkning, som alltså är den mest arbetsintensiva loopen [24], blir kostnaderna högre än om enkel demontering hade varit inbyggt i designen.

Ytterligare ett hinder för att återanvända och återtillverka tvättmaskiner är att det inte finns en tillräckligt stor andrahandsmarknad. Detta beror dels på att konsumenter inte efterfrågar begagnade tvättmaskiner, dels på det begränsade utbudet. Det är svårt att göra återtillverkning lönsamt, bland annat på grund av de höga kostnaderna för arbete, vilket gör att antalet verksamma återtillverkare är lågt. Att så få konsumenter väljer att köpa återanvända och återtillverkade tvättmaskiner beror i viss mån på bristande kännedom om fördelarna med dessa, men också på skepticism gentemot kvaliteten på produkterna [35]. Dessutom är konsumentmedvetenheten begränsad gällande alternativen till kassering av produkter.

En orsak till att tvättmaskinens design gynnar återvinning i högre grad än återanvändning, trots att återanvändning ska prioriteras enligt lag, är sannolikt att återvinning främjar nyförsäljning i större mån. Denna aspekt lyfts även av El-Kretsen [34]. Även bristerna kring lagarna om producentansvar bidrar till att återanvändning missgynnas. Detta gäller dels tvetydiga och komplicerade definitioner, dels praktiska svårigheter för företagen.

Beträffande återvinning används alltmer oädla material såsom plast, vilket med dagens teknologier är svårare att återvinna och att sälja. Dessutom blandas materialen i stor utsträckning i både produkter och komponenter, vilket gör det svårare separera dem tidigt i återvinningsprocessen [34]. Följaktligen blir de material som utvinns inte lika rena som råmaterial och får oönskade egenskaper – de nedgraderas [41]. Således är det svårt att ta vara på den plast som återvinns. Vidare ser El-Kretsen även användningen av betong i tvättmaskiner som ett hinder för en effektiv återvinningsprocess. Betong deponeras och återvinningsgraden minskar därför [34].

Att andelen material som går till deponi ökar och att det material som utvinns har lågt värde, minskar det överskott som ska fungera som incitament för producenter att designa för att främja återvinning. Vidare påpekar Electrolux att det eventuella överskottet till stor del beror av metallpriserna [41]. Minskad metallanvändning försvagar därmed de finansiella incitamenten att tillverka produkter med återvinning i åtanke.

9. Möjliga designlösningar

Utifrån de incitament och hinder som beskrivits ovan och baserat på viktiga egenskaper för tvättmaskinen har följande möjliga designlösningar identifierats: design för demontering, materialval, konstruktion för lång livslängd och modularisering.

9.1 Design för demontering

Design för demontering innebär att produkter designas så att de är enkla att ta isär utan att delar skadas [43]. För att de olika looparna inom den cirkulära ekonomin ska kunna slutas måste det finnas något inslag av demontering [44]. Detta kan handla om att:

- Nå trasiga komponenter.
- Byta ut komponenter i förebyggande syfte eller i samband med exempelvis reparation.
- Grundligt rengöra maskinen.
- Testa komponenter.
- Avlägsna komponenter, exempelvis i samband med förbehandling i återvinningsprocessen.

Demontering är alltså en nödvändig aktivitet för att komponenter och material ska kunna underhållas, repareras, återanvändas, återtillverkas och återvinnas. För att detta ska kunna ske på mest effektiva och lönsamma sätt är det viktigt att material och komponenter inte förstörs i demonteringsprocessen [44], och att denna inte är för svår eller tidskrävande [16]. Genom att från början anpassa produktens design för enkel demontering skulle både tids- och kostnadsbesparingar kunna erhållas. Vidare bör denna design främst rikta sig mot de kritiska, ofta havererande, komponenter som nämns i avsnitt 2, då dessa ofta är viktigast att komma åt vid tillämpning av looparna.

Trots detta finns trender som visar på att allt fler nya modeller av tvättmaskiner inte är lämpade för att demonteras [45]. Stötdämparna i tvättmaskiner är kritiska komponenter och förslitningen av dessa är en av de vanligaste orsakerna till att maskiner går sönder [16]. De är ofta integrerade eller fästa på ett sätt som antingen gör demontering omöjligt, svårt eller dyrt att utföra. Om de till exempel är integrerade i trumman kan hela tvättenheten behöva bytas eller hela maskinen demonteras, eftersom stötdämparna inte är enkelt åtkomliga eller separerbara från de övriga delarna. Haveri av kritiska komponenter kan därför medföra att fullt fungerande komponenter med längre livstid inte längre är brukbara på grund av att demontering inte haft i åtanke i designfasen. Föredragna fästmetoder är därför till exempel skruvar och snäppförband istället för mer permanenta metoder såsom svetsning eller limning.

9.2 Materialval

För en resurseffektiv tillverkning krävs inte bara att mängden material som används minimeras, utan även valet av material är viktigt att beakta. Dels ska materialen vara ekonomiskt försvarbara, dels ska de gå att återvinna på ett smidigt sätt. Att använda material som enkelt kan återvinnas men som har hög energiintensitet under förproduktionen behöver emellertid inte vara miljömässigt försvarbart, varför miljöpåverkan under hela livscykeln bör

beaktas [46]. Vidare måste det återvunna materialet upprätthålla en god kvalitet. Produkterna måste dessutom klara av att utstå slitage utan att haverera, vilket gör materialvalet till en viktig faktor [23]. Fokus bör även ligga på kritiska delar för att minska risken för haveri, och därmed undvika stora reparationskostnader. Dessutom kan olika material underlätta respektive försvåra en eventuell reparationsprocess. Exempel på komponenter som ofta havererar är lagren, och beroende på om den yttre behållaren de är fastsatta på är tillverkad av rostfritt stål eller plast, är dessa mer eller mindre lämpade att bytas ut. Att plocka ut lagren är generellt en lång och svår process som kräver att större delen av maskinen demonteras. Lager fastsatta på en metallbehållare är enklare och ekonomiskt försvarbara att byta ut, medan lager som sitter på en plastbehållare generellt inte är det [16].

En producent som satsar på medvetna materialval för att öka cirkulariteten för sina produkter är Miele. Detta avspeglas i de återvinningsbara materialen som kan smältas ned och omarbetas, samt i användningen av gjutjärn istället för betong och emaljerad plåt för bästa hållbarhet i chassiet [40]. Miele följer därmed de riktlinjer för materialval som finns för att de mest effektiva återvinningsteknologierna ska kunna utnyttjas på bästa sätt [46]. Användningen av plast och betong i nya tvättmaskiner är, som nämns i avsnitt 6.4, nämligen ett av de främsta problemen gällande återvinning, då mängden rent och värdefullt material som går att utvinna minskar [34]. För att främja återvinning i framtiden bör man alltså inte blanda plast, metall och betong på det sätt som flertalet producenter i branschen gör idag, utan istället arbeta för att kunna materialseparera i ett så tidigt skede som möjligt.

