



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Analyse af eftersortering af restaffald

Udsortering af plast og metal fra restaffald

Miljøprojekt nr. 2109

November 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Anders M. Fredenslund (Rambøll)

Forfattere:

Anders M. Fredenslund (Rambøll)

Thomas Fruergaard Astrup (DTU Miljø),

Anders Damgaard (DTU Miljø)

Marie Kampmann Eriksen (DTU Miljø)

ISBN: 978-87-7038-125-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	4
2.	Sammenfatning og konklusioner	5
3.	Summary and conclusions	8
4.	Indledning	11
4.1	Baggrund	11
4.2	Formål	11
5.	Metode	12
5.1	Overordnet tilgang	12
5.2	Workshop med universiteter	12
5.3	Litteraturstudie	13
5.4	Interviews	13
5.5	Følsomhedsanalyse	13
6.	Resultater	15
6.1	Workshop med universiteter	15
6.2	Litteraturstudie	15
6.2.1	Sammensætning af restaffald	16
6.2.2	Forureningstyper	17
6.2.3	Udsorterede mængder og forurening af tørre materialer	18
6.2.4	Kvalitet af genanvendte materialer	20
6.2.5	Modellering af kvalitet, substitution og kaskadegenanvendelse	21
6.2.6	Miljøpåvirkning	22
6.2.7	Opsamling	23
6.2.8	Åbne spørgsmål	23
6.3	Interviews	23
6.3.1	Attero	23
6.3.2	Omrin	24
6.3.3	Roaf	25
6.4	Følsomhedsanalyse	25
7.	Opsamling og vurdering	28
7.1	Metalaffald	28
7.2	Plastikaffald (blød og hård)	28
8.	Referencer	30
9.	Bilagsliste	33

1. Forord

Nærværende rapport udgør en del af afreporteringen af projektet "Analyse af eftersortering af restaffald og kildeopdelt metal, glas og plastik". Projektet er udført for Miljøstyrelsen af Rambøll i perioden juni, 2019 til august, 2019. DTU Miljø har fungeret som underleverandør i en afgrænset del af projektet. DTU Miljø's bidrag til denne rapport omfatter gennemgang af udvalgt videnskabelig litteratur af relevans for problemstillingen, hvis resultater er beskrevet i afsnit 6.2.

I forbindelse med den del af projektet der her afreporteres, har der været udført en workshop med deltagelse af eksperter fra henholdsvis Aalborg Universitet, Danmarks Tekniske Universitet og Syddansk Universitet. Følgende personer takkes for deres deltagelse:

Aalborg Universitet: Arne Remmen

Danmarks Tekniske Universitet: Thomas Fruergaard Astrup, Anders Damgaard og Marie Kampmann Eriksen

Syddansk Universitet: Henrik Wenzel og Ciprian Cimpan

Der har været afholdt interviews med virksomhederne Attero og Omrin (Holland) samt Rome-rike Avfallsforedling (Norge), der takkes for deltagelse.

2. Sammenfatning og konklusioner

Nærværende projekt undersøger indsamling af affaldsfraktionerne metal og plastik (blød og hård) fra husstande som en del af restaffaldet med henblik på central udsortering og genanvendelse. Et formål med analysen har været at afdække eksisterende viden, der kan ligge til grund for sammenligning af central sortering af de to affaldsfraktioner med kildesortering. Et andet formål har været at undersøge miljøkonsekvenser i forhold til fundne, centrale parametre.

Denne rapport er udført af Rambøll på vegne af Miljøstyrelsen, hvor DTU Miljø som underleverandør har udført en del af analysen (litteraturstudie – afsnit 6.2).

Analysen er udført med udgangspunkt i scenarie 3b i Miljøprojekt 2059. I Miljøprojekt 2059 er der angivet følgende vedrørende scenarie 3b:

Restsorteringsanlægget giver den største genanvendelse og de bedste miljøeffekter blandt alle scenarier. Dette beror dog på en antagelse om, at kvaliteten efter oparbejdning af materialer udsorteret fra restaffaldet ikke er væsentligt anderledes end fra det kildesorterede affald. Desuden er restsorteringsanlæg en forholdsvis ny teknologi, hvilket medfører usikkerhed om sorteringseffektiviteten og kvaliteten af de udsorterede materialer (Miljøstyrelsen, 2019).

Analysen i denne rapport består af følgende del-analyser:

- Litteraturstudie
- Workshop med universiteter
- Interviews med sorteringsanlæg
- Følsomhedsanalyse

Gennem litteraturstudie er der fundet en række problematikker relateret til udsortering og genanvendelse af plastik fra restaffald, hvorimod genanvendelse af metal gennem udsortering fra restaffald er fundet til at kunne gøres med en relativt høj sorteringseffektivitet og grad af reel genanvendelse (metal erstatter metal). Projektets resultater beskrives derfor separat for de to fraktioner nedenfor.

Metalaffald

Udsortering af metalaffald fra restaffald kan gøres med en relativt høj sorteringseffektivitet, der dog vurderes lavere end for metalaffald indsamlet ved kildesortering. Komprimering af restaffaldet gør, at der vil være rester af andet affald, der ikke let kan fjernes fra metallerne ved mekanisk sortering. Kvaliteten af det separat indsamlede metal vurderes derfor højere ved separat indsamling.

I interview med et anlæg, der udsorterer metal fra restaffald (Attero, Holland) angiver virksomheden, at de kan opnå en udsorteringseffektivitet på 95% af input med brug af magnetisk separering, eddy-current separation og udsortering af metal fra restprodukt fra affaldsforbrænding. De to øvrige interviewede sorteringsanlæg mente ikke præcist at kunne angive sorteringseffektiviteter af enkelte materialer i restaffaldet.

Der er i dette projekt ikke fundet anledning til at foreslå ændringer fremadrettet ift. de sorteringseffektiviteter, der er regnet med for metal i Miljøprojekt 2059 (scenarie 3b). Der regnes i

Miljøprojekt 2059 med en sorteringseffektivitet for central sortering på netto 76,5% for jern og aluminium, hvilket er lavere end Attero oplyste (se ovenfor), men højere sammenlignet med resultater af litteraturstudiet (Cimpan et al., 2015). Hertil bør nævnes, at der ikke er entydighed omkring metode for måling af sorteringseffektivitet (hvorvidt fx der regnes effektivitet før eller efter grovsortering), hvormed de forskellige procentværdier ikke nødvendigvis er helt sammenlignelige.

På baggrund af ovenstående er der i projektet valgt at afgrænse analysen af miljøeffekter til at omhandle udsortering og genanvendelse af plastik.

Plastikaffald (blød og hård)

Med hensyn til plastikaffald (blød og hård) er det fundet vanskeligt på baggrund af eksisterende viden at vurdere, med hvilken sorteringseffektivitet denne affaldsfraktion må forventes at kunne udsorteres, og i hvor høj grad den udsorterede plastik fra central sortering er af en kvalitet, der er egnet til genanvendelse. Hertil noteres det, at ledende forskere på området tolker resultater af de samme studier på området noget forskelligt i forhold til at vurdere, om nuværende viden er nok til at anbefale indsamling af restaffald ift. kildesortering.

Et af tre interviewede anlæg (Attero) oplyste, at deres anlæg var i stand til at udsortere 30% blød plastik og 52% af den hårde plastik, hvoraf ca. 19 ud af 20 baller sorteret plastik pt. overholder aftageres krav til indhold af urenheder. Disse tal er noget lavere end hvad der er forudsat i for restsorteringsanlæg + finsortering i Miljøprojekt 2059 (hhv. 46,8% og 58,5%), men det er uklart hvorvidt de oplyste sorteringseffektiviteter er helt sammenlignelige med beregningsforudsætningerne i Miljøprojekt 2059. De to andre interviewede anlæg havde ikke tilsvarende tal for sorteringseffektivitet.

Som en del af projektet blev der afholdt en workshop om eftersortering af metal og plastik fra restaffald med ledende forskere på området. Det blev på workshoppen klart, at eksisterende viden af fremmødte forskere tolkes noget forskelligt i forhold til at kunne give en anbefaling om indsamling af især plastik med restaffaldet. Nedenstående skitserer to tolkninger, der blev argumenteret for på workshop:

Tolkning 1: Udsortering af plastik kan med fordel gøres med central sortering

- Central sortering vil nok være nødvendig under alle tilfælde for at opnå nye målsætninger for genanvendelse
- Eftersortering er billigere end kildesortering, og sikrer signifikant større mængder udsorteret
- De fleste og de lødigste undersøgelser viser, at de ikke er forskel på kvaliteten fra eftersortering og fra kildesortering – altså de studier, hvor der rent faktisk er målt på det (notat fra SDU indeholder referencer til de studier)

Tolkning 2: Kvalitet af udsorteret plast fra central sortering er lav, og reel genanvendelse er udfordret. Der mangles viden

- Ud fra eksisterende viden kan det ikke konkluderes, at eftersortering på restaffald som alternativ til kildesortering/kildeopdeling medfører større reel genanvendelse (plastik erstatter plastik)
- Samlet set er dokumentationen for udsortering af genanvendelige materialer fra restaffald mangelfuld, ligesom afsætningsmulighederne og den reelle genanvendelse af de udsorterede materialer er stort set ubeskrevet
- Hvis en tilsvarende kvalitet skal opnås baseret på eftersortering, så kræver dette øget oparbejdning, hvilket medfører øget ressourceforbrug og øget materialetab under oparbejdningen

Som led i at indsamle den information, der må mangles jf. ovenstående tolkning 2, blev det anbefalet, at der gennemføres flere analyser af sorterede og processerede prøver fra eftersorteringsanlæg. Dette vil kunne gøres på norske eller hollandske anlæg, hvor affaldssammensætningen for nogles vedkommende er nær hvad der vil være typisk i DK (separat indsamling af madaffald og glas).

Den primære miljømæssige gevinst ved genanvendelse opstår typisk ved substitution af alternativ produktion af materialer. Der er gennem litteraturstudiet peget på, at udsortering af lavkvalitets plast ofte ikke substituerer jomfruelig plast men snarere træ (anvendelse til udendørs hegn, planker, bænke mm.). Der er derfor udført en følsomhedsanalyse, hvor der er regnet klimaeffekt på en reduceret, reel genanvendelse af plastik. I Miljøprojekt 2059 regnes der klimakonsekvenser på flere indsamlingsscenarier – herunder restsortring og kildesorteringsscenarier for et opland bestående af 250.000 husstande. Restsorteringsscenariet (scenarie 3b) medfører ifølge Miljøprojekt 2059 yderligere ca. 5000 ton CO₂ reduktion sammenlignet med kildesorteringsscenarie. Følsomhedsanalysen i nærværende rapport viser, at såfremt kun halvdelen af den udsorterede plastik reelt genanvendes, er den samlede klimakonsekvens ens for restsortringsscenariet sammenlignet med kildesortering.

3. Summary and conclusions

The subject of this report is an assessment of collection and recycling of the waste fractions metal and plastic (hard and soft) from households, where those fractions are collected as part of the residual waste and subsequently sorted out for recycling. A purpose with the analysis has been to assess state-of-the-art regarding central sorting to enable a comparison to source separated collection of these waste fractions. Another purpose was to assess environmental consequences through an analysis on determined, central parameters.

This report has been written by Rambøll, with the participation of DTU Environment as sub-contractor. DTU Environment has performed the literature survey described in the report (section 6.2).

The analysis was performed based on "scenario 3b – central sorting" in Miljøprojekt 2059. The following conclusions were drawn in Miljøprojekt 2059 regarding scenario 3b:

The residual waste sorting plant provides the highest recycling rate and best environmental impact among all the scenarios. This, however, depends on the assumption that the quality of the materials consisting of materials that have separated from the residual waste and subsequently reprocessed does not differ significantly from the source-separated waste. In addition, residual waste sorting plants constitute a fairly new technology, implying some uncertainty about the separation efficiency and quality of the separated materials (Miljøstyrelsen, 2019).

The analysis in the present report consist of the following elements:

- Literature survey (state-of-the-art)
- Workshop with universities
- Interviews with sorting facilities
- Sensitivity analysis

The literature survey pointed towards several problems related to sorting out and recycling plastics from residual waste, whereas recycling of metals through material recovery from residual waste was found to be possible with both a relatively high fraction of material recovered and a quality of recycling (recovered metal substitutes virgin material). The results are therefore described for these fractions separately in the following.

Metal waste

Metal can be sorted out from residual household waste with a relatively high sorting efficiency. The sorting efficiency is though probably higher for source separation. The compression of residual waste in the collection step means that the metal will be contaminated with other materials, which are hard to separate mechanically. The quality of source separated metal waste is thus higher compared to metal recovered from residual waste.

We have in this project not found rationale to alter conditions in an analysis here with regards to the sorting efficiencies, which have been used for metals in Miljøprojekt 2059 (scenario 3b). In that study, a recovery rate for iron and aluminum at 76.5% was considered in the analysis. That recovery rate is lower than what was reported in an interview with a central sorting facility (Attero, Netherlands), but higher than what was found in the literature survey (Cimpan et al., 2015). Only one sorting facility reported sorting efficiencies of individual materials in the residual waste. We note that methodologies for calculating these recovery rates may vary (for example if efficiency is measured before or after initial sorting), whereby these percentage values may not be completely comparable.

Considering the findings regarding metals, we decided to perform this project's sensitivity analysis on recycling of plastics exclusively.

Plastic waste (soft and hard)

One of three plants (Attero) interviewed stated that their plants were capable of sorting out 30% of soft plastic and 52% of hard plastic, of which approx. 19 out of 20 bales sorted plastic currently complies with customer requirements for content of impurities. The reported sorting efficiencies are somewhat lower than what is assumed for residual sorting systems + fine sorting in Miljøprojekt 2059 (46.8% and 58.5% respectively), but it is unclear whether the stated sorting efficiencies are fully comparable to the calculation assumptions in Miljøprojekt 2059.

Regarding plastic waste (soft and hard), we found it problematic to determine what recovery rates can be expected from central sorting as well as the how much of the sorted plastic is of a quality usable for recycling based on existing knowledge. We note here that leading researchers in the subject matter are not in agreement whether a recommendation can be made regarding central sorting vs. source separation of plastic waste. As part of this project, a workshop was held with leading researchers in the field. The following outlines two points of view on the topic (central sorting vs. source separation of plastics):

Expert opinion 1: Central sorting of plastics is preferable

- Central sorting will likely be necessary under all circumstances in order to meet coming recycling targets
- Central sorting is more cost efficient compared to source separation, and ensures significantly
- Most of the studies and the most solid studies (studies based on actual measurements) show that there is no difference in quality from central sorting compared to source separated plastic waste. SDU has provided references to those studies

Expert opinion 2: The quality of plastics from central sorting is low challenging recycling. More knowledge is needed

- From existing knowledge, it cannot be concluded that post sorting of residual waste will ensure higher rate of real recycling (plastics substitute plastics)
- Overall, the documentation of sorting recyclable materials from residual waste is lacking, and the possibilities of material substitution of sorted materials is almost unknown
- If a quality of the sorted materials from central sorting is to be as high as source separated collection, the material needs additional treatment, which induces resource use and material loss

In order to obtain information necessary according to "expert opinion 2", it was recommended to perform analysis of sorted and treated samples from sorting facilities treating residual waste. This could be done on Norwegian or Dutch facilities that treat waste with a composition near the waste composition relevant in a Danish (near future) context: separate collection of food waste and glass.

The primary environmental benefit of recycling is typically related to substitution of alternative production of materials. Through the literature survey it was found that sorted out, low quality plastics often do not substitute virgin plastics, but arguably substitutes wood (use for fences, boards, benches and other). Therefore, the sensitivity in this project analysis was performed, where the effect of a significantly rate of "real recycling" (plastic substitute plastics) is considered. In Miljøprojekt 2059 several scenarios regarding waste collection and recycling are considered with regards to global warming impact – including central sorting of residual waste and source separation for an area consisting of 250,000 households. The central sorting scenario (scenario 3b) ensures according to the analysis an approximate 5000 ton/year CO₂ reduction

compared to the source separation scenario. Our analysis indicates that if only half of the plastics sorted out from central sorting is recyclable, the CO₂ reduction for central sorting is equal to source separation.