Ett annat förhållningssätt till materialval demonstreras av Electrolux. De använder en stor andel plast i sina tvättmaskiner då det i nuläget är ett billigare alternativ till metall [41]. Satsningar genomförs dock för att öka användningen av återvunnen plast, vilket ändå kan tolkas som medvetna materialval för ökad cirkularitet.

9.3 Konstruktion för lång livslängd

I avsnitt 4.1 och 5.2 diskuteras hur en produkts livscykel kan förlängas genom kortare loopar, samt på vilka sätt dessa kan främjas genom olika designval. Ett annat sätt att öka cirkulariteten är att maximera tiden i varje cykel [6], och alltså designa produkter för lång livslängd. Ett tydligt exempel på företag med detta fokus är Miele, vars maskiner ska hålla för 20 års användning [40] i en bransch där genomsnittslivslängden är tio år [23]. Detta i kontrast till aktörer som tillämpar planerat åldrande, vilket innebär att produkter konstrueras för att haverera efter en viss tid - i syfte att konsumtionen och därmed företagets försäljning ska öka. Med en längre livslängd kan man istället öka företagets trovärdighet och sätta ett högre pris [23].

Som nämns i avsnitt 7 efterfrågar konsumenter tvättmaskiner med lång livslängd, men om de inkrementella innovationerna blir alltför stora eller avlöser varandra i alltför hög takt kan detta komma att ändras. Beroende på skillnaden i el- och vattenförbrukning skulle det potentiellt vara mer lönsamt för konsumenter att byta ut sina fungerande maskiner mot mer resurseffektiva varianter med jämna mellanrum. WRAP skriver dock i sin studie *Environmental life cycle assessment (LCA) study of replacement and refurbishment options*

for domestic washing machines att produkters miljöpåverkan kan minskas genom ökad livslängd då framtida energieffektiviseringar kan vara små [47], vilket talar för en design som främjar lång livslängd. För att säkerställa att produkten ständigt hålls aktuell är en strategi att möjliggöra framtida expansion och modifikation genom exempelvis uppgradering av komponenter eller mjukvara [23]. På så vis kan ny teknik som ökar produktens funktionalitet och konkurrenskraft integreras, och därmed möjliggöra ytterligare intäkter för redan sålda produkter [24].

Vidare spelar också det estetiska in; ska maskinen vara aktuell i decennier måste designen vara tidlös, vilket är något Miele uttalat att de satsar på [40]. Detta exemplifieras i *Figur 4*.



Figur 4: Den äldre modellen WDA 111 till vänster. En nyare modell WDB 020 till höger. Källa: Miele (2017).

Även den mekaniska robustheten är en viktig faktor, då produkterna måste klara av att utstå slitage och extrema vibrationer utan att haverera. Utöver val av material, som diskuteras i avsnitt 9.2, spelar konstruktionslösningar en stor roll i sammanhanget. Ett kritiskt område vad gäller design för lång livslängd är upphängningen av tvättrumman, som dels måste kunna motstå de tidigare nämnda vibrationerna, dels belastningen som orsakas av ojämn och skiftande viktfördelning då maskinen används [13]. Miele's lösning är att använda tre stötdämpare och fyra ankarfjädrar istället för två stötdämpare och två ankarfjädrar, vilket är det generella [40]. Ytterligare lämpliga konstruktionslösningar för lång livslängd är [13]:

- Väl säkrade interna komponenter.
- Dämpning för att utstå vibration under användning.
- Sensorer och elektroniska kontroller för att minska vibration och slitage.
- Borstlösa motorer som kräver lite underhåll.
- Ledningar försedda med snäppförband.
- Minimerad längd på ledningar för att undvika brott.
- Delar väl skyddade mot potentiella läckor.

9.4 Modularisering

Under de senaste decennierna har det varit av stort intresse för företag att öka sin konkurrenskraft genom att bli mer flexibla för förändringar på marknaden, vilket inom tillverkningsindustrin avspeglats i ett ökat intresse för modularisering [48]. Begreppet används på flera olika sätt inom litteraturen och kan kopplas till flertalet metoder och syften. Produkter kan även vara modulariserade i olika utsträckning vilket kan göra det svårt att definiera gränser mellan en modulariserad produkt och en icke modulariserad produkt. Detta arbete utgår från att modularisering innebär uppdelning av en produkt i separata byggblock med standardiserade gränssnitt [49]. Gränssnitten kan vara företagsspecifika standarder såsom specifika kopplingar eller utformningar av moduler som ger produkten en viss intern struktur, medan USB-portar eller storleksmått är exempel på industrispecifika standarder. Vidare definieras en modul i detta arbete som en standardiserad enhet som kan kombineras med eller bytas ut mot andra moduler. En modul kan bestå av en eller flera komponenter och idén är att varje modul ska uppfylla en eller flera specifika funktioner som med de standardiserade gränssnitten kan kopplas samman till grupper och produkter.

Vilka moduler en produkt lämpligen ska delas upp i och hur modularisering bör implementeras varierar beroende på en rad faktorer såsom bransch, organisationsstruktur och produktens funktion och konstruktion. Därmed måste hänsyn tas till bland annat efterfrågan hos konsumenter, logistik och teknologier [50].

Vidare diskuteras modularisering som designlösning mer utförligt än design för demontering, materialval och konstruktion för lång livslängd. I följande avsnitt kommer det nämligen framgå att samtliga av dessa kan gynnas av modularisering.

9.4.1 Fördelar med modularisering för ökad cirkularitet

Med en väl implementerad modularisering kan fördelar genereras inom flera olika områden [50], eftersom inbyggda egenskaper då kan utnyttjas på ett effektivt sätt. Detta gäller framförallt standardiseringen av moduler och gränssnitt som är bidragande till majoriteten av nedanstående punkter. Med en framgångsrik modularisering som implementeras utefter företagets specifika syfte är några möjliga fördelar:

- *Färre ingående delar i slutprodukten.* Detta innebär att montering förenklas och att antalet reservdelar som kan behövas minskar, vilket gör lagerhållning billigare för både reparatörer och producenter [50]. Att de höga priserna på reservdelar är kopplade till lagerhållningskostnader [41] skapar utrymme för prissänkningar genom modularisering.
- *Möjlig återanvändning av existerande moduldesign.* Detta innebär minskad risk för omarbete och reducerad tidsåtgång [50]. Standardiserade moduler kan även användas mellan produktlinor med gemensamma moduler, exempelvis tvättmaskiner och torktumlare [51]. Om industrispecifika standarder utvecklas kan de dessutom användas mellan märken och modeller.
- *Produktvariation och kund Anpassning.* Olika varianter av en produkt kan åstadkommas genom att kombinera olika moduler [50].

- *Enklare demontering* [44]. Detta är fördelaktigt för samtliga loopar inom den cirkulära ekonomin, vilket diskuteras i avsnitt 9.1.
- *Funktionell uppgradering*. Förändrade krav från marknaden kan bemötas genom uppgradering av en modul med en viss funktion [52].
- *Enklare felsökning*. Fel som uppstår kan spåras till specifika moduler eller gränssnitt vilket förenklar reparation och underhåll [50].
- *Längre livslängd*. Moduler kan testas och utvecklas individuellt vilket gör att de kan optimeras och i sin helhet ge en mer hållbar slutprodukt. Förenklad demontering medför dessutom enklare reparation och således möjlighet till förlängd livstid [50].
- *Enklare återanvändning och återtillverkning*. Eftersom moduler kan demonteras utan skada kan fungerande moduler enkelt testas, återanvändas som reservdelar vid reparation eller användas i nya eller återtillverkade produkter [53].
- *Enklare materialseparation*. Vid förbehandlingen i återvinningsprocessen kan moduler med farliga ämnen eller specifika material enkelt demonteras och separeras från övrigt material. Detta reducerar arbetet för återvinning och således även återvinningskostnaderna. Vidare kan återvinningsgraden öka ytterligare om antalet olika material i varje modul begränsas [49].
- *Kostnadsreduktion* [50]. Ovannämnda fördelar kan på olika sätt ge kostnadsreduktioner i form av tids- och resursbesparingar, synergieffekter och stordriftsfördelar, vilket även påpekas av Electrolux [41].

Som dessa punkter indikerar är modularisering ett verktyg som, väl implementerat, främjar de fyra looparna, vilket stärks av bland andra Carlo Vezzoli och Ezio Manzini i boken *Design for Environmental Sustainability* [46].

9.4.2 Nackdelar med modularisering för ökad cirkularitet

Med modularisering följer också en del nackdelar som bör beaktas, varav några är:

- *Höga investeringskostnader*. Att modularisera en produkt kräver genomgripande förändringar inom flera områden hos företaget. Utöver produktens design påverkas även det tillverkande företagens system, processer och organisation. Vid stora förändringar uppstår därför kostnader relaterade till det faktiska förändringsarbetet och förlorade intäkter då avbrott i produktionen generellt krävs [50].
- *Produkter som inte är lämpade för modularisering kan behöva modulariseras*. Detta kan minska marginaler, lönsamhet och konkurrenskraft för dessa produkter, men kan vara nödvändigt för att implementationen som helhet ska vara fördelaktig [50].
- *Stor osäkerhet*. Det är svårt att i förväg bedöma kostnader och långsiktig lönsamhet för implementationen. Generellt är det därför bättre att modularisera produkter som tillverkas i höga volymer och genererar synergieffekter, för att rättfärdiga den höga investeringskostnaden [50].
- *Komplext arbete*. Att identifiera moduler och avgöra vilka lösningar som är fördelaktiga kräver bred kunskap och god förståelse för produktens funktion och konstruktion, samt för marknadens krav och framtida utveckling inom branschen. Ofta krävs kompetens från olika avdelningar och eventuellt externa aktörer [50].

- *Fokus flyttas från kundbehov till kostnadseffektivitet.* Moduler utformas för att minska kostnader snarare än att exempelvis bygga upp hållbara produkter [50].
- *Designbegränsningar.* Produktens förbestämda struktur kan motverka produktvariation och kundanpassning och förhindra strukturella innovationer [54].
- *Moduler blir obsoleta.* I ett samhälle med snabb produktutveckling riskerar moduler att bli obsoleta, varför inte möjligheterna för återanvändning och återtillverkning kan nyttjas fullt ut [55].

9.4.3 Modularisering av tvättmaskinen

Trots att tvättmaskinen är en mogen produkt vars komponenter skulle kunna återanvändas då samma teknologi fortfarande används, är de flesta tvättmaskiner idag inte optimerade för återtillverkning av något slag och inte heller uppbyggda av moduler [56]. Electrolux lanserade dock under 2016 en modulbaserad serie med tvättmaskiner och torktumlare i Nordamerika. De anser att modulariseringsarbetet företaget bedriver är framgångsrikt och arbetar därför med detta inom alla sektorer [57].

Det finns även teoretiska exempel på hur en tvättmaskin skulle kunna byggas upp av moduler. Shimelis Wassie har använt sig av metoden Modular Functional Deployment (MFD) för att ta fram en modulariserad tvättmaskin, med moduler definierade så att varje modul uppfyller en specifik funktion och dessutom är lämplig för att cirkulera i någon av looparna. Den funktionella uppdelningen av moduler möjliggör bland annat funktionell uppgradering, vilket är en viktig princip för att de fördelar som modularisering kan ge för ökad cirkularitet ska erhållas [55]. Ytterligare riktlinjer för utformning av moduler är att de bör vara teknologiskt stabila och ha lång livslängd samt vara enkla att reparera, rengöra och kvalitetskontrollera. Wassies förslag visas i *Tabell 1*.

Tabell 1: Förslag för modulindelning av tvättmaskinen. Källa: S. Wassie, *Modularization of a washing machine and study its potential in implementing multiple life-cycles*, (2016).

Modul	Ingående komponenter (ej fullständig beskrivning)	Funktioner (ej fullständig beskrivning)	Loop
Motor	Motor	Driva rotation av trumanordningen	Återanvändning av modul, möjlig uppgradering av modul
Transmissionsmodul	Drivrem, trissa, lager	Överföra rörelse från motor till trumma	Återanvändning av modul
Stödjande modul	Stötdämpare, stödanordning för trumma, fötter, bottenplatta, yttre behållare	Ge stöd åt trumman underifrån och fixera trumman	Återanvändning av modul
Trumma	Motvikter, trumma	Balansera den roterande trumman innehållande tvätt	Återanvändning av modul
Kontrollenhet	Display, knappar, kretskort	Styra tvättmaskinen, exempelvis välja program	Möjlig uppgradering av modul
Lucka	Låsmekanism, tätning, lucka, handtag	Möjliggöra matning och tömning av tvätt, estetik	Underhåll, reparation, återvinning
Inlopp	Tvättmedelsbehållare, inloppsventiler, inloppsslang	Förse tvättmaskinen med vatten och tvättmedel	Återanvändning av modul
Temperaturregulator	Värmeelement, hydrostat, sensor för balansering av last	Ställa in korrekt vattentemperatur	Återanvändning av modul
Front-, sido- och topppanel	Frontpanel, sidopaneler, topppanel	Skydda inre komponenter, estetik	Underhåll, reparation, återvinning
Bakre panel	Bakre panel, stöd för bakre panel	Skydda inre komponenter	Återanvändning av modul
Hållare	Hållare för komponenter samt främre och bakre panel	Anordning för att fästa komponenter och paneler	Återanvändning av modul
Avloppsmodul	Pump, filter, avloppsslang	Tömma tvättmaskinen på vatten och tvättmedel	Återanvändning av modul

Ett annat exempel har tagits fram av Giorgia Pisano, bestående av moduler utarbetade för återanvändning och återtillverkning [48]. Pisano kommer i sin rapport fram till att modularisering är en möjlig metod för att kunna återanvända och återtillverka tvättmaskiner och komponenter, och således öka cirkulariteten genom förlängd livstid. Både Wassie och Pisano understryker att de modulariserade tvättmaskiner de presenterar endast är exempel och att ytterligare undersökningar bör göras med mer specifik information. För att stärka deras resultat bör alternativa metoder för att analysera huruvida cirkulariteten faktiskt ökar användas.