4. Indledning

4.1 Baggrund

Miljøprojekt 2059 "På vej – Mod øget genanvendelse af husholdningsaffald (livscyklusvurdering og samfundsøkonomisk konsekvensvurdering)" indeholder analyser af miljømæssige og samfundsøkonomiske konsekvenser for en række scenarier for affaldsindsamling af dagrenovation, der hver især er forskellige veje mod målet om øget genanvendelse af affald i Danmark.

I et af disse scenarier (scenarie 3b) indsamles plast og metal sammen med restaffaldet, hvorefter det udsorteres i et restsorteringsanlæg med henblik på genanvendelse. Fra rapportens analyser af de forskellige scenarier ses det fx, at scenarie 3b er mest fordelagtigt i forhold til klimaeffekter, og at de samfundsøkonomiske omkostninger er på niveau med mange af de andre undersøgte scenarier. Resultaterne vedr. miljøeffekter for scenarie 3b skal ifølge rapporten dog ses med forbehold om usikkerhed vedrørende sorteringseffektivitet og kvalitet af de udsorterede materialer for fra restsorteringsanlæg (Miljøstyrelsen, 2019).

4.2 Formål

På ovenstående baggrund har Miljøstyrelsen taget initiativ til undersøgelse af de miljømæssige effekter af at husstandsindsamle fraktionerne metal og plastik (hård og blød) som en del af restaffaldet med henblik genanvendelse.

Et formål med analysen i denne rapport har været at afdække eksisterende viden om eftersortering af restaffald relevant for sammenligning af to scenarier for indsamling af metal og plastik (blød og hård):

1. Indsamling af metal og plastik (blød og hård) som en del af restaffaldet med henblik på eftersortering og genanvendelse
2. Indsamling af metal og plastik (blød og hård) kildesorteret med henblik på genanvendelse (scenarie fra Miljøprojekt 2059)

Et andet formål med analysen har været at udføre følsomhedsanalyse på centrale parametre, der har betydning for miljøvurderingen.

5. Metode

Dette afsnit beskriver den anvendte overordnede tilgang til at gennemføre analysen, samt metoder for gennemførelse af de forskellige delanalyser. Resultater beskrives i afsnit 6.

5.1 Overordnet tilgang

Analysen er udført med udgangspunkt i scenarie 3b i Miljøprojekt 2059 (Miljøstyrelsen, 2019). I rapporten er der angivet følgende vedrørende scenarie 3b:

Restsorteringsanlægget giver den største genanvendelse og de bedste miljøeffekter blandt alle scenarier. Dette beror dog på en antagelse om, at kvaliteten efter oparbejdning af materialer udsorteret fra restaffaldet ikke er væsentligt anderledes end fra det kildesorterede affald. Desuden er restsorteringsanlæg en forholdsvis ny teknologi, hvilket medfører usikkerhed om sorterings effektiviteten og kvaliteten af de udsorterede materialer (Miljøstyrelsen, 2019).

Der er i dette projekt blandt andet i lyset af ovenstående fokuseret på at afdække viden om sorterings effektivitet og kvalitet af udsortering af metal og plastik fra centrale sorteringsanlæg, der modtager restaffald, og dermed andel af reel genanvendelse, der må kunne forventes. Dette er gjort gennem litteraturstudie, workshop med deltagelse af eksperter på området fra flere universiteter samt interview med sorteringsanlæg.

Der er i projektet ikke lykkedes at fastlægge en andel af reel genanvendelse for især udsortering af plastik fra centrale sorteringsanlæg. Der er derfor udført en følsomhedsanalyse, hvor der identificeret og beregnet konsekvenser ift. miljø på det område, hvor usikkerheden og konsekvens af usikkerheden i udgangspunktet for projektet (Miljøprojekt 2059) er størst - andel af reel genanvendelse af plastik fra centrale sorteringsanlæg.

5.2 Workshop med universiteter

Der blev afholdt en workshop blev afholdt med deltagelse af forskere, der hver især har udført studier relevant for problemstillingen inkl. udarbejdelse af LCA-analyse af scenarie 3b i Miljøprojekt 2059 (af DTU Miljø). Forskere fra følgende universiteter deltog: Aalborg Universitet, Syddansk Universitet og Danmarks Tekniske Universitet. Derudover deltog Rambøll og Miljøstyrelsen. Referat fra workshoppen (Bilag 1) indeholder angivelse af de deltagende personer.

Der var forinden afholdelse af workshop udsendt en indkaldelse med et oplæg til workshoppen, hvor problemstillingen blev beskrevet. Bilag 1 indeholder dette oplæg. SDU havde forinden workshoppen fremsendt notat (Bilag 2), mens DTU uddelte notat på workshop (Bilag 3).

Workshoppen blev afholdt således, at der indledtes med baggrund for opgaven af Miljøstyrelsen og et kort oplæg til workshoppen af Rambøll. Derefter præsenterede hvert deltagende universitet egen forskning relateret til problemstillingen samt tolkning af den øvrige viden, der foreligger. Hver af disse præsentationer gav anledning til diskussion. Der afsluttedes med opsamling, der grundet længden af fremlæggelser og diskussion var kortfattet.

Rambøll udarbejdede referat af workshop, der efterfølgende blev sendt til kommentering til de deltagende eksperter for at sikre, at de tolkninger mm. bedst muligt var gengivet korrekt. Dette gav anledning til dialog, der gjorde at afsnittet "3.6 Opsummering" i Bilag 1 skal ses som produkt af både workshop og efterfølgende dialog via e-mail. Dialogen bestod i kommentering af de enkelte eksperter på Rambølls udkast til referat uafhængigt af hinanden.

Workshoppens resultater beskrives (overordnet) i afsnit 6.1, mens der i øvrigt henvises til referat (Bilag 1).

5.3 Litteraturstudie

Der er gennemgået videnskabelig litteratur med relevans for den undersøgte, overordnede problemstilling, og hvor viden fra litteraturen er beskrevet i forhold til følgende punkter:

- Sammensætning af restaffald
- Forureningstyper
- Udsorterede mængder og forurening af tørre materialer
- Kvalitet af genanvendte materialer
- Modellering af kvalitet, substitution og kaskadegenanvendelse
- Miljøpåvirkning

Beskrivelse af ovenstående punkter afsluttes med en opsummering og beskrivelse af åbne spørgsmål. Resultater af litteraturstudiet er beskrevet i afsnit 6.2

5.4 Interviews

Antallet af anlæg, som sorterer blandet restaffald fra husholdninger med henblik på genanvendelse, er relativt lille. Der findes nogle anlæg i Sydeuropa, men her er såvel affaldssammensætning som systemet for indsamling og behandling af husholdningsaffaldet ikke sammenligneligt med det danske system.

Der er derfor i dette projekt truffet valg om at interviewe anlæg, der i højest mulig grad behandler affald i et system, der vurderes sammenlignelig med det danske for indsamling og genanvendelse af affald. Disse anlæg findes i Norge og Holland, hvor der er fokuseret på anlæg, der behandler affald med separat indsamling af madaffald.

De valgte anlæg var Omrins sorteringsanlæg i Heerenveen, Holland, Atteros sorteringsanlæg i Wijster, samt Roafs anlæg i Skedsmo, Norge. Sidstnævnte behandler husholdningsaffald, der indeholder madaffald indsamlet kildeopdelt i poser sammen med restaffald.

De tre Interviews blev afholdt ud fra en interviewguide, der var udarbejdet med henblik på undersøgelse af projektets problemstilling. Der blev spurgt ind til følgende emner:

- Generelt om anlægget (anlæggets funktion, anlæggets kapacitet)
- Hvilke affaldsfraktioner, der sorteres (input og output)
- Den videre behandling af hhv. plastik- og metalaffald
- Kvalitet og grad af genanvendelse af udsorteret metal og plastik
- Muligheder for at øge kvalitet af udsorteret metal og plastik

Interviewguide samt svar fra virksomhederne fremgår af Bilag 4, og interviewets resultater beskrives og kommenteres i afsnit 6.3.

5.5 Følsomhedsanalyse

I følsomhedsanalysen er der undersøgt klimaeffekt af en evt. lavere reel genanvendelse af plastikaffald (plastik erstatter plastik) sammenlignet med scenarie 3b i Miljøprojekt 2059. Det er ud fra projektets øvrige analyser vurderet, at metal kan udsorteres fra restaffald med en relativt høj effektivitet og i en kvalitet egnet til genanvendelse, hvormed følsomhedsanalysen afgrænses til at omhandle plastikaffald (blød og hård). Følgende sammenlignes:

1. Kildesortering af metal og plastik (blød og hård) (lig scenarie 1b i Miljøprojekt 2059)

2. Indsamling af metal og plastik (blød og hård) som en del af restaffaldet med henblik på central sortering og genanvendelse (høj reel genanvendelse) (lig scenarie 3b i Miljøprojekt 2059)
3. Indsamling af metal og plastik (blød og hård) som en del af restaffaldet med henblik på central sortering og genanvendelse (lav reel genanvendelse) (egen analyse baseret på resultater af scenarie 3b i Miljøprojekt 2059)

For punkt 1 og 2 ovenfor anvendes resultater fra Miljøprojekt 2059 uændrede. For punkt 3 er der udført en simpel konsekvens analyse, hvor der antages en lavere andel af reel genanvendelse af plastikaffald sammenlignet med scenarie 3b i Miljøprojekt 2059. Der medtages konsekvens af ændring af én parameter, der i Miljøprojekt 2059 blev vist at have relevans relevant for drivhusgasser i beregningen: undgået drivhusgasudledning ved substitution af jomfruelig plast, hvor der er regnet på effekt af denne reducerede substitution.

Der bemærkes, at en række faktorer ikke medtages i konsekvensanalysen, på trods af at de kan have nogen betydning for resultatet. Dette gælder fx ændring af transportarbejde ved lavere reel genanvendelse. Beregningerne og resultaterne beskrives i afsnit 6.4.

6. Resultater

I dette afsnit beskrives resultater af henholdsvis workshop, litteraturstudie, interview og følsomhedsanalyse. Resultaterne diskuteres i rapportens afsnit 7

6.1 Workshop med universiteter

På workshoppen fremlagde de deltagende eksperter eksisterende viden relateret til projektets problemstilling, samt dele af egen forskning med relevans for området. I dette afsnit beskrives kun workshoppens helt overordnede konklusioner ift. mulighed for at indsamle plastik og metal med restaffaldet med henblik på eftersortering. Derudover henvises til referat fra workshop i Bilag 1.

Det blev på workshoppen klart, at eksisterende viden af fremmødte eksperter tolkes forskelligt i forhold til at kunne give en anbefaling om indsamling af især plastik med restaffaldet. Nedenstående skitserer to tolkninger, der blev argumenteret for på workshoppen:

Tolkning 1: Udsortering af plastik kan med fordel gøres med central sortering

- Central sortering vil nok være nødvendig under alle tilfælde for at opnå nye målsætninger for genanvendelse
- Eftersortering er billigere end kildesortering, og sikrer signifikant større mængder udsorteret plastik
- De fleste og de lødigste undersøgelser viser, at de ikke er forskel på kvaliteten fra eftersortering og fra kildesortering – altså de studier, hvor der rent faktisk er målt på det (notat fra SDU indeholder referencer til studierne)

Tolkning 2: Kvalitet af udsorteret plast fra central sortering er lav, og reel genanvendelse er udfordret. Der mangles viden

- Ud fra eksisterende viden kan det ikke konkluderes, at eftersortering på restaffald som alternativ til kildesortering/kildeopdeling medfører større reel genanvendelse (plastik erstatter plastik)
- Samlet set er dokumentationen for udsortering af genanvendelige materialer fra restaffald mangelfuld, ligesom afsætningsmulighederne og den reelle genanvendelse af de udsorterede materialer er stort set ubeskrevet
- Hvis en tilsvarende kvalitet skal opnås baseret på eftersortering, så kræver dette øget oparbejdning, hvilket medfører øget ressourceforbrug og øget materialetab under oparbejdningen

Diskussionen på workshoppen omhandlede stort set udelukkende plastik, hvorimod metal ikke på samme måde vurderes som problematisk ift. central sortering.

6.2 Litteraturstudie

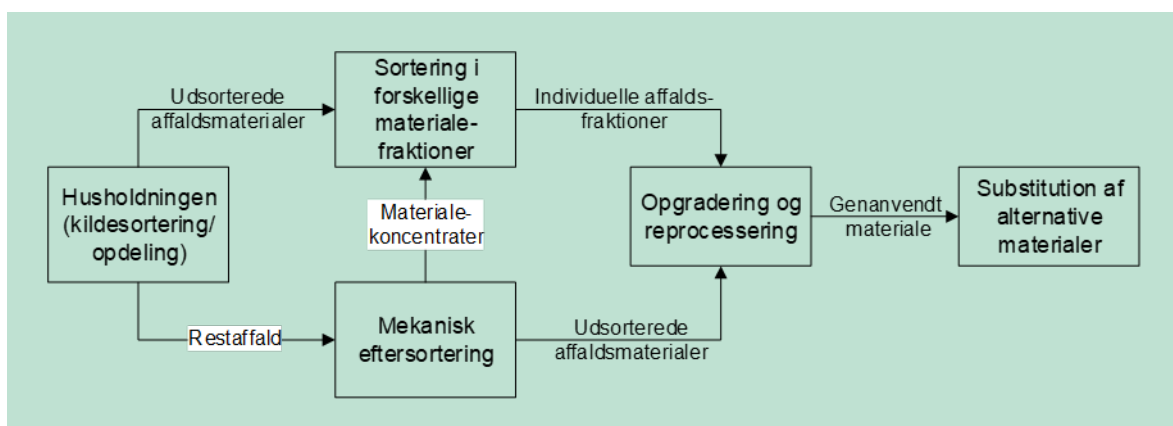
Dette afsnit er udarbejdet af DTU Miljø, og giver en overordnet gennemgang af kritiske forudsætninger for fastlæggelse af potentielle miljøpåvirkninger fra eftersortering af genanvendelige materialer fra restaffald med særlig fokus på plast, herunder betydningen af affaldssammensætning, kvalitet og genanvendelighed. Notatet giver endvidere en oversigt over udsorterings- og genanvendelsesrater i den udstrækning disse findes dokumenteret i litteraturen.

Restaffaldet indeholder mange forskellige materialetyper, som hver yderligere kan bestå af en række forskellige materialefraktioner (Edjabou et al., 2015). Plast i husholdningsaffald kan fx opdeles i polymerfraktioner såsom PET, PE og PP, men også i forhold til farve, produkttype,

osv. og metal i jernholdige og ikke-jernholdige metaller. For at materialerne kan genanvendes, skal disse fraktioner udsorteres i en renhed og kvalitet, som modsvarer de i genanvendelsen substituerede materialer (Vadenbo et al., 2016). Genanvendelsesprocessen indeholder derfor flere trin, som alle påvirker den endelige genanvendelsesgrad og substitution af alternativt producerede materialer. Figur 1 illustrerer en generisk genanvendelses proces.

Affaldsmaterialer der sendes til opgradering, oparbejdning, reprocessering, m.m. kan komme enten fra udsortering i husholdningen (via kildesortering eller kildeopdeling) og/eller være udsorteret mekanisk fra restaffaldet. Den sidstnævnte metode kaldes i dette notat for eftersortering (se Figur 1). Afhængig af metode og materiale der udsorteres ved eftersortering, kan der enten produceres et "materialekoncentrat", som sendes til videre sortering (fx en kombination af flere plastfraktioner) eller det udsorterede materiale kan sendes direkte til oparbejdning og reprocessering, fx for jernholdige metaller.

Eftersortering af restaffald findes både i Europa, oftest som såkaldte MBT ("Mechanical and Biological Treatment") anlæg, hvor det organiske materiale gennemgår en biologisk stabiliseringsproces (fx kompostering), og i USA i form af de såkaldte "dirty MRFs" eller "mixed waste MRFs" (hvor MRF er forkortelse for Material Recovery Facilities) (Cimpan et al., 2015; Jaunich et al., 2019). De i dette projekt interviewede anlæg er eksempler på anlæg, hvor affaldet er mere uorganisk pga. kildeindsamling af madaffald eller indsamling af madaffald i farvede poser.



FIGUR 1. Trin i genanvendelsesprocessen med fokus på eftersortering af genanvendelige materialer fra restaffald. Restaffaldets sammensætning afhænger af kildesortering/kildeopdeling i husholdningen. Mulighederne for udsortering og kvaliteten af de udsorterede fraktioner afhænger af restaffaldets sammensætning.