Både teoretiska och praktiska exempel visar på att modularisering av tvättmaskinen är högst möjligt och kan implementeras på olika sätt för olika ändamål. Vidare är både El-Kretsen och Electrolux positiva till modulindelade produkter [34] [41], vilket tyder på att återvinningsgraden skulle kunna höjas samtidigt som producenter ser en ökad lönsamhet av en implementation. Något som dock talar emot att tvättmaskinen är en lämplig produkt att tillämpa modularisering på är att konsumenternas behov är relativt homogena. Önskemål om låg användningskostnad, lång hållbarhet [38] och bra tvättresultat [14] är nämligen återkommande i olika konsumentundersökningar. Med likartade krav från marknaden gynnas producenter mindre av en modulär struktur eftersom det är enklare och billigare att bemöta dessa krav med en integrerad produktstruktur [58]. Produktvariation är därmed inte en drivande faktor för modularisering av tvättmaskinen. För att bemöta detta kan påpekas att det inte är en nödvändighet att tillverka flera varianter av samma modul om syftet är att öka cirkulariteten, vilket detta arbete fokuserar på. Däremot behövs dessa varianter om syftet är att främja produktvariation och kundanpassning. Det finns alltså vissa skillnader i hur implementation och design hanteras beroende på syftet med modularisering.

10. Övriga lösningar

Utöver de designlösningar som diskuteras ovan finns åtgärder som inte berör tvättmaskinens design men ändå påverkar cirkulariteten. Bland de incitament och hinder som tas upp i avsnitt 7 och 8 berör ett flertal av dem lagstiftning, konsumentbeteende, finansiella incitament och forskning och utveckling. Nedan behandlas dessa därför kort med förslag på kompletterande lösningar till designförändringar för att möjliggöra ökad cirkularitet.

10.1 Lagstiftning

Dagens lagstiftning i Sverige i form av producentansvaret är ett sätt att styra mot ett mer resurseffektivt samhälle. Som nämns i avsnitt 5.1, främjar denna dock återvinning i störst utsträckning trots att andra åtgärder skulle kunna innebära högre resurseffektivitet. Omformuleringar för tydligare definitioner på både nationell och Europainivå skulle kunna vara åtgärder för att minska tolkningsfriheten hos producenter och länder. Problematiska områden är exempelvis märkning och definitionen av en producent [37].

Ett separat mål för förberedelse för återanvändning är en möjlig åtgärd för att driva samhället mot ökat utnyttjande av inre loopar och motverka att allt fokus hamnar på återvinning. I en studie om möjligheterna att sätta ett sådant mål dras dock slutsatsen att en sådan målsättning inte är lämplig i nuläget, bland annat på grund av brist på information om hur stor del av insamlade produkter och material som verkligen är återanvändningsbara samt de stora logistiska och administrativa omställningar det skulle innebära [35]. Istället poängteras i studien att distinktionen mellan avfall och återanvändningsbara produkter bör göras i ett så tidigt skede som möjligt. Genom ökad kännedom kring återanvändning skulle konsumenter själva kunna göra en sådan bedömning, och således skulle produkter och material undgå att klassificeras som avfall i onödan. Ökad information till konsumenter om sådana möjligheter är viktigt för att detta ska vara möjligt, vilket diskuteras i avsnitt 10.2.

Lagstiftning är givetvis ett medel som påverkar alla inblandade parter och kan därmed användas i olika syften. Det skulle kunna användas för att tvinga konsumenter och producenter att agera för ökad cirkularitet genom exempelvis restriktioner för användning av olika material, såsom betong och plast, högre krav på rapportering eller med avgifter. Mer specifika krav såsom standardisering av komponenter, även mellan märken [2], eller att produkten ska testas för en specificerad livslängd [16] är andra exempel som i teorin skulle kunna införas. De krav som redan finns idag är dock svåra att följa upp, vilket gör det möjligt att undvika att ta sitt ansvar som producent [37]. Hårdare krav skulle därför kanske inte ge någon noterbar effekt. Dessutom måste kraven vara rimliga och bemöta olika intressenters viljor för att det i praktiken ska ske någon förändring. Risken finns att företag inte ser någon lönsamhet i att producera för den svenska marknaden om kraven är för högt ställda. Istället för att fokusera på hur man kan tvinga de inblandade aktörerna att anpassa sig efter lagar skulle man kunna försöka skapa en lönsamhet i att satsa mer långsiktigt på ökad cirkularitet. Möjligheterna att skapa sådana finansiella incitament diskuteras vidare i avsnitt 10.3.

10.2 Konsumentbeteende

För att en övergång mot de inre looparna ska kunna ske måste en efterfrågan finnas på marknaden, och som nämns i avsnitt 5.2 och 5.3 finns en drivkraft hos konsumenter att reparera och köpa andrahandsprodukter. Trots de goda intentionerna är detta dock ingen realitet, varför en diskussion kring konsumentbeteende är nödvändig.

I avsnitt 5.3 förklaras att några av de största anledningarna till att konsumenter inte köper produkter i andra hand är oro angående lägre kvalitet och hälso- och säkerhetsrisker. För att lösa detta krävs att konsumenternas förtroende för verksamheter som tillämpar återanvändning och återtillverkning växer, vilket skulle kunna göras genom exempelvis införande av standarder som ska uppfyllas, garantier och ökat producentansvar [36]. Ett annat sätt att få konsumentbeteendet att ändras är att öka kunskapen gällande både inköp och kassering av tvättmaskiner, vilket kan göras genom investeringar i kommunikation. Att informera både medborgare och myndigheter om inköp av andrahandsprodukter är avgörande för att kunna skifta konsumtionsvanor [36]. Vidare måste hela tänket kring tvättmaskinen som en "slit och släng"-produkt ändras, och ett steg på vägen är att poängtera vikten av och tydligare visa på korrekt användning och kontinuerligt underhåll. Detta skulle kunna göras genom ett avsnitt innehållande handfast information i produktmanualen [16]. Även tillhandahållande av online support skulle underlätta diagnostisering av fel inför en eventuell reparation [13]. Det främsta skälet till konsumenternas köpbeteende är dock de höga reparationskostnaderna, varför reparation måste bli mer konkurrenskraftigt ur ett ekonomiskt perspektiv för att ett skifte ska kunna ske [36].

10.3 Finansiella incitament

Som framgår av både litteraturstudie och intervjuer är de finansiella incitamenten grundläggande för att de inre looparna ska utnyttjas i större utsträckning. I avsnitt 6.2 förklaras att just kostnadsfördelar varit den främsta drivkraften för Electroluxs modulariseringsarbete och plastanvändning [41]. Medan modularisering kan betraktas som främjande för cirkularitet, är plastanvändning inte fördelaktigt för någon loop i dagsläget. Detta tyder på att ökade satsningar för de inre looparna skulle genomföras i större utsträckning om potentiella kostnadsfördelar påträffades, som i fallet med modularisering.

Lagstiftning är ett sätt för staten att skapa finansiella incitament för både producenter och konsumenter. Exempelvis skulle olika typer av skatter kunna vara lägre för aktiviteter som reparationsarbete, underhåll och försäljning i andra hand, och således kunna göra dessa alternativ mer attraktiva ur ekonomiskt perspektiv [59]. Finns möjligheter att gå med vinst för verksamheter inom områden som främjar resurseffektivitet skulle även en större marknad för aktörer som tillämpar återanvändning och återtillverkning kunna skapas, vilket ökar tillgängligheten för konsumenter. Givetvis tillkommer då även lagstiftning som hanterar certifiering av återtillverkare, frågor kring garantier och tydliggöranden kring hur producentansvaret ska tillämpas, för att ta några exempel.

Ytterligare möjligheter finns i alternativa affärsmodeller, såsom leasing och betalning per användning, vilka tillämpas inom exempelvis bilbranschen. Electrolux berättar att exempen

även existerar för tvättmaskiner i professionella sammanhang [41]. Hur dessa alternativa affärsmodeller skulle kunna utformas för att skapa finansiella incitament för olika aktörer att agera för en cirkulär ekonomi är något som bör undersökas. Vidare kan dessa nya affärsmöjligheter göra att fler återtillverkare tar sig in på marknaden. Då utbudet av dessa ökar kan konsumenter i större utsträckning lämna in sina produkter för återanvändning och återtillverkning och köpa dem till mer förmånliga priser. Naturligtvis krävs då att lagstiftningen möjliggör vinster på en sådan marknad, vilket diskuterades ovan.

10.4 Forskning och utveckling

I och med de konstruktionsförändringar som kan följa innovationer är det viktigt att vara medveten om aktuella framsteg och var fokus för forskning och utveckling ligger inom branschen. Även om vitvarubranschen har nått en mogen fas finns alltid utrymme för innovationer, men för att dessa ska uppstå måste satsningar genomföras. Electrolux lägger exempelvis ungefär en tredjedel av sin FoU-budget på hållbarhetsrelaterade frågor, och arbetar aktivt med att utveckla och öka användningen av återvunnen plast i produktionen [60]. Detta görs bland annat genom anpassning av komponenternas design så att de lämpar sig för återvunnet material. Plaståtervinning är dock en relativt ung industri där små företag utvecklar tekniken. Stora etablerade aktörer inom återvinning avstår från att investera i förbättrade återvinningsprocesser för plaster, på grund av materialets låga värde [41]. Om processerna för att återvinna plast utvecklades och materialen i sin tur blev renare, skulle sannolikt även efterfrågan på återvunnen plast öka. Att metall återvinns i hög grad beror bland annat på att processerna redan är välutvecklade.

En annan satsning inom forskning och utveckling skulle kunna innefatta sökande efter återvinningsbara, starkare material. De framtidssatsningar på uppkopplade maskiner, som genomförs av bland andra Electrolux [41], är ett intressant område som skulle kunna främja förebyggande och förutseende underhåll. Med utveckling av dagens sensorteknologier skulle man kunna undvika stora haverier som är svårare att reparera och även få bättre information om driften av tvättmaskinen. Informationen kan användas för ytterligare optimering av komponenter och funktioner. Vi ser även möjligheter till helt nya sätt att tänka kring tvättmaskinen om de olika delarna övervakas med sensorer. Exempelvis skulle materialval kunna göras med andra preferenser eftersom det då finns möjlighet att uppfatta slitage i god tid. Ett exempel skulle kunna vara att komponenter som idag är utvecklade för att hålla länge, istället skulle kunna tillverkas i återvunnet material. Om det återvunna materialet inte håller samma kvalitet vad gäller livslängd kan komponenter istället bytas ut.

För att nya innovationer ska uppstå kan företagen, förutom att genomföra egna satsningar, samarbeta med universitet och andra företag. Beslutsfattare kan dessutom gynna utvecklingen genom att exempelvis upprätta forskningsinstitut och kluster [61].

11. Diskussion

Idag designas tvättmaskiner framförallt för att repareras och återvinnas, vilket framgår i avsnitt 6. Detta beror delvis på de logistiska fördelarna reparation medför i och med att den kan ske på plats, till skillnad från vid återanvändning och återtillverkning då delar och maskiner måste samlas in för bearbetning och försäljning [41]. Vidare främjas återvinning av det redan fungerande systemet och dagens lagstiftning, vilket diskuteras i avsnitt 5.5 och 7. Med utgångspunkt i att inre, kortare loopar ska prioriteras för att öka cirkulariteten bör alltså åtgärder vidtas så att dessa gynnas.

I och med att tvättmaskinen är en hushållsprodukt som utsätts för mycket slitage [13] och samtidigt förväntas hålla länge [38] är komponenternas, och således hela produktens livslängd, ett kritiskt fokusområde i produktframtagningsprocessen. För att detta ska vara möjligt krävs både en lämplig konstruktion och väl uttänkta materialval. På grund av de stora påfrestningarna i form av vibrationer och varierande belastning finns dock ändå risk för haveri, och med tiden är reparation ofta en nödvändighet. För denna aktivitet krävs att tvättmaskinens komponenter är designade för att kunna demonteras och ersättas, vilket poängteras av de producenter som intervjuats [40] [41]. Vidare är demontering en central del för samtliga loopar, även om hänsyn endast tas till aktiviteten i reparationssyfte i dagsläget. Detta diskuteras i avsnitt 6 och 9.1.

I och med att tre av de designlösningar som granskas i detta arbete redan i nuläget är viktiga att ta hänsyn till för tvättmaskiner, bör dessa vara möjliga att anpassa till de krav den cirkulära ekonomin ställer. Man kan till och med argumentera för att de är nödvändiga för att en implementering ska vara genomförbar. Exempelvis kan inte en tvättmaskin repareras om den inte är möjlig att demontera, inte återanvändas eller återtillverkas om konstruktion och materialval inte främjar en lång livslängd och inte återvinnas om materialet är oädelt och inte går att separera.