6.2.1 Sammensætning af restaffald

Afhængig af valg af kildesortering/kildeopdeling i husholdningen kan restaffaldet indeholde varierende mængder af de enkelte materialer. Tilsvarende vil disse materials egenskaber og forureningsgrad påvirkes af kildesortering/kildeopdelingen i husholdningen. Sammensætningen af restaffaldet kan derfor variere meget, hvilket har stor indflydelse på sorteringseffektiviteten ved eftersortering af restaffaldet såvel som kvaliteten af de udsorterede fraktioner (Dahlén and Lagerkvist, 2008).

Udsortering af organisk affald i husholdningen reducerer det samlede vandindhold i restaffaldet, hvilket gør de tilbageværende materialer nemmere at udsortere. På den anden side vil udsortering af tørre, genanvendelige fraktioner (fx papir, pap, glas, metal, plast) via kildesortering/kildeopdeling medføre, at de tilbageværende materialer i restaffaldet bliver vådere og potentielt vanskeligere at eftersortere (Sfeir et al., 1999). Vandindhold fra én materiale-fraktion kan ved indsamling optages af tørrere fraktioner, ligesom forureningsselementer fra én fraktion

kan overføres til overfladen af andre fraktioner (overfladeforurening, fx madrester). Denne type forurening af ellers genanvendelige materialefraktioner kan dels nedsætte effektiviteten af eftersorteringen væsentligt, og dels påvirke genanvendeligheden af de udsorterede fraktioner (Villanueva and Eder, 2014). Dette gælder i særlig høj grad for plast, da udsortering af plast i forskellige plasttyper oftest sker maskinelt ved detektion af overflader (Hopewell et al., 2009). Det er derfor klart, at indsamlingssystemet som helhed (herunder kildesortering/kildeopdeling) påvirker sammensætningen af restaffaldet. Det har eksempelvis betydning i hvilket omfang restaffaldet indeholder de let genanvendelige produkt-typer eller ej. Uden denne information kan resultater fra én undersøgelse ikke overføres til en anden kontekst.

Uanset system for kildesortering/kildeopdeling vil restaffaldet indeholde en vis mængde vådt, organisk affald, der vil bidrage til forurening af de tørre materialer i restaffaldet. Petersen og Mayland (2015) vurderede, at 82% af den bløde plast og 68% af den hårde plast fra prøver af restaffald var forurenet i en sådan grad at mere end 20% af overfladen var synligt påvirket. Det var i dette studie ikke klart, om der i de involverede husholdninger var etableret kildesortering/kildeopdeling eller ej. Baseret på tilgængelig litteratur findes der ikke dokumentation for, hvordan kildesortering/kildeopdeling påvirker forureningsgraden af de tilbageværende tørre materialer i restaffaldet og muligheden for eftersortering af disse fraktioner.

Udover forurening mellem materialefraktionerne, så har indsamlingssystemet som helhed (fx kildesortering, producentansvar, pantordninger, m.v.) og forbrugsmønstre (fx emballagemængder og -typer) betydning for sammensætningen af restaffaldet. Ved vurdering af potentialet for eftersortering af restaffald er det derfor nødvendigt at tage udgangspunkt i en specifik affaldssammensætning. Det er også nødvendigt at erkende, at de individuelle materialefraktioner opgjort i eksisterende affaldsfraktioner (fx Eriksen and Astrup, 2019; Edjabou et al., 2018; Götze et al., 2016; Edjabou et al., 2015) ikke repræsenterer 100% rene fraktioner, men materialefraktioner indeholdende større eller mindre mængder af forureninger. Data for affaldssammensætninger påvirkes derfor af undersøgelsens betingelser, formål, afgrænsning, metode, osv. såvel som det geografiske opland og rammebetingelser. Ovenstående referencer kan bruges som udgangspunkt for danske forhold, men relevansen af data for affaldssammensætningen for en konkret situation bør overvejes nøje. Effektiviteten og genanvendeligheden af de udsorterede materialer ved eftersortering på restaffald kan derved ikke vurderes uden konkret stillingtagen til sammensætningen af restaffaldet. Dette betyder desuden, at resultater fra ét land eller geografisk område ikke uden videre kan overføres til et andet.

6.2.2 Forureningstyper

Genanvendelige affaldsmaterialer fra husholdninger kan indeholde forskellige typer af forurening, som alle potentielt kan reducere kvaliteten af de genanvendte materialer, der produceres, og dermed deres anvendelighed. Et overblik er præsenteret i Tabel 1 nedenfor.

TABEL 1. Overblik over forureningstyper af affaldsmaterialer, samt konkrete eksempler for plast (Eriksen et al., 2018a; Faraca et al., 2019c; Pivnenko og Astrup, 2016).

Forurening	Uddybning	Eksempel for plast
Fysisk forurening:		
Uønsket materiale	Denne type forurening vil nødvendigvis være tilstede i kildeopdelt affald såvel som restaffald, da flere materialetyper indsamles sammen. Uønskede materialer kan ligeledes forekomme i kildesorteret affald, pga. fejlsorteringer fra borgerens side. Uafhængigt af indsamlingssystem, kan uønskede materialer også stamme fra rester på produkterne (fx madrester) og produkter designet af flere materialer.	Madrester Elektronisk affald indeholdende plast Plastprodukter med papirmærkater Plastbøtter med papomslag
Uønsket materialefraktion	Inden for samme materiale findes der oftest flere forskellige materialefraktioner, der ikke nødvendigvis kan genanvendes sammen og derfor skal adskilles inden reprocessering. Denne type forurening kan stamme fra fejlsorteringer under den mekaniske udsortering eller produkter designet af flere materialefraktioner.	PET fejlagtigt udsorteret i PE outputtet fra mekanisk sortering PET flaske med PE eller PP låg
Materialefraktion med uønskede egenskaber	Inden for samme materialefraktion findes forskellige materialeklasser med forskellige egenskaber. Disse materialeklasser bruges ofte til produktion af forskellige produkttyper og sammenblanding af produkter i genanvendelsen kan derfor ændre de oprindelige egenskaber signifikant. Ved eksisterende sorteringsteknikker undgås denne type forurening ikke.	PP bakker til kød har forskellige materialeegenskaber sammenlignet med PP bøtter til mejeriprodukter.
Kemisk forurening:		
Potentielt problematiske stoffer	Kemiske stoffer kan tilføjes i produktionsfasen af et materiale, for at få det til at opfylde nogle bestemte egenskaber. Typen og koncentrationen af stoffer kan variere meget i produkter med forskellige formål, da nogle er strengere reguleret end andre. Sammenblanding af "rent" materiale, med strengt reguleret kemisk indhold, og "mindre rent" materiale, uden regulering af kemisk indhold, vil derfor resultere i et "mindre rent" materiale, med begrænset anvendelighed. Problematiske stoffer kan også optages i materialet under brug eller affaldshåndtering.	Fødevareemballage af plast er relativt strengt reguleret i EU og må derfor ikke blandes med andre plasttyper, hvis det skal kunne genanvendes til ny fødevareemballage. Plast brugt i elektroniske produkter indeholder oftest høje koncentrationer af fx brommerede flammehæmmere.

6.2.3 Udsorterede mængder og forurening af tørre materialer

Den primære fordel ved eftersortering af restaffald er potentialet for udsortering af større mængder til genanvendelse, med minimum af indsats fra borgernes side og et simpelt indsamlingssystem. Der findes dog ingen dokumentation for, hvor store mængder, der reelt kan udsorteres fra dansk restaffald, og hvilken kvalitet de udsorterede materialer har.

GBB (2015) vurderede i en rapport for The American Chemistry Council, at op mod 60-80% af udvalgte plastflasker i PET og HDPE kan udsorteres fra amerikanske state-of-the-art eftersorteringsanlæg. Antagelsen var dog baseret udelukkende på ikke-validerede data fra anlægsproducenter og beregningen omhandler i modsætning til alt plasten kun de genanvendelige plastprodukter i affaldet (fx flasker). På kildesorteret hård plast gennemførtes der i Plastic Zero (2014) testsorteringer på 5 anlæg. Her blev fundet udsorteringsrater på 44-66%, hvor de høje rater var for anlæg med stor andel af "mixed plastics". Tilsvarende erfaringer er dokumenteret for andre lande, hvor høje udsorteringsrater er forbundet med plastfraktioner indeholdende blandede polymerer. Kvaliteten af sådanne blandede plastfraktioner angives som usikker (Van Eygen et al., 2018). Da der ingen dokumentation er for udsorteringsrater på op mod 60-80% på dansk restaffald, og de førnævnte data stammer fra forskellige studier baseret på forskellige betingelser (udsorteringsrater for bestemte plastprodukter i restaffaldet og kildesorteret

hård plast fremfor alt plast i restaffaldet), så er udsorteringsrater i denne størrelsesorden ikke underbygget for danske forhold.

I en litteraturgennemgang primært af europæiske studier af MBT-anlæg, angives udsorteringsrater for jernholdige metaller på 35-84%, ikke-jernholdige metaller på 29-95%, plastfolier på 0.4-60%, PET-plast på 5-67% og HDPE plast på 1-73% (Cimpan et al., 2015). For alle de nævnte materialer, særligt plast, spænder udsorteringseffektiviteterne over meget brede intervaller, hvilket understreger vigtigheden af information om proceskonfiguration, affaldssammensætning og affaldssystem i øvrigt.

I Eriksen et al. (2018a) er genanvendelsespotentialerne for forskellige konfigurationer af genanvendelsesprocesser for plast undersøgt med udgangspunkt i en generisk europæisk affaldssammensætning. Undersøgelsen viste, at eftersortering af plast fra restaffaldet (uden kildesortering/kildeopdeling i husholdningen) potentielt kan udsortere mængder svarende til 67-89% af plasten i restaffaldet. Undersøgelsen viste dog samtidig, at 40-70% af de udsorterede mængder bestod af forureninger (enten ikke-plastmaterialer eller uønskede polymertyper, fx PE-plast i den udsorterede PET fraktion). I bedste fald var derfor kun omkring 30% af den udsorterede plast egnet til egentlig genanvendelse. Dette er væsentligt lavere end ved kildesortering/kildeopdeling af plast, hvor i bedste fald omkring 50% af den udsorterede plast blev fundet egnet til videre genanvendelse (Eriksen et al., 2018a).

Renheden af de udsorterede fraktioner kan øges ved at køre affaldsfraktionerne igennem sorteringsprocessen flere gange. Dette vil dog samtidig øge materialetabene og reducerer mængderne til genanvendelse. Det er derfor nødvendigt at have en fuld massebalance for anlægget og dokumentation for materialetabene undervejs i sorteringsprocessen for at kunne vurdere effektiviteten af eftersortering af restaffaldet, herunder vurdere oplysninger om renheden af de udsorterede materialer. Det vil sige, at massebalancen for en materialefraktion bør omfatte sorterings- og oparbejdningsprocesser indtil genanvendelige flakes/pellets, så alle materialetab fastlægges og den dertil hørende renhed kendes. Det er således vigtigt at være opmærksom på, at jo flere gange en affaldsfraktion køres gennem en udsorteringsproces, og dermed jo renere en fraktion der opnås, jo mindre vil de udsorterede mængder også blive. Dermed kan fordelene ved eftersortering, sammenlignet med kildesortering/kildeopdeling i husholdningen, forsvinde.

Som et eksempel fandt man i et Hollandsk studie, at en smule mere plast kunne udsorteres i form af plastkoncentrater (et med hård og et med blød plast) fra restaffald i Holland, sammenlignet med hvad der rapporteres udsorteret via kildesortering/kildeopdeling i Tyskland og Holland. Kvaliteten af plastkoncentratet blev dog fundet problematisk grundet store mængder urenheder og vil kræve yderligere sortering (Feil et al., 2017). Mængden af tab forbundet med yderlig sortering kendes ikke, men eftersom plastkoncentraterne indeholdt mellem 28% og 49% urenheder af andre materialer, hvilket er væsentligt højere end de omkring 15% rapporteret for dansk kildesorteret plast (Eriksen and Astrup, 2019), kan det med rimelighed forventes, at tabene vil være større ved sortering af plastkoncentrater fra eftersortering. I tætbefolkede hollandske byer blev der dog rapporteret om meget lave indsamlings-rater via kildesortering/kildeopdeling (Feil et al., 2017), og det er derfor muligt, at eftersortering af restaffald i bestemte byområder kan medføre udsortering af større plastmængder. Omvendt må det forventes, at effektiviteterne for kildesortering/kildeopdeling af plast kan stige i fremtiden, særligt i byer, hvor indsatsen (muligheder for sortering, information til borgere) endnu har været begrænset (Sweco, 2016).

Et andet hollandsk studie har opsat en model for genanvendelse af plastaffald fra husholdninger i Holland, baseret på empiriske data (Brouwer et al., 2017). Studiet viser, at 27% af plasten i det restaffald der sendes til eftersortering, udsorteres og oparbejdes til genanvendt

plast. Udsorteringseffektiviteterne fra restaffald fundet i dette studie er dermed på niveau med dem fundet i Eriksen et al. (2018a).

Ardolino et al. (2017) har undersøgt massestrømmene gennem et italiensk MBT-anlæg, der behandler blandet restaffald, og som producerer metal og plast til genanvendelse, samt en brændselsfraktion til forbrænding. Studiet viser, at det blandede restaffald modtaget på anlægget bestod af henholdsvis 26% plast og 4% jern, men at kun 0.9% og 0.01% af outputtet blev udsortet til genanvendelse af henholdsvis plast og jern. Dette svarer til en udsorteringseffektivitet på 3,5% for plast og 0,25% for jernholdige metaller. En sammenfatning af de tilgængelige udsorteringseffektiviteter er præsenteret i Tabel 2

TABEL 2. Sammenfatning af udsorteringseffektiviteter (Udsorteringseff.) fra udvalgte studier. EuUH: Eftersortering uden udsortering i husholdningen, E: Eftersorting, UH: Udsortering i husholdningen.

System	Materiale	Udsorteringseff.	Bemærkning	Ref.
EuUH	PET & HDPE	60%	Bygger udelukkende på eftersorteringsanlægs egne udsagn og gælder primært nemt genanvendelige plastprodukter.	1
E	Jernholdige metaller	35-84%	Interval mellem værdier fundet i tre forskellige studier af MBT anlæg.	2
	Ikke-jernholdige metaller	29-95%		
	Plastfolier	0.4-60%		
	PET plast	5-67%		
	HDPE plast	1-73%		
EuUH	Plast	0-30%	Øvre grænse repræsenterer best case, hvor plastkoncentratet sorteres én gang.	3
UH	Plast	0-50%	Øvre grænse repræsenterer best case, med høje indsamlings- og sorteringsrater.	3
EuUH	Plast	36%		4
EuUH	Plast	3,5%	Fra MBT anlæg der også laver et brændselsprodukt med plast	5
	Jernholdige metaller	0,25%		

¹ GBB (2015), ² Cimpan et al. (2015), ³ Eriksen et al. (2018a), ⁴ Brouwer et al. (2017) ⁵ Ardolino et al. (2017)

6.2.4 Kvalitet af genanvendte materialer

Som tidligere nævnt er en af de potentielle udfordringer ved eftersortering af restaffald en høj andel af forurening, hvilket kan have negativ indflydelse på kvaliteten af de genanvendte materialer. Selvom overfladeforurening med organiske materialer i de fleste tilfælde enten forsvinder i omsmeltningsprocesser (fx glas og metal) eller kan fjernes i dedikerede vaske-processer (fx plast), så udgør tilstedeværelsen af uønskede materialer i de fleste tilfælde stadig en udfordring for kvaliteten af de genanvendte materialer. Eksempelvis har Resource Association formuleret generelle forureningsgrænseværdier for genanvendelige materialer sendt til genanvendelse, hvor andelen af organisk materiale i plastaffald ikke må overskride 1% (Resource Association, 2019).

Nedsat kvalitet af genanvendte materialer repræsenterer begrænsede materialemæssige egenskaber (fx farve, styrke, holdbarhed, indhold af kemiske stoffer, m.m.) og dermed nedsat anvendelighed (Villanueva og Eder, 2014; Eriksen og Astrup, 2019). Dette har særlig betydning for plast, hvor den genanvendte plast ofte kun har en kvalitet, der er egnet til produkter

med begrænsede regulerings- og materialemæssige krav (fx havemøbler, trafik-kegler, transportkasser, m.m.), eller nødvendiggør indblanding af en stor andel jomfrueligt plast for opnåelse af de nødvendige produktgenskaber.

Et tredje hollandsk studie (Luijsterburg og Goossens, 2014) har undersøgt kvaliteten af genanvendt plast fra henholdsvis kildesortering/kildeopdeling og eftersortering af restaffald, på baggrund af koncentrationen af uønskede plasttyper (fx PE i genanvendt PP). Undersøgelsen konkluderede, at der ikke kunne ses forskel i kvaliteten af genanvendt plast fra kildesortering/kildeopdeling og eftersortering. De genanvendte plastprøver fra eftersortering havde dog gennemgået en væsentlig mere omfattende sorteringsproces end det genanvendte plast fra udsortering i husholdningerne. Undersøgelsen pointerede endvidere, at vask og øget sortering fører til renere genanvendte plastfraktioner. Studiet demonstrerer dermed vigtigheden af en omfattende sorteringsproces, hvis kvaliteten af plast fra eftersortering af restaffald skal matche den fra udsortering i hjemmet.

Eftersortering af restaffald har desuden den indbyggede ulempe, at det kan være vanskeligt at kontrollere, hvilke produkter og produkttyper der udsorteres og sendes til genanvendelse i samme fraktion. Den Europæiske Kommission reviderer i disse år kravene til plastemballage på det Europæiske marked, så al plastemballage i 2030 bliver genbrugeligt eller nemt genanvendeligt (EC, 2018). Et af formålene med tiltagene er at øge kvaliteten af genanvendt emballageplast fra husholdninger. Feil et al. (2017) fandt, at 28% af plasten i restaffald fra Holland sendt til eftersortering bestod af ikke-emballage produkter. Dette må forventes at være væsentligt højere end for kildesorteret affald, hvor kun emballage medtages i sorteringsvejledningerne i Holland - også selvom husholdningerne ikke følger vejledningen fuldstændigt. Det er altså muligt, at en del af de potentielle kvalitetsgevinster forbundet med forbedret plast-emballagedesign vil forsvinde, hvis emballagen genanvendes sammen med ikke-emballage plast. Dette vil være vanskeligt at undgå ved eftersortering. Emballageplastik og øvrig plastik indsamles sammen i Danmark, men hvis cirkularitet forbundet med plastgenanvendelsen skal øges, kræves det, at den høje kemiske kvalitet af fødevareemballage opretholdes under genanvendelsen, så genanvendelse i et lukket kredsløb til ny fødevareemballage bliver muligt (Eriksen et al., 2018; Eriksen og Astrup, 2019). Dette vil kræve separat håndtering af fødevareemballage, hvilket i de fleste tilfælde vil kræve kildesortering/kildeopdeling i det mindste af nogle plastfraktioner (Eriksen og Astrup, 2019). Dette vil under alle omstændigheder være vanskeligt ved eftersortering af plast fra restaffald.

I modsætning til kildesortering/kildeopdeling begrænser eftersortering derfor mulighederne for at minimere mængderne af uønskede produkttyper i de udsorterede fraktioner til genanvendelse; omvendt kan sorteringsvejledninger til en vis grad påvirke sammensætningen af de kildesorterede/kildeopdelte fraktioner, hvilket kan bidrage til at minimere tilstedeværelsen af problematiske stoffer i genanvendte materialer, som tidligere er blevet påvist for flere stoffer i forskellige materialer (fx Faraca et al., 2019c; Eriksen et al., 2018b; Pivnenko et al., 2017; Pivnenko and Astrup, 2016; Pivnenko et al., 2016a; Pivnenko et al., 2016b). Dermed kan genanvendte materialer fra restaffaldet stadig have begrænset anvendelighed, sammenlignet med genanvendte materialer fra kildesortering/kildeopdeling, også selvom den fysiske renhed er den samme.

6.2.5 Modellering af kvalitet, substitution og kaskadegenanvendelse

I hvilken grad et genanvendt materiale kan erstatte et alternativt nyt materiale, dvs. substitutionsfaktoren, afhænger af dets funktionalitet, hvilket kan udtrykkes således (Vadenbo et al., 2016):

$$\alpha^{rec:disp} = \frac{\Phi^{rec}}{\Phi^{disp}}$$

hvor $\alpha^{rec:disp}$ er substitutionsfaktoren, ϕ^{rec} er funktionaliteten af det genanvendte materiale og ϕ^{disp} er funktionaliteten af det materiale der antages erstattet.

Funktionaliteten af det genanvendte materiale afhænger af dets materialemæssige egenskaber, hvilket i høj grad er påvirket af både fysisk og kemisk forurening, se Tabel 1 (Eriksen et al., 2018a; Eriksen og Astrup, 2019). Eksempelvis vil for meget fysisk forurening medføre, at produkter lavet af genanvendt plast skal være tykkere end hvis de blev produceret af nyt plast. Funktionaliteten af den genanvendte plast i den specifikke anvendelse er dermed reduceret sammenlignet med den nye plast, og substitutionsfaktoren bør være <1 .

Tages et mere helhedsorienteret systemperspektiv, er kvaliteten af genanvendte materialer også afgørende for, i hvilke anvendelser de har et potentiale for at substituere nye materialer, og dermed i hvilken grad materialekredsløb kan lukkes, dvs. cirkularitetspotentialet. Hvis kvaliteten af eksempelvis genanvendt plast er lav, og den dermed kun kan substituere ny plast i få anvendelser, er cirkularitetspotentialet og dermed plastens evne til at lukke plast-kredsløbet også lavt. Cirkularitetspotentialet er defineret i Eriksen et al. (2018a).

Kvaliteten af genanvendte materialer er desuden afgørende for, hvor mange gange de kan genanvendes, dvs. antallet af genanvendelseskaskader, hvilket igen kan være afgørende for miljøprofilen (Faraca et al., 2019d). Det er derfor vigtigt at vurdere hvorvidt effekten fra genanvendelseskaskader skal medtages i modelleringen. En metode til medtagelse af kaskader er præsenteret og anvendt i Faraca et al. (2019d).

6.2.6 Miljøpåvirkning

Der er mange faktorer der er afgørende for, hvordan eftersortering af genanvendelige materialer fra restaffald præsterer miljømæssigt:

Affaldssammensætning: Det er vigtigt at have kendskab til affaldssammensætningen, da denne kan være afgørende for miljøpåvirkninger fra håndtering (Bisinella et al., 2017), samt mængden af urenheder og forurening af materialefraktionerne, da dette kan påvirke både effektiviteten af udsorteringen og kvaliteten af de udsorterede affaldsmaterialer.

Transport: Hvis genanvendelige materialer udsorteres fra restaffaldet i stedet for i husholdningen, betyder dette færre indsamlingsruter og dermed lavere brændstofforbrug end transport af individuelle materialefraktioner. Hvis eftersortering benyttes som supplement til kildesortering/kildeopdeling i husholdningen, opnås denne potentielle gevinst ikke.

Udsortering: Udsortering af materialer fra restaffaldet er oftest en væsentlig mere omfattende proces, end sortering af allerede kildesorterede/kildeopdelte fraktioner. Dette gælder særligt, hvis den samme renhed og kvalitet af de genanvendelige materialer skal opnås (Luijsterburg og Goossens, 2014). Eftersortering fra restaffald vil dermed medføre et øget ressourceforbrug under sortering og oparbejdning, hvilket repræsenterer en større miljøbelastning.

Substituerede materialer: Den primære miljømæssige gevinst ved genanvendelse opstår typisk ved substitution af alternativ produktion af materialer (fx Faraca et al., 2019b; Faraca et al., 2019d). Det er derfor afgørende at have klarhed over, a) hvilke typer jomfruelige materialer der substitueres, b) hvor store mængder der substitueres (hvis nogen overhovedet), og c) hvordan disse substituerede materialer produceres. Eksempelvis bliver genanvendt lavkvalitetsplast oftest anvendt til udendørs hegn, planker, vandløbsopdæmning, udendørsborde, bænke, osv. For en stor del af disse produkters vedkommende vil substitutionen reelt være træ og ikke jomfrueligt plast, hvilket har vist sig at nedsætte miljøgevinsten væsentligt (Shonfield, 2008; Faraca et al., 2019d). Derved er kvaliteten af de udsorterede og genanvendelige materialer ikke uden betydning. Risikoen er også, at genanvendte lavkvalitetsmaterialer skaber et nyt marked for plastprodukter, der ellers ikke ville være blevet markedsført, eller udvider

eksisterende markeder, fx ved lavere priser på råmaterialer hvilket videre kan medføre øget forbrug enten af råmaterialer eller de færdige produkter. I sådanne tilfælde er den miljømæssig gevinst begrænset eller ikke eksisterende (Zink and Geyer, 2017).

Andre teknologier: Hvis den udsorterede plast fra restaffaldet er forurenede til at kunne genanvendes, er termisk nedbrydning (fx pyrolyse) af pladen til dens individuelle komponenter med henblik på dannelse af en råolie, som igen kan bruges til at lave ny plast, en mulighed. Der er i dag relativ stor usikkerhed omkring disse teknologier, deres effektivitet og hvorvidt olieprodukterne reelt anvendes til plastfremstilling eller blot som energiprodukter. Baseret på eksisterende data er disse løsninger dog oftest mere miljøbelastende end genanvendelse (Faraca et al., 2019a).

6.2.7 Opsamling

Effektiviteten af eftersortering på restaffald afhænger af restaffaldets fysisk-kemiske sammensætning og dermed på forhold som affaldsgenereringen, øvrig kildesortering/kildeopdeling, forbrugsmønstre, indsamlingssystem, sammensætning og omfang af sorteringsteknologier, m.m. Undersøgelser fra ét land og én region kan ikke uden videre overføres til andre områder. Data om renhed fra ét studie kan ikke kobles sammen med udsorteringseffektiviteter fra et andet studie. Ud fra eksisterende viden kan det ikke konkluderes, at eftersortering på restaffald, som alternativ til kildesortering/kildeopdeling, medfører større reel genanvendelse. Det kan forventes, at større mængder af genanvendelige materialer kan udsorteres, men det må også forventes, at disse materialer er væsentligt mere forurenede og har lavere kvalitet end tilsvarende materialer fra kildesortering/kildeopdeling. Hvis en tilsvarende kvalitet skal opnås baseret på eftersortering, så kræver dette øget oparbejdning, hvilket medfører øget ressourceforbrug og øget materialetab under oparbejdningen. Samlet set er dokumentationen for udsortering af genanvendelige materialer fra restaffald mangelfuld, ligesom afsætningsmulighederne og den reelle genanvendelse af de udsorterede materialer stort set er ubeskrevet.

6.2.8 Åbne spørgsmål

For at kunne vurdere og modellere miljøeffekten fra hhv. kildesortering/kildeopdeling og eftersortering af restaffald er det helt afgørende at fremskaffe viden omkring følgende aspekter omkring materialernes kvalitet, da der i dag ikke er tilstrækkelig dokumentation for fraktioner udsorteret fra restaffald:

- Hvordan vil renhed og udsorteringsgrad for materialefraktioner i restaffald tilført eftersortering og videre oparbejdning til genanvendelige råmaterialer se ud baseret på gennemsnitlige massebalancer for anlæggene?
- Hvordan vil afsætningen af de udsorterede plastfraktioner foregå?
- Hvilke plastfraktioner sendes til genanvendelse, og hvilke plastfraktioner, fx mixed plast eller film, sendes til energiudnyttelse evt. som sekundært affald?
- Hvilken kvalitet oparbejdes de udsorterede plastfraktioner til ved genanvendelse, og hvilke produkter bliver rent faktisk produceret på basis af den oparbejdede plast?
- Hvilken anden produktion (og produkter) erstatter pladen reelt?
- Mindskes det samlede materialeforbrug til produktion af nye produkter, eller skabes der reelt et nyt marked baseret på de udsorterede plastfraktioner?

6.3 Interviews

I nedenstående delafsnit beskrives hovedpunkter fra interviews med sorteringsanlæg. Udfyldte interviewguides er vedlagt i Bilag 4.

6.3.1 Attero

Atteros sorteringsanlæg er beliggende i Wijster, Holland, hvor der dels er et anlæg til udsortering af restaffald og dels et anlæg til sortering af plastikaffald i polymerer. Anlægget kan sortere 750.000 tons affald/år.

Virksomheden udsorterer metaller fra restaffald med brug af magnetseparering og eddy current anlæg til at udsortere metaller (jernholdige og ikke-jernholdige). Desuden udsorteres metaller fra restprodukter fra affaldsforbrænding (separat proces).

Ifølge virksomheden, udsorteres estimeret 95% af metaller fra restaffaldet med brug af anvendte metoder. Eddy current angives som en effektiv sorteringsmetode, hvor de frasorterede metaller dog har et vist indhold af andre materialer (Bilag 4).

Plastikaffald sorteres med brug af ballistisk separation og nær-infrarød (NIR) detektion. Virksomheden angiver, at det er muligt for anlægget at udsortere ca. 30% af input for blød plastik og ca. 50% af input for hård plastik, men at anlægget pt. udsorterer hhv. 15% og 35% af blød og hård plastik (output/input) (Bilag 4). Sorteringen er til dels finansieret af producentansvarordning for emballageaffald. Virksomheden angiver prøvetagning, analyser af affaldssammensætning, analyser af materialestrømme i anlægget og massebalancer som metoder, der anvendes til bestemmelse af anlæggets sorterings effektiviteter. Til sammenligning er der anvendt hhv. 46,8% og 58,5% sorterings effektiviteter i scenarie 3b i Miljøprojekt 2059 (Miljøstyrelsen, 2019).

Virksomheden angiver en række tekniske forhold, der vil kunne øge udsorteringen eller forbedre kvaliteten:

- Flere sorteringstrin
- Lavere materialeflow gennem systemet
- Løbende teknisk optimering af sorteringsprocesserne

Endeligt nævnes produkt design som mulighed for øget genanvendelse. Nogle plastikprodukter er lavet af blandede polymerer, hvilket skaber kontaminering af materialer til genanvendelse (Bilag 4).

6.3.2 Omrin

Omrins anlæg i Heerenveen, Holland udsorterer metal og plastik fra restaffald indsamlet ved husstande fra et opland hvor der desuden anvendes kildesortering for madaffald, glas, papir, tekstiler, kemikalieaffald og storskrald. Anlægget har en behandlingskapacitet for 230.000 tons affald/år.

Anlægget anvender en række sorteringsteknologier – herunder tromlesigter, vindsigte, cyklon, magnetisk separation, eddy current separation, NIR og røntgen. Ud over frasortering af metal og plastik til genanvendelse, frasorteres fødevarekartoner, inert materiale, organisk materiale (til biogas) og folier.

Virksomheden udsorterer metaller fra restaffald med brug af magnetseparering og eddy current anlæg til at udsortere metaller (jernholdige og ikke-jernholdige). Metaller afsættes til mellemhandlere med henblik på genanvendelse.

Plastikaffald sorteres med brug af NIR-teknologi. De forskellige plasttyper afsættes til forskellige aftagere, hvor virksomheden nævner at en del af plastikaffaldet anvendes af IKEA til møbelproduktion.

Indhold af urenheder i de frasorterede materialer nævnes som især styret af specifikationer, der er defineret i det tyske DKR-system (DKR: Deutsche Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe mbH), hvor der angives maksimale indhold af urenheder målt på vægtbasis for forskellige materialer. Virksomheden har undergået en løbende udvikling, hvor et stigende antal af materialer frasorteres med henblik på genanvendelse, og hvor sorteringsprocesserne optimeres med henblik på opfyldelse af DKR-specifikationer.

Virksomheden registrerer mængden af affald der behandles, samt mængder af de forskellige materialer der udsorteres til genanvendelse eller anden behandling. Det er ikke ud fra disse

registreringer muligt at beregne sorteringseffektiviteter for de enkelte materialer, der indsamles i restaffaldet.

Virksomheden har dog fremsendt en oversigt over hvor meget materiale, der udsorteres fra restaffaldet (se Bilag 4). Af den fremgår det at anlægget udsorterer 6 kg metal/person/år og 16 kg plastik/person/år. Til sammenligning sendes 120 kg/person/år til affaldsforbrænding.