Som framgår i avsnitt 9.4 är modularisering fördelaktigt för samtliga av dessa tre designlösningar och skulle därför kunna vara en lämplig helhetslösning. Efterfrågade egenskaper för olika komponenter och för tvättmaskinen i stort kan erhållas genom att fokus läggs på optimering av respektive modul [50]. Flera av de största hindren för ökad cirkularitet kan dessutom övervinnas med egenskaper som ofta följer modularisering per automatik. Enklare demontering och standardiserade gränssnitt och moduler är särskilt viktiga och bidrar exempelvis till att kostnader för reparationer kan sänkas. Detta dels genom enklare och snabbare arbete som sänker lönekostnaderna, dels genom minskade lagerhållningskostnader som sänker priserna på reservdelar. Följaktligen skulle konsumenter kunna avstå från att köpa nya tvättmaskiner till förmån för det cirkulära och ekonomiskt försvarbara alternativet att reparera dem. Av samma orsaker kan modularisering göra återanvändning och återtillverkning till mer attraktiva alternativ för både konsumenter och nya aktörer. Med fler företag på marknaden finns dessutom större chans att medvetenheten om dessa cirkulära alternativ ökar hos konsumenter, vilket kan bidra till att synen på återanvända och återtillverkade produkter som lågkvalitativa och opålitliga ändras.

De finansiella incitament som finns för att modularisera produkter är i sig inte kopplade till cirkulär ekonomi, men en implementation medför en potential för cirkularitet som bör utnyttjas. Vi menar att de finansiella incitamenten för modularisering alltså är tillräckliga för att driva företag mot modulär produktstruktur, som i fallet med Electrolux [41], och att övriga incitament för cirkulär ekonomi som nämns i avsnitt 7 således inte är de primära drivkrafterna. Med modulariserade produkter finns därmed potential att få det bästa av två världar - både kostnadsfördelar och ökad resurseffektivitet.

Även begränsningarna med modularisering är värda att beakta. De stora omstruktureringarna måste vara berättigade ur ett långsiktigt perspektiv eftersom processen både är komplex [50] och riskerar att skapa inlåsnings effekter [54]. Om nya teknologier lyckas slå ut gamla, såsom vattenfria tvättmaskiner med en helt annan produktstruktur, kan den stora initiala investeringen som krävs begränsa företagets framtidsutsikter. I och med att en implementation påverkar hela verksamheten och är förknippad med stora risker bör därför möjligheten att modularisera tvättmaskiner undersökas med detaljerade modeller som inte behandlas i detta arbete.

Vidare är lösningar som enbart fokuserar på design inte tillräckliga för att öka cirkulariteten för tvättmaskiner, då en grundläggande förutsättning är att det måste vara lönsamt för företagen. Det finansiella incitamentet i form av vinster och kostnadsbesparingar är således det viktigaste, men för att det ska kunna realiseras krävs en efterfrågan från marknaden. Förändrade konsumtionsmönster är därmed en viktig faktor och för att konsumenter, och även producenter, ska agera i enlighet med idéerna för den cirkulära ekonomin är lagstiftning ett möjligt styrmedel. I och med att ökad cirkularitet på sikt oundvikligen kommer att innebära en minskad nyförsäljning blir dessutom alternativa affärsmodeller nödvändiga, då producenter måste hitta nya sätt att profitera på produkter som redan cirkulerar. Vidare kan forskning- och utvecklingsarbete möjliggöra att man finner lösningar som gör att problemen vi identifierat blir irrelevanta. Om exempelvis alternativa material som kräver nya återvinningssystem utvecklas, blir inte incitamenten för återvinning lika starka eftersom de existerande systemen då blir obsoleta. Utvecklingsområdet för plaståtervinning skulle då heller inte vara lika relevant. I och med att dessa övriga lösningar är avgörande för att designförändringarna som behandlats ska bli lönsamma, bör de utforskas vidare.

12. Slutsatser

Syftet med detta arbete var att utreda hur koncepten inom cirkulär ekonomi lämpligast appliceras på tvättmaskiner. För att uppnå detta studerades tre frågeställningar som lett fram till vårt slutliga förslag för design av tvättmaskinen.

- *Med utgångspunkt i tvättmaskinens konstruktion, vilka designparametrar har störst påverkan på möjligheterna att öka cirkulariteten?*

Tvättmaskinen är en mogen produkt som ska kunna utstå stora krafter och samtidigt ge gott tvättresultat under en lång period. För att produkten, ingående komponenter och material ska uppfylla dessa krav och vidare kunna cirkulera, måste hänsyn tas till de kritiska komponenter som ofta orsakar haveri, vilka material som används och hur komponenter och material sätts samman.

- *Hur tillämpas looparna inom cirkulär ekonomi på tvättmaskinen idag och varför?*

Idag cirkulerar tvättmaskiner, ingående komponenter och material främst i den yttersta loopen, trots att dagens återvinningssystem inte är anpassade efter de material många producenter använder sig av. Tvättmaskiner designas i de flesta fall inte för att vara enkla att återvinna, utan fokus för producenter är att de ska kunna repareras. I praktiken utnyttjar konsumenter dock inte denna möjlighet till fullo, då det i många fall anses vara mindre komplicerat att köpa en ny produkt. Vidare tillämpas inte heller återanvändning och återtillverkning i den mån som vore önskvärt, bland annat på grund av bristande utbud, lågt anseende hos konsumenter och höga priser i förhållande till en nyproducerad maskin.

- *Vilka incitament och hinder finns för ökad cirkularitet hos tvättmaskinen?*

Utifrån den litteraturstudie och de intervjuer med centrala aktörer i värdekedjan som genomförts, har ett flertal incitament identifierats. De viktigaste av dessa presenteras nedan:

- Stigande råvarupriser och annalkande resursbrist.
- Lagstiftning och politiska åtgärder i form av regleringar, subventioner och producentansvar.
- Miljöfrämjande arbete som bidrar till trovärdighet.
- Tekniskt möjligt att reparera dagens tvättmaskiner.
- Lågt adderat materialvärde vid återanvändning och återtillverkning.
- Existerande och fungerande återvinningssystem.

På samma sätt som incitamenten identifierades har även ett antal hinder för ökad cirkularitet påträffats. De främsta av dessa sammanfattas som följer:

- Låga relativpriser för nya produkter.
- Logistiska svårigheter att implementera återanvändning och återtillverkning.