6.3.3 Roaf

Roaf (Romerike Avfallsforedling) udsorterer genanvendelige materialer fra restaffald indsamlet ved husstande på deres anlæg beliggende i Skedsmo, Norge. I modsætning til de to øvrige interviewede anlæg, indsamles madaffald kildeopdelt med restaffaldet i grønne poser, der fraserter på Roaf med henblik på genanvendelse. Virksomheden har kapacitet til at behandle 75.000 tons affald/år.

Virksomheden bruger NIR, tromlesigte, vindsigte, eddy current sortering og magnetisk sortering. Ud over sortering af metal og plastik til genanvendelse udsorterer virksomheden poserne med madaffald samt rest papir og pap. Plastikaffald sorteres i fem kategorier: PET, PP, LDPE, HDPE og blandet plastik med brug af NIR. Metalaffald (magnetisk og ikke magnetisk) udsorteres med brug af hhv. overbåndsmagnet og eddy current sortering.

Virksomheden angiver at forurening af metal og plastik af andre fraktioner (herunder madaffald) kan være årsag til materialetab i processen, uden at kunne angive tabets omfang. Dog vurderer virksomheden, at manglende marked for plastikaffald er af væsentlig større betydning.

Renheden af de frasorterede materialer angives som 96% (svarende til indhold af urenheder på 4%), eller bedre for de forskellige fraktioner. Roaf sender prøvelæs til potentielle aftagere ved indgåelse af aftaler. Plastik- og metalaffald afsættes til oparbejdere i Tyskland og Holland.

Roaf er ikke i besiddelse af præcise tal for sorteringseffektiviteter på materialeniveau - fx præcist hvor stor andel af den plast i modtaget restaffald der udsorteres. Der haves dog indikationer, der kan give et billede af anlæggets effektivitet. Her nævner virksomheden at der ud fra statistik om forbrug må forventes ca. 25 kg plastikaffald/person/år der kan sammenlignes med, at Roaf udsorterer 17 kg plastikaffald/person/år.

6.4 Følsomhedsanalyse

Udgangspunkt for følsomhedsanalysen er som beskrevet i afsnit 5.5 miljøvurderingen i Miljøprojekt 2059 (Miljøstyrelsen, 2019). Der tages i udgangspunkt i et opland bestående af 100.000 etageboliger og 150.000 én-familieboliger, hvorfra der husstandsindsamles en samlet affaldsmængde på ca. 147.000 ton/år, hvoraf ca. 12.000 ton/år er plastaffald. Mængder og sammensætning (affaldspotentialer) fremgår af Tabel 3:

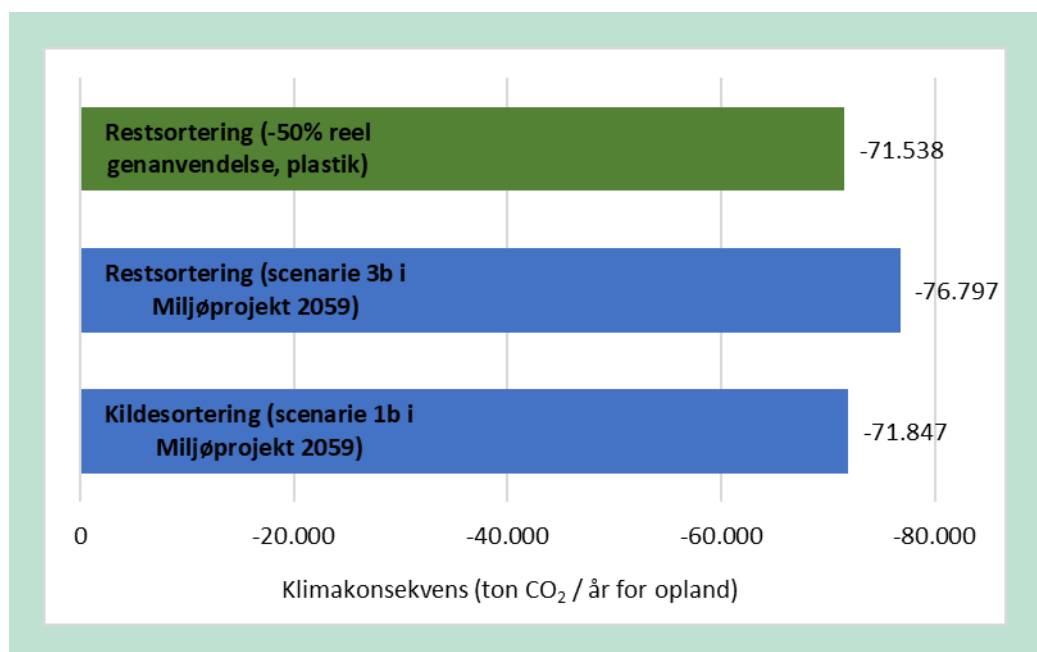
I scenarie 3b anvendes der følgende sorteringseffektiviteter for restsorteringsanlægget: 58,5% for PP, PET og HDPE samt 46,8% for LDPE. Med en gennemsnitlig sorteringseffektivitet på 53,5% udsorteres der her fra det centrale sorteringsanlæg 6.416 ton/år plastaffald (alle typer) til genanvendelse.

I følsomhedsanalysen regnes der på scenariet, at kun ca. halvdelen af denne plasmængde reelt genanvendes og dermed erstatter jomfruelig plast. Under antagelse af en emissionsfaktor på i gennemsnit -1,64 kg CO₂-ækv./kg for genanvendelse af de forskellige typer af plastikaffald, beregnes klimakonsekvens af 50% reducerede genanvendelse af plastik (~3.200 ton/år) til -5.251 ton CO₂-ækv./år.

TABEL 3. Mængder og sammensætning af plastaffald i opland (Miljøstyrelsen, 2019).

Plasttype	Andel af samlet mængde plastaffald	Mængde (ton/år) (affaldspotentiale)
PP	16%	1.920
PET	10%	1.200
HDPE	8%	960
LDPE	43%	5.160
PS + øvrige	23%	2.760
Alle	100%	12.000

Figur 2 illustrerer klimakonsekvens af reduceret reel genanvendelse af plastikaffald, hvor der sammenlignes med scenarie 3b (restsortering) og scenarie 1b (kildesortering) fra Miljøprojekt 2059. Som det ses på figuren, bliver klimakonsekvens ved restsortering mindre fordelagtig, hvis 50% af plastaffald ikke reelt genanvendes, hvor den samlede klimakonsekvens er ca. lig kildesorteringsscenarioet (scenarie 1b i Miljøprojekt 2059).



FIGUR 2. Klimakonsekvenser for et opland bestående af 250.000 husstande. Blå søjler angiver de to scenarier fra Miljøprojekt 2059 (Miljøstyrelsen, 2019), der sammenlignes med i denne analyse, mens den grønne søjle angiver her beregnet konsekvens af -50% reel genanvendelse af plastikaffald.

Hertil bør nævnes, at beregningen af klimakonsekvens, som angivet her, kan anses som "worst case" på flere planer. For det første er der antaget, at en ret stor del af den udsorterede plast ikke kan genanvendes (50%). For det andet er der i beregningen indirekte forudsat, at alternativ anvendelse af den udsorterede, ikke-genanvendte plast har en netto effekt ift. drivhusgasser på 0.

Plast udgør ifølge forudsætningerne anvendt i Miljøprojekt 2059 8,1% af det husholdningsaffald. Hvis andelen af reel genanvendelse af det centralt udsorterede plast kun er 50% som forudsat i følsomhedsanalysen, vil dette resultere i en reduktion på den samlede genanvendelse (al husholdningsaffald) på 2,2%.

Der bemærkes, at der ikke, blandt de adspurgte eksperter, er fundet konsensus omkring usikkerheden omkring andel af reel genanvendelse af plastik fra centrale sorteringsanlæg (afsnit 6.1). De studier, der foreligger på området, tolkes af nogle til at udgøre tilstrækkelig dokumentation for, at der kan opnås en høj andel af genanvendelse, mens andre tolker foreliggende undersøgelser som, at der fortsat er risiko for lav reel genanvendelse.

At der i nærværende projekt er udført en følsomhedsanalyse, hvor der undersøges effekt af lav reel genanvendelse skal ikke ses som en stillingtagen til, om andel af reel genanvendelse fra centrale sorteringsanlæg kan forventes høj eller ej, men en (indledende) undersøgelse af miljøeffekten ved en lav reel genanvendelse.

7. Opsamling og vurdering

I dette afsnit diskuteres resultater af projektets del-analyser (litteraturstudie, workshop med universiteter, interview og følsomhedsanalyse). Dette gøres med henblik på at præsentere, den viden der er indsamlet i projektet inklusive de usikkerheder der fortsat eksisterer i forhold til vurdering af indsamling af metal og plastik (blød og hård) som en del af restaffaldet med henblik på eftersortering og genanvendelse. Der er i projektet fokuseret på at undersøge eksisterende viden omkring forudsætninger om sorteringseffektiviteter og kvalitet af udsorterede materialer.

Ud fra litteraturstudie, workshop med universiteter og interview med sorteringsanlæg kan det konkluderes, at der er stor forskel på de problematikker der gælder for henholdsvis central udsortering af metalaffald og central udsortering af plastikaffald (blød og hård). Disse to fraktioner behandles derfor i hvert deres afsnit nedenfor.

7.1 Metalaffald

Udsortering af metalaffald fra restaffald kan gøres med en relativt høj sorteringseffektivitet, der dog vurderes lavere sammenlignet med sortering hos borgeren. Komprimering af restaffaldet gør, at der vil være rester af andet affald, der ikke let kan fjernes fra metallerne ved mekanisk sortering. Kvaliteten af det separat indsamlede metal vurderes derfor højere ved separat indsamling.

Der er i dette projekt ikke fundet anledning til at antage ændring af de sorteringseffektiviteter, der er regnet med for metal i Miljøprojekt 2059 (scenarie 3b). Der regnes i Miljøprojekt 2059 med en sorteringseffektivitet for central sortering på netto 76,5% for jern og aluminium, hvilket er lavere end resultat af interview med sorteringsanlæg (Attero), men højere sammenlignet med nogle af de studier, der er omfattet af litteraturstudiet (Tabel 2). Hertil bør nævnes, at der ikke er entydighed omkring metode for måling af sorteringseffektivitet, hvormed de forskellige procentværdier ikke nødvendigvis er helt sammenlignelige.

7.2 Plastikaffald (blød og hård)

Med hensyn til plastikaffald (blød og hård) er det fundet vanskeligt på baggrund af eksisterende viden at vurdere, med hvilken sorteringseffektivitet denne affaldsfraktion må forventes at kunne udsorteres, og i hvor høj grad den udsorterede plastik fra central sortering er af en kvalitet, der er egnet til genanvendelse. Hertil noteres det, at ledende eksperter på området tolker resultater af studier på området noget forskelligt i forhold til at vurdere, om nuværende viden er nok til at anbefale indsamling af restaffald ift. kildesortering (se evt. afsnit 6.1 og Bilag 1).

Et af tre interviewede anlæg (Attero) oplyste, at deres anlæg var i stand til at udsortere 30% blød plastik og 52% af den hårde plastik, hvoraf ca. 19 ud af 20 baller sorteret plastik pt. overholder aftageres krav til indhold af urenheder. Disse tal er noget lavere end hvad der er forudsat i for restsorteringsanlæg + finsortering i Miljøprojekt 2059 (hhv. 46,8% og 58,5%), men det er uklart hvorvidt de oplyste sorteringseffektiviteter er helt sammenlignelige med beregningsforudsætningerne i Miljøprojekt 2059. De to andre interviewede anlæg havde ikke tilsvarende tal for sorteringseffektivitet

Der er i litteraturstudiet peget på en række åbne spørgsmål omkring plastikaffald – herunder spørgsmål omkring hvilken anvendelse udsorteret plastik fra centrale sorteringsanlæg p.t. finder sted (hvor meget til reel genanvendelse? hvor meget som sekundært affald? hvor meget til energiudnyttelse?)

Et formål med analysen i denne rapport har været at afdække eksisterende viden omkring udsortering af plastik fra restaffald for at kunne sammenligne indsamling med restaffaldet med kildesortering. Overordnet må der konkluderes, at viden og tolkninger peger i flere retninger i forhold til spørgsmålet, hvorfor stillingtagen til at satse på indsamling af plastikaffald med restaffaldet vurderes at skulle bygges på yderligere driftsanalyser af materialetab gennem hele indsamlings- og behandlingssystemet for forskellige systemer og anlæg. Hvis analyserne skal kunne belyse området yderligere, er det vigtigt, at de er sammenlignelige. Derfor er der behov for at der udarbejdes en stringent og velbeskreven målemetode, som kan bruges ved målinger på forskellige anlæg. For at kunne vurdere miljøeffekten af udsortering og genanvendelse af plastik fra restaffald er der herudover også brug for kunne estimere kvaliteten af de materialer som genanvendes, Derfor er der også behov for at få udarbejdet en metodik for at bestemme kvaliteten af det udsorterede affald.

Følsomhedsanalysen viser, at en halvering af den reelle genanvendelse af plastik ved central sortering vil medføre, at den klimafordel, der blev fundet i Miljøprojekt 2059, sammenlignet med kildesortering ikke vil opnås. Hertil skal nævnes, at der i Miljøprojekt 2059 regnes med en større udsortering af plastikaffald ved restsortering sammenlignet med kildesortering, og at plastik udsorteret fra restaffald er lige så velegnet til genanvendelse som plastik fra kildesortering, hvilket der som beskrevet ikke er enighed om hos eksperter på området.

8. Referencer

- Ardolino, F., Berto, C., Arena, U., 2017. Environmental performance of different configurations of a material recovery facility in a life cycle perspective. *Waste Management*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.039>
- Bisinella, V., Götze, R., Conradsen, K., Damgaard, A., Christensen, T.H., Astrup, T.F., 2017. Importance of waste composition for Life Cycle Assessment of waste management solutions. *Journal of Cleaner Production*. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.013>
- Brouwer, M.T., van Velzen, E.U.T., Augustinus, A., Soethoudt, H., De Meester, S., Ragaert, K., 2017. Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system. *Waste Management Research*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034>
- Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., Wenzel, H., 2015. Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management*. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479715001553>
- Dahlen, L., Lagerkvist, A., 2008. Methods for household waste composition studies. *Waste Management*, 28, 7, 1100-1112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.014>
- EC (European Commission), 2018. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Communication of 16.01.2018. Brussels.
- Edjabou, M.E., Jensen, M.B., Götze, R., Pivnenko, K., Petersen, C., Scheutz, C., Astrup, T.F., 2015. Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation. *Waste Management*. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.009>
- Edjabou, M.E., Boldrin, A., Astrup, T.F., 2018. Compositional analysis of seasonal variation in Danish residual household waste. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11>
- Eriksen, M.K., Damgaard, A., Boldrin, A., Astrup, T.F., 2018a. Quality assessment and circularity potential of recovery systems for household plastic waste. *Journal of Industrial Ecology*. <http://doi.org/10.1111/jiec.12822>
- Eriksen, M.K., Pivnenko, K., Olsson, M.E., Astrup, T.F., 2018b. Contamination in plastic recycling: Influence of metals on the quality of reprocessed plastic. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.007>
- Eriksen, M.K., Astrup, T.F., 2019. Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.006>
- Faraca, G., Martinez-Sanchez, V., Astrup, T., 2019a. Environmental life cycle cost assesment: Recycling of hard plastic waste collected at Danish recycling centres. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://www.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.014>
- Faraca, G., Edjabou, V.M., Boldrin, A., Astrup, T.F., 2019b. Combustible waste collected at Danish recycling centres: Characterisation, recycling potentials and contribution to environmental savings. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.007>
- Faraca, G., Boldrin, A., Astrup, T.F., 2019c. Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.005>

- Faraca, G., Tonini, D., Astrup, T.F., 2019d. Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilisation of wood waste. *Science of the Total Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.136>
- Feil, A., Prezt, T., Jansen, M., van Velzen, E.U.T., 2017. Separate collection of plastic waste, better than technical sorting from municipal solid waste? *Waste Management and Research*.
<http://doi.org/10.1177/0734242X16654978>
- GBB (Gershman, Brickner and Bratton, Inc.), 2015. The Evolution of Mixed Waste Processing Facilities 1970-Today. Prepared for The American Chemistry Council.
- Götze, R., Pivnenko, K., Boldrin, A., Scheutz, C., Astrup, T.F., 2016. Physico-chemical characterisation of material fractions in residual and source-segregated household waste in Denmark. *Waste Management*. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.009>
- Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E., 2009. Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical transactions of the royal society B: Biological science*.
<http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Jaunich, M.K., Levis, J.W., Decarolis, J.F., Barlaz, M.A., Ranjithan, S.R., 2019. Solid Waste Management Policy Implications on Waste Process Choices and Systemwide Cost and Greenhouse Gas Performance. *Environmental Science and Technology*.
<http://doi.org/10.1021/acs.est.8b04589>
- Luijsterburg, B., Goossens, H., 2014. Assessment of plastic packaging waste: Material origin, methods, properties. *Resources, Conservation and Recycling*. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.010>
- Miljøstyrelsen, 2019. På vej – Mod øget genanvendelse af husholdningsaffald (livscyklusvurdering og samfundsøkonomisk konsekvensvurdering. COWI og DTU for Miljøstyrelsen. Miljøprojekt 2059
- Petersen, C., Mayland, C., 2015. Genanvendeligt affald i indsamlet dagrenovation - Vurdering af materialernes egnethed til genanvendelse Miljøprojekt. Miljøprojekt nr. 1733. Miljøstyrelsen.
- Pivnenko, K., Astrup, T.F., 2016. The challenge of chemicals in material lifecycles. *Waste Management*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.016>
- Pivnenko, K., Laner, D., Astrup, T.F., 2016a. Material Cycles and Chemicals: Dynamic Material Flow Analysis of Contaminants in Paper Recycling. *Environmental Science & Technology*.
<http://doi.org/10.1021/acs.est.6b01791>
- Pivnenko, K., Eriksen, M.K., Martín-Fernández, J.A., Eriksson, E., Astrup, T.F., 2016b. Re-cycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry. *Waste Management*. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.014>
- Pivnenko, K., Granby, K., Eriksson, E., Astrup, T.F., 2017. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs). *Waste Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.038>
- Plastic Zero, 2014. Comparative assessment of five tested sorting technologies. Plastic Zero. LIFE10 ENV/DK/000098. http://www.plastic-zero.com/media/60120/4_4_comparative_assessment_of_the_tested_technologies_august_2014_final.pdf
- Resource Association, 2019. Recycling Quality Specifications [hjemmeside]. <https://resource-association.com/recycling-quality-specifications#plasticbottles> [21/06/2019]
- Sfeir, H., Reinhart, D.R., McCauley-Bell, P.R., 1999) An Evaluation of Municipal Solid Waste Composition Bias Sources, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49:9, 1096-1102, DOI: 10.1080/10473289.1999.10463903

- Shonfield, P., 2008. LCA of management options for mixed waste plastic. WRAP Waste Resource Action Programme, London.
<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/LCA%20of%20Management%20Options%20for%20Mixed%20Waste%20Plastics.pdf>
- Sweco, 2016. Plastkortlægning. Teknisk notat udarbejdet af Christina Halck og Birgitte Fjeldberg. Sweco Danmark A/S. Glostrup. Danmark.
- Vadenbo, C., Hellweg, S., Astrup, T. F. 2016. Let's be clear(er) about substitution – a reporting framework to account for product displacement in Life Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology*. <http://doi.org/10.1111/jiec.12519>
- Van Eygen, E., Laner, D., Fellner, J., 2018. Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.040>
- Villanueva, A., Eder, P., 2014. End-of-Waste Criteria for waste plastic for conversion. JRC, European Union. <http://doi.org/10.2791/13033>
- Zink, R., Geyer, R., 2017. Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*. <http://doi.org/10.1111/jiec.12545>

9. Bilagsliste

Bilag 1: Referat af workshop med universiteter

Bilag 2: Notat af SDU i forbindelse med workshop

Bilag 3: Notat af DTU i forbindelse med workshop

Bilag 4: Interviews

Bilag 1. Referat af workshop med universiteter

EFTERSORTERING AF RESTAFFALD REFERAT AF WORKSHOP AFHOLDT MED UNIVERSITETER

Projekt navn	Analyse af eftersortering af restaffald og kildeopdelt metal, glas og plastik
Projekt nr.	1100038843
Modtager	Monica Nielsen, Miljøstyrelsen
Dokumenttype	Referat
Version	1.0
Dato	31-07-2019
Udarbejdet af	AMFR
Kontrolleret af	LOA
Godkendt af	[Navn]
Beskrivelse	Referat af workshop afholdt 26. juni 2019 om udsortering af fraktionerne metal og plastik (hård og blød) fra restaffald

INDHOLD

1.	Formål, oplæg til workshop og deltagere	34
2.	Program for workshop	35
3.	Referat af workshop	36
3.1	Baggrund for opgaven	36
3.2	Oplæg til workshoppen	36
3.3	Oplæg af AAU og diskussion	36
3.4	Oplæg af SDU og diskussion	37
3.5	Oplæg af DTU og diskussion	38
3.6	Opsamling	38

1. Formål, oplæg til workshop og deltagere

På baggrund af scenarie 3b fremsat i Miljøprojekt 2059 har Miljøstyrelsen igangsat arbejde for at undersøge muligheder for at indsamle plastik- og metalaffald som en del af restaffaldet med efterfølgende sortering af restaffaldet for at udsortere og genanvende plastik- og metalaffald.

Som en del af undersøgelsen er der blevet afholdt en workshop med forskere fra danske universiteter, der har arbejdet med emnet – herunder med miljøvurderinger/LCA af anlæg til eftersortering af restaffald. Formålet med denne workshop var at afdække eksisterende viden om eftersortering – herunder mængden af reel genanvendelse, kvaliteten af procesoutputtet samt miljøeffekterne ved eftersortering af restaffald sammenlignet med fx kildesortering.

Inden afholdelse af workshoppen, var der udsendt følgende oplæg:

På vegne af Miljøstyrelsen inviteres I hermed til workshop med titlen "Eftersortering af restaffald", som afholdes i forbindelse med projektet "Analyse af eftersortering af restaffald og kildeopdelt metal, glas og plastik". Det overordnede formål med denne workshop er at undersøge eksisterende viden omkring de

miljømæssige effekter ved udsortering af affaldsfraktionerne metal og plastik (blød og hård) sammenlignet med at indsamle disse fraktioner kildesorteret.

På baggrund af scenarie 3b fremsat i Miljøprojekt 2059, er der fundet behov for at nærmere undersøge potentialer i indsamling af plastik- og metalaffald som en del af restaffaldet med henblik på senere udsortering og genanvendelse disse affaldstyper. Som det beskrives i rapporten, er robot-sortering af affald et område, der undergår stor udvikling. Denne udvikling kan have stor betydning i forhold til sammenligningen af de miljømæssige effekter af kildesortering af plastik- og metalaffald og kildesortering.

På workshoppen vil hovedfokus være den samlede miljømæssige effekt ved at indsamle plastik og metal som en del af restaffaldet frem for at kildesortere disse to fraktioner, herunder bl.a. mængden af reel genanvendelse samt kvaliteten af outputtet fra eftersortering. Spørgsmål i den forbindelse omfatter blandt andet:

- Hvilke parametre er særligt vigtige at undersøge videre, i forhold til miljøvurdering af sorteringsanlæg til restaffald sammenlignet med LCA i Miljøprojekt 2059?*
- Hvilken udvikling ser vi i øjeblikket i forhold til mængder og kvalitet i genanvendelsen af plastik- og metalaffald fra disse sorteringsanlæg til restaffald?*
- I hvor høj grad kan erfaringer fra fx norske og hollandske anlæg bruges, givet de forskelle i indsamlingsordninger der er i forhold til en dansk kontekst?*
- Hvad kan der gøres, for at indsamle den viden, der evt. må mangle?*
- Hvordan er kvaliteten og muligheder for genanvendelse af plast fra udsortering fra restaffald?*

Deltagere på workshoppen opfordres til at præsentere egne undersøgelser, data og vurderinger relateret til problemstillingen. Der vil være mulighed for brug af projektor.

Efter aftale med Miljøstyrelsen, var der inviteret deltagere fra hhv. Syddansk Universitet (SDU): SDU Livscykluscenter, Danmarks Tekniske Universitet (DTU): Institut for Vand- og Miljøteknologi og Aalborg Universitet (AAU): Center for Design, Innovation og Bæredygtig Omstilling. Alle inviterede universiteter deltog. SDU havde inden workshop fremsendt notat, der opsummerede deres viden, tidligere analyser mm. relateret til problemstillingen, og DTU uddelte på workshoppen et notat om forudsætninger for miljøvurdering mm.

Workshoppen blev afholdt d. 26. juni 2019 med deltagelse af følgende personer:

AAU: Arne Remmen

DTU: Thomas Fruergaard Astrup, Anders Damgaard & Marie Kampmann Eriksen

SDU: Henrik Wenzel & Ciprian Cimpan

Miljøstyrelsen: Anne Stine Henriksen, Monica Nielsen & Mathias Benediktson

Rambøll: Marianne Bigum & Anders M. Fredenslund

2. Program for workshop

Følgende dagsorden var udsendt for workshoppen:

13:00 – 13:05 Velkomst, v. Rambøll

13:05 – 13:15 Baggrund for opgaven, v. Miljøstyrelsen

13:15 – 13:30 Oplæg til workshoppen, v. Rambøll

13:30 – 14:15 Workshop, ordstyrer: Rambøll

14:15 – 14:30 Pause

14:30 – 15:40 Workshop, fortsat

15:40 – 16:00 Opsamling, v. Rambøll

Workshop blev afholdt således, at hvert deltagende universitet præsenterede egne undersøgelser, data og vurderinger relateret til problemstillingen, mens der var mulighed for de øvrige deltagere at stille afklarende spørgsmål. Dette gav anledning til diskussion undervejs, hvor forskellige delemner blev vendt.

Efter præsentationsrunde/diskussion blev der opsummeret og diskuteret afsluttende.

3. Referat af workshop

3.1 Baggrund for opgaven

Miljøstyrelsen gennemgik baggrund for opgaven. Der er i EU's nye Affaldsrammedirektiv sat krav til, at en del af de husstandsindsamlede fraktioner indsamles særskilt, hvilket juridisk tolkes som kildesortering af affald. Undtagelse for dette kræver dispensation, der igen vil kræve dokumentation for, at en evt. alternativ indsamlingsmetode vil kunne gennemføres under opfyldelse af en række betingelser. Indsamling af plastik- og metalaffald som en del af restaffaldet med efterfølgende udsortering og genanvendelse fremstår jf. LCA-resultater for scenarie 3b i Miljøprojekt 2059 som en interessant mulighed ud fra et miljømæssigt perspektiv. Samme rapport angiver dog, at der er usikkerhed omkring de anvendte forudsætninger for analysen.

Miljøstyrelsen ønsker at undersøge muligheden for udsortering af nævnte affaldsfraktioner fra restaffald, hvor det aktuelle projekt er en start.

De nye genanvendelsesmål blev diskuteret i forbindelse med Miljøstyrelsens gennemgang af baggrunden for opgaven. Der blev af SDU herunder spurgt til, om Miljøstyrelsen mener, at de nye krav til genanvendelsesprocenter vil kunne opnås uden eftersortering, hvortil Miljøstyrelsen svarede, at dette ikke vides for nuværende. Der blev i denne sammenhæng af AAU nævnt, at retningslinjer for indsamlingsordninger gerne skal hjælpe med at nå målsætninger for genanvendelse, idet der nok er flere veje til at nå målsætningerne.

Der blev af SDU nævnt, at økonomien i eftersorteringsanlæg forringes signifikant ved forudgående kildesortering. Dette kan være u hensigtsmæssigt, hvis en forudgående kildesortering ikke bidrager til øgede mængder eller bedre kvalitet ift. blot at tage det hele i en eftersortering. Især vigtigt, at der ikke politisk nødvendiggøres en sådan meromkostning, hvis der ikke er miljø/klimamæssigt belæg for den. Det er vigtigt for nærværende problemstilling at holde for øje, om kommende mål for genanvendelse på 65% kan nås uden eftersortering, hvilket de fleste kommuner SDU har været i kontakt med mener ikke kan lade sig gøre.

3.2 Oplæg til workshoppen

Rambøll gennemgik program for workshoppen (se evt. afsnit 2). Der blev desuden beskrevet, hvordan problematikken ville undersøges yderligere i nærværende projekt, bestående i indsamling af relevant viden (videnskabelig litteratur), gennemførelse af interviews med sorteringsanlæg samt følsomhedsanalyse på centrale antagelser.

Rambøll forklarede, at der var valgt at interviewe anlæg til udsortering af restaffald, der sorterer på affald, der mest muligt ligner, hvad der vil være relevant i en dansk kontekst – hvilket særligt vil sige anlæg, hvor madaffald indsamles kildesorteret.

3.3 Oplæg af AAU og diskussion

AAU præsenterede deres arbejde med kortlægning af praksisser for sortering og mulighed for forbedringer i forhold til kvalitet. Dette arbejde udføres i samarbejde med PlanMiljø og Plastindustrien.

Et andet AAU-projekt, der relaterer til workshoppens emner, er en regional massestrømsanalyse under initiativet "Det Cirkulære Nordjylland", der skal kvalificere indsatsene omkring cirkulær økonomi i denne region. Læring fra dette arbejde er blandt andet, at meget store mængder plastik i den samlede affaldsproduktion p.t. ikke registreres som plast, men som fx byggeaffald. Rapporten om massestrømsanalyserne er udført, men er endnu ikke offentliggjort.

Arbejdet viser, at plastaffald, der er indsamlet i parcelhuskvarterer, lejlighedskvarterer og serviceerhvervsområder, indeholder en del urenheder. Når madaffald og andre urenheder vaskes væk, er der ca. halvdelen af massen tilbage til genanvendelse. Der er blandt deltagere i det nordjyske initiativ generel enighed om, at glas udgør et problem i forhold til genanvendelse af fx plast.

3.4 Oplæg af SDU og diskussion

SDU havde forinden workshop fremsendt et notat om forudsætninger for miljøvurderinger. Pointer og viden beskrevet i notatet præsenteres kun kort i dette referat, hvorfor der henvises til notatet, som er vedlagt i bilag. Indledningsvis præsenterede SDU "Vision for et cirkulært plast system". I denne vision for et muligt fremtidigt system for genanvendelse af plast skelnes mellem høj-, mellem- og lavkvalitetsplast, der har hver deres metode for genanvendelse. Høj-kvalitetsplast er fx fødevareplast, der fx kan indsamles i et retursystem såsom Dansk Retursystem. Pantordninger er en mulighed til at bevare værdien af høj-kvalitetsplast. Fødevareplast skal indsamles separat for at kunne blive til ny fødevareplast. Mellem-kvalitetsplast og lav-kvalitetsplast er kategorier af plastaffald, hvor førstnævnte (forenklet beskrevet) kan gøres egnet til genanvendelse ved en polymersortering efterfulgt af vask og granulering, mens sidstnævnte kræver kemisk genindvinding. Virkeligheden vil nok nærmere være et mere komplekst samspil mellem den kvalitet, som mekanisk genvinding kan levere og de kvalitetskrav, som diverse anvendelser kræver – og her kommer kemisk genvinding samt CO₂ fangst og elektroplast ind som muligheder for en bæredygtig upcycling. Denne model for plast genindvinding er et resultat af backcasting, hvor der er opstillet et overordnet system for plast (både produktion og genanvendelse – begge med brug af nuværende teknologier og teknologier under udvikling), og der identificeres en vej fra nuværende systemer til det opstillede system.

SDU pointerede, at "grønne input" i kemiske systemer til masseproduktion giver et langt større markedstræk sammenlignet med genanvendelse hos små producenter med nicheprodukter. Eksempelvist det at fremstille en kemisk genvundet 'crude oil' ud fra plast skrot/affald og så anvende denne som råvare i en konventionel kemisk plast produktion.