- Icke-standardiserade komponenter.
 - Bristande utbud och efterfrågan på andrahandsmarknaden.
 - Oklarheter kring nuvarande lagstiftning.
 - Icke återvinningsfrämjande sammansättning och val av material.
 - Avsaknad av finansiella incitament för både producenter och konsumenter.
- *Hur ska tvättmaskinen designas för en cirkulär ekonomi?*

Baserat på den information som presenterats i detta arbete är tvättmaskinen en lämplig produkt att modularisera i syfte att öka cirkulariteten. Detta tack vare att de aspekter som naturligt tas hänsyn till vid modulär design är bland de viktigaste för att i större utsträckning kunna utnyttja de inre looparna. Eftersom en implementation kräver mer komplexa analyser än vad som behandlats i detta arbete kan dock ingen säker slutsats dras kring denna designlösning. Vår rekommendation för ökad cirkularitet är därför att designa tvättmaskiner som är enkla att demontera, består av väl valda material och är konstruerade för lång livslängd. Vidare bör det också finnas möjlighet till förlängning av livslängd såväl som till uppgradering av komponenter och mjukvara. Dessa lösningar är alla grundläggande för att öka resurseffektiviteten, varför vi inte uteslutande kan rekommendera en enskild av dem. I teorin kan detta verka självklart men för att det ska ske satsningar i praktiken krävs att lösningarna uppmuntras med finansiella incitament som kan genereras till följd av en främjande lagstiftning, forskningsframsteg och ökad efterfrågan hos konsumenter.

13. Förslag till vidare forskning

Majoriteten av litteraturen som behandlar cirkulär ekonomi idag granskar enbart de positiva teoretiska effekter en implementering potentiellt skulle generera för samhället i stort. Vår ambition har varit att belysa de praktiska svårigheter och oförenliga intressen som förekommer hos både producenter och konsumenter, och undersöka vad som faktiskt är realistiskt att genomföra. Analysen är dock relativt översiktlig, varför den praktiska implementationen är ett område som bör analyseras djupare för att ge större insikt. Underlaget för sådana analyser bör då utgå från ett bredare urval av källor samt inkludera återtillverkare, återvinningsföretag och konsumenter. Ytterligare relevanta områden att vidare undersöka för att komplettera och utvärdera de slutsatser som dragits är:

- Alternativa affärsmodeller såsom leasing och betalning per användning.
- Modularisering av tvättmaskinen.
- Möjligheter för och konsekvenser av nya teknologier såsom vattenfri tvätt.
- Utformning av lagstiftning.
- Hur konsumenters inställning till andrahandsmarknaden kan påverkas.

Referenser

- [1] H. Rosling, *Hans Rosling och den magiska tvättmaskinen*. TED, 2010.
- [2] RREUSE, *Improving product reparability: Policy options at EU level*, RREUSE, 2015.
- [3] Miljö- och energidepartementet, *Förordning (2014:1075) om producentansvar för elutrustning*, Stockholm, 2014.
- [4] World Economic Forum, *The Future Availability of Natural Resources: A New Paradigm for Global Resource Availability*, Geneva: World Economic Forum, 2014.
- [5] Ellen MacArthur Foundation, *Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition*, Ellen MacArthur Foundation, 2015.
- [6] McKinsey & Company, *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*, vol. 1, Ellen MacArthur Foundation, 2013.
- [7] A. Bryman, *Samhällsvetenskapliga metoder*, vol. 2, Malmö: Liber, 2011.
- [8] C. Fiell och P. Fiell, *Industrial design A-Z*, Köln: Taschen, 2000.
- [9] Isinnova (tidigare ISIS), *Preparatory Studies for Eco-Design Requirements of EuPs (Tender TREN/D1/40-2005). LOT 14: Domestic Washing Machines & Dishwashers. Part I - PRESENT SITUATION. Task 2: Economic and Market Analysis. Rev. 1.0*, European Commission, 2007.
- [10] D. Rogers, *Making Laundry Cool: Washing trends and innovations*, DuPont, 2015.
- [11] C. Barthel och T. Götz, *Technical background and design options to raise energy efficiency and reduce the environmental impact of domestic washing machines*, Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2013.
- [12] Svensk Elstandard, *Tvättmaskiner för hushållsbruk - Funktionsprovning, SS-EN 60456*, 2011.
- [13] WRAP, *Specifying durability and repair in washing machines*, WRAP, 2011.
- [14] Isinnova (tidigare ISIS), *Preparatory Studies for Eco-design Requirements for EuPs (Tender TREN/D1/40-2005) LOT 14: Domestic Washing Machines & Dishwashers. Final Report. Draft Version. Tasks 3-5*, European Commission, 2007.
- [15] CECED, *Home Appliance Europe 2015/2016*, CECED, 2017.
- [16] P. Tecchio, F. Ardente och F. Mathieux, *Analysis of durability and reparability - Application to washing machines and dishwashers*, European Union, Luxembourg, 2016.

- [17] McKinsey & Company, *Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector.*, vol. 2, Ellen MacArthur Foundation, 2013.
- [18] K. Breene, "Can the circular economy transform the world's number one consumer of raw materials?", World Economic Forum, Maj 2016. [Online]. Hämtad från: <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/can-the-circular-economy-transform-the-world-s-number-one-consumer-of-raw-materials/>. [10 Maj 2017].
- [19] F. Bonciu, The European Economy: From a Linear to a Circular Economy, *Romanian Journal of European Affairs*, vol. 14, nr 4, pp. 78-91, 2014.
- [20] McKinsey & Company, *The circular economy: Moving from theory to practice*, McKinsey & Company, 2016.
- [21] World Economic Forum, *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*, World Economic Forum, Geneva, 2014.
- [22] W. McDonough och M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York: North Point Press, 2002.
- [23] N. Bocken, I. de Pauw, C. Bakker och B. van der Grinten, Product design and business model strategies for a circular economy, *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, nr 5, pp. 308-320, 2016.
- [24] J. Linton och V. Jayaraman, A framework for identifying differences and similarities in the managerial competencies associated with different modes of product life extension, *International Journal of Production Research*, vol. 43, nr 9, pp. 1807-1829, 2005.
- [25] RREUSE, *Investigation into the repairability of Domestic Washing Machines, Dishwashers and Fridges*, RREUSE, 2013.
- [26] *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*, L 312, 2008.
- [27] Miljö- och energidepartementet, *Avfallsförordning (2011:927)*, Stockholm, 2011.
- [28] El-Kretsen, *Verksamheten 2015*, El-Kretsen, Stockholm, 2016.
- [29] European Commission, "European Commission, Press Release Database", European Commission, December 2015. [Online]. Hämtad från: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_sv.htm. [14 April 2017].
- [30] *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) Text with EEA relevance*, L 197, 2012.
- [31] Miljö- och energidepartementet, *Förordning (2012:861) om farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning*, Stockholm, 2012.
- [32] Miljö- och energidepartementet, *Miljöbalk (1998:808)*, Stockholm, 1998.