SDU fremlagde en præsentation med titlen "Status for post-sorting (central sorting) in the context of new EU recycling targets". Udvalgte punkter fra denne præsentation:

- Under nuværende regler, er genanvendelse af plast til produkter der er i kontakt med fødevarer kun mulig ved separat indsamling (eksempel PET "flaske-til-flaske")
- Forsøg i Norge og Sverige viser, at kildesortering alene ikke vil kunne nå målsætning om 55% genanvendelse af plastaffald
- Eftersortering i Holland og Norge modtager finansiering af producentansvarsordninger
- Oparbejdningssleddet er p.t. flaskehals for genanvendelse af plastaffald
- Norge har vedtaget et mål på 70% genanvendelse af plast i 2035, hvor eftersortering er en del af strategien for at nå målet. To anlæg (ROAF og IVAR) med udsortering af plastaffald fremhævedes. Flere anlæg planlægges
- Holland har haft eftersortering siden 2010 (6 anlæg p.t.). Dele af Holland kildesorterer plast
- Der vurderedes, at der findes både norske og hollandske anlæg, der modtager affald med sammensætning, der minder om danske forhold. Omrins anlæg i Heerenveen (Holland) og

Atteros anlæg i Almaar og Wijster (Holland) er eksempler på sorteringsanlæg der behandler affald, hvor madaffald kildesorteres

- Det er teknisk muligt at frasortere op til ca. 80% af plastikaffald fra restaffald, hvis madaffald kildesorteres og der anvendes højteknologisk sortering. Endnu bedre genanvendelse er mulig med krav til plastproducenter (fx mindre brug af sort plastik og brug af færre polymerer)

Data fra anlæg på fx kvalitet af frasorterede materialer blev diskuteret. DTU påpegede, at materialetab i processerne meget ofte ikke fremgår af de data anlæggene rapporterer, hvilket er en stor udfordring ift. miljøvurderingerne.

3.5 Oplæg af DTU og diskussion

DTU uddelte på workshoppen et notat omkring forudsætninger for miljøvurdering samt udsorterings- og genanvendelsesrater for plast. Som for SDU henvises der her til notatet for uddybning.

DTU fremlagde blandt andet erfaringer gjort i forbindelse med udarbejdelse af miljøvurderingerne i Miljøprojekt 2059 samt projektets resultater ift. scenarie 3b. Der blev pointeret, der er væsentlige usikkerheder på centrale parametre i anvendt i miljøvurderingerne, hvilket også er forklaret i rapporten. DTU forklarede, at restaffaldets sammensætning har stor betydning for sorteringseffektiviteten af anlæggene, hvor indhold af våde affaldstyper som madaffald komplicerer sorteringen. Supplerende kildesortering/kildeopdeling påvirker sorteringseffektiviteten.

Som det beskrives i DTU's notat, er en "fuld massebalance for hver materialefraktion gennem hele systemet er afgørende for dokumentation af en genanvendelsesproces". Det blev af DTU beskrevet som problematisk, at bruge data fra de forskellige led i værdikæden fra separate undersøgelser (fx data om sorteringseffektivitet fra et opland brugt sammen med data for materialekvalitet fra sorteringsanlæg med et andet opland).

Der var blandt de deltagende forskere delte meninger vedrørende egnethed af udsortering af særligt plastik affald fra restaffald som strategi for at sikre en høj grad af genanvendelse og kvalitet i genanvendelsen kontra at indsamle affaldet kildesorteret. DTU pointerede, at den plast, der kan udsorteres fra i restaffaldet, ofte er af en så dårlig kvalitet, at muligheder for genanvendelse er for dårlige sammenlignet med kildesorteret plastaffald. På baggrund af nyligt DTU-studie¹ vurderes det, at eftersortering af plast "kan udsortere 0-30% af plasten fra restaffald i en kvalitet som er relevant til for videre genanvendelse" (se evt. DTU's notat).

Der blev nævnt eksempler (plast med elektronik mm) på, hvordan mennesker kan udsortere problematiske produkter, som maskiner p.t. ikke kan. SDU derimod pointerede, at maskinel sortering er et område under stor udvikling, og machine learning kan være en teknologi, der vil kunne udvikles til at efterligne den menneskelige sortering.

3.6 Opsamling

[Det bemærkes her, at opsamling på workshop var begrænset tidsmæssigt. Nedenstående er resultat af dels workshop og efterfølgende dialog/kommentar via e-mail.]

Miljøstyrelsen takkede de fremmødte forskere for deres deltagelse, og kvitterede for interessante fremlæggelser og en lærerig diskussion.

¹ Eriksen, M. K., Damgaard, A., Boldrin, A. and Astrup, T. F. (2019), Quality Assessment and Circularity Potential of Recovery Systems for Household Plastic Waste. *Journal of Industrial Ecology*, 23: 156-168. doi:10.1111/jiec.12822

Der var blandt de fremmødte deltagende eksperter ikke enighed hvordan eksisterende viden bør tolkes ift. projektets problemstilling. Nedenstående skitserer (overordnet) to tolkninger:

Tolkning 1: Udsortering af plastik kan med fordel gøres med central sortering

- Central sortering vil nok være nødvendig under alle tilfælde for at opnå nye mål for genanvendelses%
- Eftersortering er billigere end kildesortering, og sikrer signifikant større mængder udsorteret
- De fleste og de lødigste undersøgelser viser, at der ikke er forskel på kvaliteten fra eftersortering og fra kildesortering – altså de studier, hvor der rent faktisk er målt på det (notat fra SDU indeholder referencer til de studier)

Tolkning 2: Kvalitet af udsorteret plast fra central sortering er lav, og reel genanvendelse er udfordret. Der mangles viden

- Ud fra eksisterende viden kan det ikke konkluderes, at eftersortering på restaffald som alternativ til kildesortering/kildeopdeling medfører større reel genanvendelse (plastik erstatter plastik)
- Samlet set er dokumentationen for udsortering af genanvendelige materialer fra restaffald mangelfuld, ligesom afsætningsmulighederne og den reelle genanvendelse af de udsorterede materialer er stort set ubeskrevet
- Hvis en tilsvarende kvalitet skal opnås baseret på eftersortering, så kræver dette øget oparbejdning, hvilket medfører øget ressourceforbrug og øget materialetab under oparbejdningen

Som led i at indsamle den information, der må mangles jf. ovenstående tolkning 2, blev der anbefalet, at der gennemføres flere analyser af sortererede og processerede prøver fra eftersorteringsanlæg. Dette vil kunne gøres på norske eller hollandske anlæg, hvor affaldssammensætningen for nogles vedkommende er nær hvad der vil være typisk i DK (separat indsamling af madaffald og glas).

Bilag 2. Notat af SDU i forbindelse med workshop

Note

Title: Status for post-sorting (central sorting) in the context of new EU recycling targets

Reference: SYFRE

Status: Public

SDU Life Cycle Engineering

25 June 2019

Ciprian Cimpan
cic@kbn.sdu.dk
M +4524409882

Contents

Quality standards – there is no food grade (in short)	41
Current status of post-sorting	42
The Netherlands – post-sorting experience since 2010.....	43
Norway – new plants and a national strategy	44
Quality of outputs and further recycling	45
The Netherlands.....	45
Norway.....	47
References	48

Quality standards – there is no food grade (in short)

In relation to plastics generated as waste, there are strict requirements given in EU legislation and enforced by the European Food Safety Authority (EFSA), which limits the use of secondary (recycled) polymers in applications intended to come into contact with food.

Requirements important for setting of waste management systems:

- 100% of a PE or PP waste stream and 95% of a PET waste stream (EFSA, 2011), representing the input to the final recycling, have to have been approved previously for food contact. This implies food packaging has to be collected separate from non-food plastics and other waste.
- Secondary (recycled) raw materials, i.e. polymers, have to come from an EFSA approved recycling process. This ensures that the produced raw material complies with the same strict requirements as primary materials.

Main EU regulation on plastics intended to come into contact with food:

- Commission Regulation (EC) No. 282/2008 on recycled plastic materials intended to come into contact with food (“the Recycling Regulation”).
- Commission Regulation (EU) No. 2016/1416 (“the revised Plastics Regulation”) amending Commission Regulation (EU) No. 10/2011 (“the Plastics Regulation”) on plastic materials and articles intended to come into contact with food
- Commission Regulation (EU) No. 2018/213 on the use of bisphenol A in varnishes and coatings intended to come into contact with food (“the BPA Regulation”)

Based on the above we can conclude that unless food packaging is collected separately from non-food packaging, it is not possible to produce secondary raw materials for food-grade applications. Source separation and separate collection are highlighted/implied because at the sorting stage (MRFs) it is not today possible to sort food from non-food plastics. So far, only the recycling of PET in bottle-to-bottle applications has been successfully approved by EFSA (Geueke et al., 2018; Welle, 2011). This is connected to the separate collections of PET bottles in Deposit Return Systems or in other conditions as a mono-fraction.

Therefore, no separate collection system for waste from households proposed today in Denmark (and this applies to Europe largely) would comply with producing raw materials for food packaging. This precondition is important in setting the goals of new collection systems in Denmark.

For raw materials intended for non-food applications, technical requirements (e.g. mechanical, colour, physical properties) take precedence. In specific cases also legislation regarding legacy additives that were used in long-lived products is important (e.g. certain flame retardants in electronics).

Current status of post-sorting

Post-sorting is probably a necessity, not a choice.

The deliberate sorting of recyclable materials in the context of Mechanical Biological Treatment (MBT) of mixed MSW is widespread across Southern and Eastern Europe. This includes many countries that struggle to make source separation schemes efficient, such as Spain, France and Greece, and countries in the process of implementing/expanding source separation, such as Poland, Hungary and Romania.

In the present note we will focus exclusively on the Nordics and the Netherlands, where recovery of especially plastics from mixed MSW is employed as a pre-treatment process before the remaining waste is typically incinerated.

Post-sorting is at the moment an integral part of the efforts on plastics recycling in the Netherlands, Norway and also Finland. In Sweden, which relies on a fairly efficient separate collection systems, there are also plans to supplement with post-sorting before incineration in the two largest cities, Stockholm and Goteborg. According to MEPEX Consulting (Norway), trials both in Norway and Sweden showed that source separation alone will not meet the EU goal of 55% plastics recycling (based on sealable sorted products).

Post-sorting is compensated both in the Netherlands and Norway by the producer responsibility organisations, Afvalfonds Verpakkingen and respectively Grønt Punkt Norge (GPN). Both the Netherlands and Norway started by being dependent on polymer sorting and reprocessing in other countries (especially in Germany). Reprocessing is seen at the moment as a bottleneck as not enough capacity is available in Europe. This is felt across the Nordics as gate fees in Germany for sorting of mixed plastics from separate collection have more than doubled in the last couple of years. As a consequence we see a move to integrate sorting and reprocessing in the same facility. Example of post-sorting plants that integrate the full value chain include Attero (Wijster), FORTUM (Helsinki) and IVAR (Stavanger).

In addition, there are plans for sorting and reprocessing plants in Norway, Sweden and Denmark for plastics from separate collection and from post-sorting. In Norway, the company FORTUM has plans to build near Oslo a 40,000 t/year sorting and reprocessing plant. In Sweden separate collection of plastic packaging yields already more than 75,000 tonnes per year. Plastkretsen, the producer responsibility company, has built a large plastics sorting and reprocessing facility in Motala, with a max capacity of 120,000 t/year (<https://www.ftiab.se/plastanlaggning.html>). The plant started operation in February 2019. Plastkretsen has plans to sort here also plastics that will be post-sorted in Stockholm.

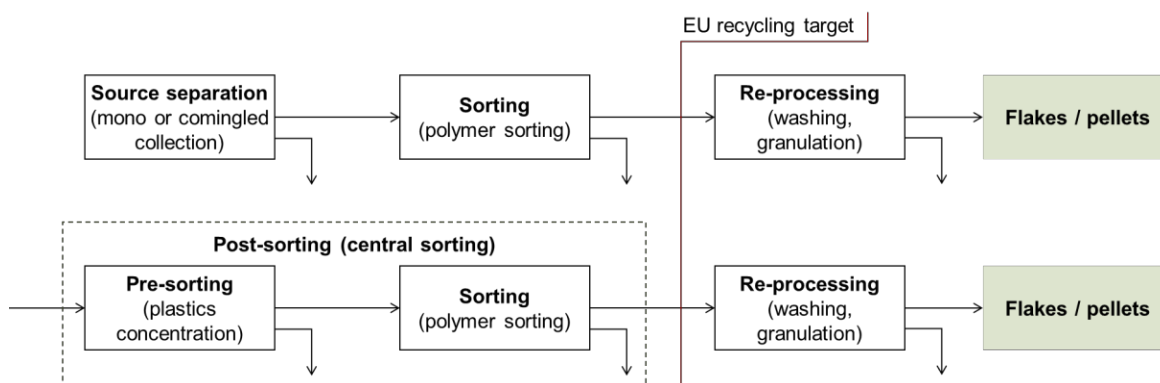


Figure 1: System diagram showing the source separation (up) and the post-sorting (down) routes

The Netherlands – post-sorting experience since 2010

The rapid development of plastics sorting in the Netherlands has been driven largely by national legislation, which at the moment is embodied by Decree of 27 (October 2014) laying down regulations for packaging and packaging waste (MIM, 2014). Specifically, increasing recycling targets have been set, growing 1% every year from 45% in 2015 to 52% in 2022. The amount of recycled plastic is measured at the gate of certified recyclers, which is already the method that will be implemented EU-wide.

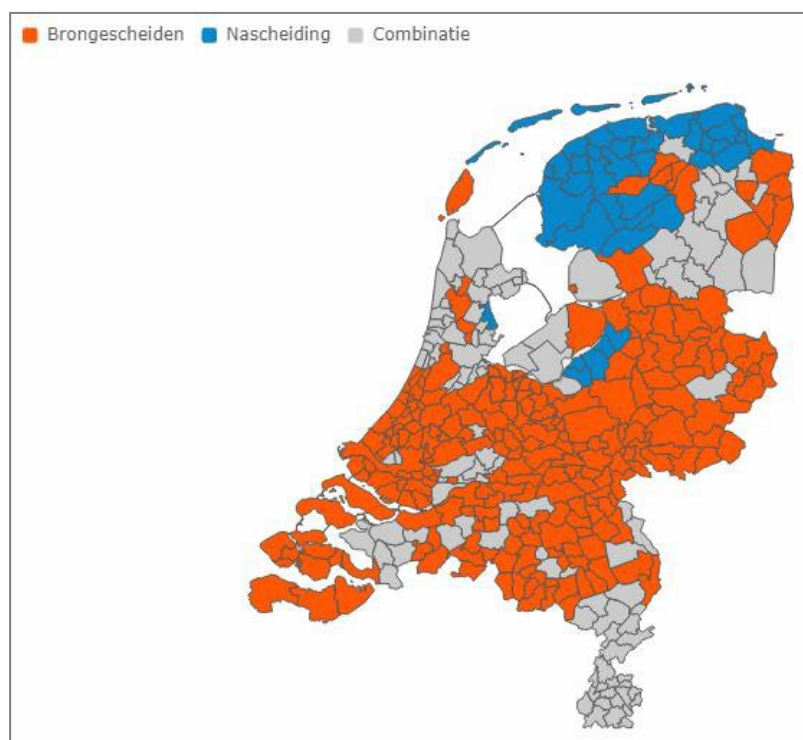


Figure 2: 2017 status on plastic waste collection/recovery by municipality in the Netherlands, Afvalfonds Verpakkingen.

Orange = separate collection, Blue = post-sorting, Grey = combination of the two.

<https://afvalfondsverpakkingen.nl/monitoring/bron-of-nascheiding-per-gemeente>

Table 1: Overview of current post-sorting plants in the Netherlands (van Dijk and Hultermans, 2018)

Company	Location	Capacity (t/year)	Pre-sorting	Polymer sorting	Reprocessing
AVR	Rozenburg	215,000	Yes (3D-plastic, Foil, tetra pack, metals)	No	No
AEB	Amsterdam	300,000	Yes (3D-plastic, Foil, tetra pack, metals, organics)	No	No
Attero	Wijster	800,000	Yes (3D-plastic, Foil, tetra pack, metals, organics, RDF)	Yes (80,000 t/year)	Yes
Attero	Groningen	200,000	Yes (3D-plastic, Foil, tetra pack, metals, organics, RDF)	No	No
HVC	Alkmaar	140,000	Yes (3D-plastic, Foil, tetra pack, metals)	No	No
Omrin	Heerenveen	230,000	Yes (MPO, 3D-plastic, Foil, tetra pack, metals, organics)	Yes (65,000 t/year)	No

Norway – new plants and a national strategy

The Norwegian Environment Agency has proposed new legislation which includes a 70% target in 2035 for both biowaste and plastics. For plastics this is at the collection level (mixed plastics) while there is an additional target of 55% for sealable sorted outputs.