- [33] J. Sedin, "Söka tillstånd för insamlingssystem för elutrustning", Juni 2016. [Online]. Hämtad från: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Avfall/Producentansvar/Elutrustning/Soka-tillstand-for-insamlingssystem/>. [4 Mars 2017].
- [34] F. Benson, *Ansvarig för affärsutveckling, El-Kretsen* [Telefonintervju], 6 Mars 2017.
- [35] BiPRO, BIO by Deloitte, United Nations University (UNU), *Study on WEEE recovery targets, preparation for re-use targets and on the method for calculation of the recovery targets*, European Commission, 2015.
- [36] RREUSE, *Putting re-use and repair at the heart of the EU's Circular Economy Package*, RREUSE, 2015.
- [37] Naturvårdsverket, *WEEE-direktivet i Sverige - En utvärdering med framtidsstudie*, Naturvårdsverket, 2009.
- [38] TNS Political & Social, *Flash Eurobarometer 388 Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency*, European Union, 2014.
- [39] WRAP, *Realising the Reuse Value of Household WEEE*, WRAP, 2011.
- [40] O. Herodes, *Distriktschef för Hushållsprodukter, Miele* [E-mail], 19 April 2017.
- [41] K. Edsjö, *Ansvarig för återvinningsfrågor, Electrolux* [Telefonintervju], 7 April 2017.
- [42] C. Tornborg, *Verksamhetsansvarig, Hushållsservice Söderort AB* [E-mail], 23 Mars 2017.
- [43] C. Bakker, R. Wever, C. Teoh och S. De Clercq, Designing Cradle to Cradle products; a reality check, *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 3, nr 1, pp. 2-8, 2010.
- [44] R. Bogue, Design for disassembly: a critical twenty-first century discipline, *Assembly Automation*, vol. 27, nr 4, pp. 285-289, 2007.
- [45] D. Andrews, The circular economy, design thinking and education for sustainability, *Local Economy*, vol. 30, nr 3, 2015.
- [46] C. Vezzoli och E. Manzini, *Design for Environmental Sustainability*, Springer-Verlag London Limited, 2008.
- [47] WRAP, *Environmental life cycle assessment (LCA) study of replacement and refurbishment options for domestic washing machines*, WRAP, 2010.
- [48] G. Pisano, *Modular Design Approach as Enabler for Operational Efficiency of Closed Loop Manufacturing Systems*, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 2015.
- [49] G. Erixon, *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation*, KTH Högskoletryckeriet, Stockholm, 1998.

- [50] A. Eager, K. Elsam, R. Gupta och M. Velinder, *Modular Design Playbook*, The Corporate Executive Board Company, 2010.
- [51] L. Hvam, N. H. Mortensen och J. Riis, *Product Customization*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH Co. K, 2007.
- [52] A. Johnson och A. Gibson, "Chapter 7 - Design for Total Control" i *Sustainability in Engineering Design*, Elsevier Ltd., 2014, pp. 285-344.
- [53] A. J. D. Lambert och S. M. Gupta, *Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse and Recycling*, USA: CRC Press, 2005.
- [54] K. Ulrich, "Fundamentals of Product Modularity" i *Management of Design*, Springer Netherlands, 1994, pp. 219-231.
- [55] F. Kimura, S. Kato, T. Hata och T. Masuda, Product Modularization for Parts Reuse in Inverse Manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 50, nr 1, pp. 89-92, 2001.
- [56] S. Wassie, *Modularization of a washing machine and study its potential in implementing multiple life-cycles*, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 2016.
- [57] Electrolux, *Electrolux Årsredovisning 2016*, Electrolux, Stockholm, 2017.
- [58] M. Schilling, *Strategic Management of Technological Innovation*, vol. 4, New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2013.
- [59] RREUSE, *Differentiated VAT rates and the Waste Hierarchy: An opportunity to improve resource efficiency and socio-economic inclusion in Europe*, RREUSE, 2013.
- [60] Electrolux, *Electrolux Sustainability Report 2016*, Electrolux, 2017.
- [61] M. Novotny och S. Laestadius, Beyond papermaking: technology and market shifts for wood-based biomass industries - management implications for large-scale industries, *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 26, nr 8, pp. 875-891, 2014.

Bilagor

Bilaga 1: Intervjufrågor, Miele

1. På vilket sätt arbetar ni med reparation och underhåll?
2. På vilket sätt arbetar ni med återanvändning, både vad gäller hela produkter och delar?
3. På vilket sätt arbetar ni med återtillverkade produkter?
4. På vilket sätt arbetar ni med återvinning?
5. Är modularisering något ni arbetar med idag, eller ser som en möjlighet för framtiden?
6. Var ligger fokus i produktframtagningsprocessen? Vad prioriteras, och på vilket sätt?
7. Hur ser ni på utvecklingen framåt gällande vad vi hittills diskuterat? Finns planer på att öka cirkulariteten för tvättmaskiner?
8. Hur tänker ni kring användning av plast och betong i era tvättmaskiner?
9. På vilket sätt återspeglas tvättmaskinens livslängd i produkternas konstruktion och design?

Bilaga 2: Intervjufrågor, Electrolux

1. Hur arbetar ni med respektive loop inom cirkulär ekonomi? Designar ni tvättmaskiner med en specifik loop i åtanke? Varför/varför inte?
2. Hur tänker ni kring användning av plast och betong i era tvättmaskiner?
3. Vilken loop prioriteras i designprocessen för tvättmaskiner idag? Varför är det så?
4. Vad är er uppfattning om modularisering som verktyg? Ser ni någon potential i att det skulle kunna underlätta ett arbete mot ökad cirkularitet?
5. Är modularisering något ni arbetar med idag, eller ser som en möjlighet för framtiden?
6. Hur ser ni på utvecklingen framåt gällande vad vi hittills diskuterat? Finns planer på att öka cirkulariteten för tvättmaskiner?

Bilaga 3: Intervjufrågor, Hushållsservice Söderort AB

1. Skiljer sig de ingående delarna mycket mellan olika tvättmaskinsmodeller och märken?
2. Vilken anser ni vara den främsta orsaken till att folk slänger sina tvättmaskiner?
3. Förekommer någon kontroll av de tvättmaskiner som kunder vill slänga så att fungerande delar kan återanvändas?
4. Vad anser ni om tillgången på reservdelar för tvättmaskiner?

Bilaga 4: Intervjufrågor, El-Kretsen

1. Vilka delar avlägsnas under förbehandlingen?
2. Vilka farliga ämnen finns och hur hanterar ni dessa?
3. Arbetar ni med återanvändning, och i så fall på vilket sätt?
4. Vad tror ni om framtida utsikter och möjligheter för återvinning? Ser ni en positiv eller negativ utveckling? Varför/på vilket sätt?