Post-sorting or after-sorting (ettersortering) as called in Norway has been included in the impact assessment of the new legislation proposal (Mepex and Østfoldforskning, 2018). Specific text has been proposed in the new legislation (Høringsnotat og konsekvensutredning - nytt kapittel 10a i avfallsforskriften, pg.14):

«Det foreslås et krav om kildesortering, både for kommuner og næringsliv. Vi gjør dette for å sikre så rene utsorterte fraksjoner som mulig. For biologisk avfall er kildesortering særlig viktig, da det ellers kan tilgrise og hindre annet avfall i å kunne sorteres ut til materialgjenvinning dersom det blandes f.eks. matavfall i restavfallet.

For plastavfall åpner vi for at dette kan sorteres ut fra restavfallet ved ettersorteringsanlegg, dersom sorteringen gir minst like gode utsorterte fraksjoner som ved kildesortering. Med dette sikter vi til den typen sortering som i dag skjer ved f.eks. RoAF-anlegget på Romerike, og ser samtidig for oss at det kan komme andre teknologier i fremtiden som kan oppfylle det vi omtaler som "annen sortering" i forskriften.»

(<https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2018/oktober-2018/mat--og-plastavfall-ma-kildesorteres-bedre/>)

The scenario that includes post-sorting is also illustrated in Figure 3 below. It consists of 7 sorting plant with polymer sorting and 6 plants that would sort only mixed plastics or plastics concentrates (for further sorting).

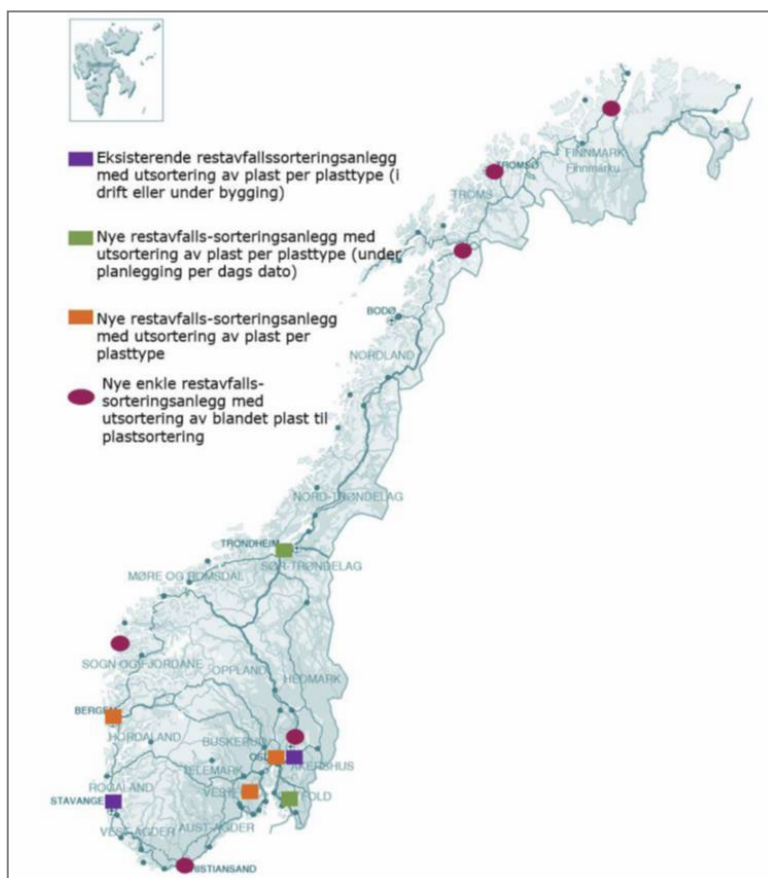


Figure 3: Existing and planned post-sorting facilities in Norway, MEPEX Consulting

Purple = existing facility with integrated plastic sorting

Green = planned facility with integrated plastic sorting

Orange = further envisioned facilities with integrated plastic sorting

Red circle = further envisioned facilities without integrated plastic sorting

Facilities that are already in operation are listed in table 2.

Table 2: Overview of current post-sorting plants in Norway

Company	Location	Capacity (t/year)	Pre-sorting	Polymer sorting	Reprocessing
ROAF	Oslo	100,000	Pre-sorting and polymer sorting are integrated. Full sorting of plastic in 6 different qualities (PET bottle, PET trays, HDPE, PP, PS,LDPE), mix paper, metals		No
IVAR	Stavanger	100,000	Pre-sorting and polymer sorting are integrated. Full sorting of plastic in 6 different qualities (PET bottle, PET trays, HDPE, PP, PS,LDPE), mix paper, metals		Yes

Quality of outputs and further recycling

As a precondition to understand the quality aspects of plastics from separate collection and from post-sorting, the following have to be considered.

- Sorted polymers both from MRFs / Plastics sorting facilities with input from separate collection and from post-sorting facilities, compete on the same material markets and therefore have to comply with the same quality requirements in order to sell. A widely used quality system in Europe is the German DKR.
- Since post-sorting plants are compensated by national producer responsibility schemes, they are under the same requirements in terms of quality as are sorting plants that have input from separate collection.

The initial recovery efficiency, or pre-sorting in Fig.1, is for post-sorting facilities around 80%, i.e. 80% of the plastics in the mixed waste input are separated. This is close to technical limits with the sorting technology we have today, where for example black (carbon black) coloured plastics cannot be detected. Black plastics can constitute 10-15% of plastics stream.

The Netherlands

Post-sorting and separate collection have been assessed in NL in many projects since 2010 (Brouwer et al., 2018; Luijsterburg and Goossens, 2014; Van Velzen et al., 2013a, 2013b; Velzen, 2016)

Quality has been addressed by numerous composition analysed of sorted products and analysis of reprocessed outputs (after washing and granulation). The latter was performed at the Eindhoven University of Technology, and targeted polymer cross contamination as well as mechanical properties (Luijsterburg and Goossens, 2014; Luijsterburg, 2015). In general, the characteristics of outputs following separate collection and from post-sorting were found similar. More importantly, existing studies conclude that all recycled plastics exhibit significant cross-contamination and properties that are degraded compared to virgin polymers.

A number of composition datasets for samples of sorted plastics analysed over the years in NL are presented by (Brouwer et al., 2018). They show that the quality of outputs from both routes is similar. Post-sorting outputs exhibit higher moisture and in some cases also organic waste contamination compared with the equivalent outputs from separate collection (Table 3 and 4). However, after reprocessing (washing, granulation) there are hardly any differences (Table 5 and 6).

Table 3 Composition of separately collected plastics and of MRF sorted outputs from it, from (Brouwer et al., 2018)

Table F.1

Material composition of the separately collected PPW and the sorted products made thereof.

	PET	PP	PE	PS	PVC	Paper	Metal	Glass	Other plastics, black plastics, etc.	Undefined, organic materials, incl. textiles	Moisture and dirt
Separately collected PPW	17%	17%	26%	4%	3%	3%	1%	0%	7%	4%	18%
PET sorted product	69%	6%	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	15%
PE sorted product	2%	10%	69%	1%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	15%
PP sorted product	6%	64%	6%	3%	3%	1%	1%	0%	4%	0%	12%
Film sorted product	3%	10%	54%	2%	2%	2%	0%	0%	4%	0%	24%
Mix sorted product	24%	15%	18%	6%	2%	5%	1%	0%	5%	6%	17%

Table 4 Composition of MSW and post-sorted outputs (equivalent to MRF sorted above), from (Brouwer et al., 2018)

Table G.1

Material composition of the MSW and the recovered, sorted plastic products made thereof.

	PET	PP	PE	PS	PVC	Paper	Metal	Glass	Other plastics, black, etc.	Rest	Moisture and dirt
Composition of MSW	1%	2%	3%	0%	0%	11%	3%	2%	2%	35%	41%
PET sorted product	70%	6%	6%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	16%
PE sorted product	1%	11%	71%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	12%
PP sorted product	5%	58%	7%	3%	3%	2%	1%	0%	1%	2%	18%
Film sorted product	1%	5%	47%	1%	1%	3%	0%	0%	11%	2%	30%
Mix sorted product	17%	10%	21%	1%	1%	5%	1%	0%	3%	5%	36%

Table 5 (Separate collection) composition of reprocessing (milling, washing) outputs, from (Brouwer et al., 2018)

Table F.2

Material composition of all milled goods produced from the separately collected and sorted products, [%].

Flakes	Main products	PET	PP	PE	PS	PVC	Paper	Metal	Glass	Other plastics, black, etc.	Rest
PET	Sinking fraction	98%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PE	Floating fraction	0%	13%	86%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
PP	Floating fraction	0%	88%	8%	1%	1%	0%	0%	0%	3%	0%
Film	Floating fraction	0%	15%	81%	1%	1%	0%	0%	0%	3%	0%
Mix	Floating fraction	1%	39%	49%	3%	1%	0%	0%	0%	7%	0%

Table 6 (Post-sorting) composition of reprocessing (milling, washing) outputs, from (Brouwer et al., 2018)

Table G.2

Material composition of all milled goods produced from the mechanically recovered and sorted products, [%].

Flakes	Main products	PET	PP	PE	PS	PVC	Paper	Metal	Glass	Other plastics, black, etc.	Rest
PET	Sinking fraction	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PE	Floating fraction	0%	14%	86%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PP	Floating fraction	0%	87%	10%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Film	Floating fraction	0%	9%	82%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	0%
Mix	Floating fraction	1%	31%	63%	1%	1%	0%	0%	0%	5%	0%

Norway

Quality of plastics from post-sorting in Norway is considered the same as from separate collection. To illustrate this, the company guarantee for recovery efficiencies and purity of different outputs are the same for ROAF and IVAR as for the new plastic sorting facility in Motala (Sweden), which handles input from separate collection. These are shown in the table below.

Table 7: Results of tests in 2015 at ROAF (Eule, 2016)

Outputs	Product purity [% output]		Recovery [% fraction input]	
	Guarantee	Measured	Guarantee	Measured
PE Film	96	96.3	72	83.6
HDPE	97	97.2	60	79.8
PP	97	97.6	68(bottle)/45(tray)	69.2/51.7
PET	97	97.2	68(bottle)/45(tray)	70.1/62.1
Magnetic metal	90	94.1	95	98
Non-magnetic metal	85	94.1	85	80
Paper/card/tetra	95	96.2	-	52

References

- Brouwer, M.T., Thoden van Velzen, E.U., Augustinus, A., Soethoudt, H., De Meester, S., Ragaert, K., 2018. Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system and implications for the circular economy. *Waste Manag.* 71, 62–85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034>
- EFSA, 2011. Scientific Opinion on the criteria to be used for safety evaluation of a mechanical recycling process to produce recycled PET intended to be used for manufacture of materials and articles in contact with food. *EFSA J.* 9, 1–25. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2184>
- Eule, B., 2016. Fully Automated Sorting Plant for Municipal Solid Waste in Oslo with Recovery of Metals , Plastics , Paper and Refuse Derived Fuel, in: Thomé-Kozmiensky, K.J., Thiel, S. (Eds.), *Waste Management, Volume 6 - Waste-to-Energy*. TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, Neuruppin, Germany, pp. 355–361.
- Geueke, B., Groh, K., Muncke, J., 2018. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *J. Clean. Prod.* 193, 491–505. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.005>
- Luijsterburg, B., Goossens, H., 2014. Assessment of plastic packaging waste: Material origin, methods, properties. *Resour. Conserv. Recycl.* 85, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.010>
- Luijsterburg, B.J., 2015. *Mechanical Recycling of Plastic Packaging Waste*. University of Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR783771>
- Mepex, Østfoldforskning, 2018. Utsortering og materialgjenvinning av biologisk avfall og plastavfall - Utredning av konsekvenser av forslag til forskrift for avfall fra husholdninger og liknende avfall fra næringslivet.
- MIM, 2014. Besluit van 27 oktober 2014, houdende regels voor verpakking en verpakkingsafval (Besluit beheer verpakkingen 2014) [Decree of 27 October 2014, laying down regulations for packaging and packaging waste].
- van Dijk, E., Hultermans, R., 2018. Marktsituatie recycling verpakkingen - Kansen en knelpunten voor bedrijven [Market situation for recycling packaging - Opportunities and bottlenecks for companies].
- Van Velzen, T., Bos-Brouwers, H., Groot, J., Bing, X., Jansen, M., Luijsterburg, B., 2013a. Scenarios study on post-consumer plastic packaging waste recycling, Rapport 1408. Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen, Netherlands.
- Van Velzen, T., Brouwer, M.T., Keijsers, E., Pretz, T., Feil, A., Jansen, M., 2013b. Pilot beverage cartons, extended technical report, Rapport 1440. Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen, Netherlands.
- Velzen, U.T. Van, 2016. Post-consumer plastic packaging waste recycling systems in the Netherlands, in: ISWA, Hamburg October 14th 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2570.3442>
- Welle, F., 2011. Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. *Resour. Conserv. Recycl.* 55, 865–875. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.009>

Author:

Ciprian Cimpan

Postdoc

SDU Life Cycle Engineering

Bilag 3. Notat af DTU i forbindelse med workshop

Workshop om udsortering af genanvendelige materialer fra restaffald

Rambøll, Ørestad, onsdag d. 26. juni 2019.

Forudsætninger

Følgende data er nødvendige for en retvisende miljøvurdering af udsortering af genanvendelige materialer fra restaffald:

- **Restaffaldets sammensætning:** Indholdet af våde og tørre materialefraktioner i restaffaldet er afgørende for a) sorteringseffektiviteten for de enkelte materialefraktioner, b) renheden af de udsorterede fraktioner, og dermed c) potentialet for reel genanvendelse.
- **Supplerende kildesortering/kildeopdeling:** Niveaue af supplerende kildesortering/kildeopdeling påvirker sammensætningen af restaffaldet og andelen af genanvendelige materialer, og dermed sorteringseffektiviteten for de enkelte materialefraktioner i restaffaldet.
- **Omfanget af mekanisk sortering og oparbejdning:** Renheden af en udsorteret fraktion kan forbedres ved flere kørsler gennem en proces med en given sorteringseffektivitet. Dermed øges de samlede materialetab, ligesom sorteringseffektiviteten og mængderne til genanvendelse falder. Desuden stiger omkostninger i form af maskineri, energi- og materialeforbrug.
- **Kvalitet og substitution:** Renheden og den materialemæssige sammensætning af de udsorterede fraktioner påvirker genanvendeligheden af materialerne, såvel som potentiel afsætning og substitution.

En fuld massebalance for hver materialefraktion gennem hele systemet er afgørende for dokumentation af en genanvendelsesproces. Sorteringseffektiviteter fra ét studie, en massebalance fra et andet, og data for materialekvalitet fra et tredje studie kan ikke uden videre kombineres som dokumentation for sortering i en fjerde sammenhæng. Sådanne data kan repræsentere et bedste bud, men dette må nødvendigvis være forbundet med væsentlig usikkerhed.

Udsorterings- og genanvendelsesrater for plast

På basis af tilgængelig litteratur vurderes det, at eftersortering af plast kan udsortere 0-30% af plasten fra restaffald i en kvalitet, som er relevant for videre genanvendelse (Eriksen et al., 2018). Hvis plastkvaliteten skal have samme niveau som plast fra kildesortering, må sorteringseffektiviteten for restaffaldet forventes at ligge i den lavere ende af intervallet.

Erfaringer fra Holland og Tyskland har vist, at:

- En smule mere plast kan udsorteres som plastkoncentrat fra restaffald i sammenligning med kilde-sortering/kildeopdeling. Kvaliteten af plastkoncentratet er dog problematisk grundet store mængder urenheder og yderligere oprensning er nødvendig (Feil et al., 2017).
- Under eftersortering kan 27 % af plasten i restaffaldet udsorteres og oparbejdes til genanvendt plast - over halvdelen i form af blandede polymerfraktioner (film og "mixed plastic") (Brouwer et al., 2017).

Uanset sorteringsproces og -effektivitet er der helt basale sammenhænge mellem udsorterede mængder og renheden. Jo større mængder, jo lavere renhed for en given affaldssammensætning.

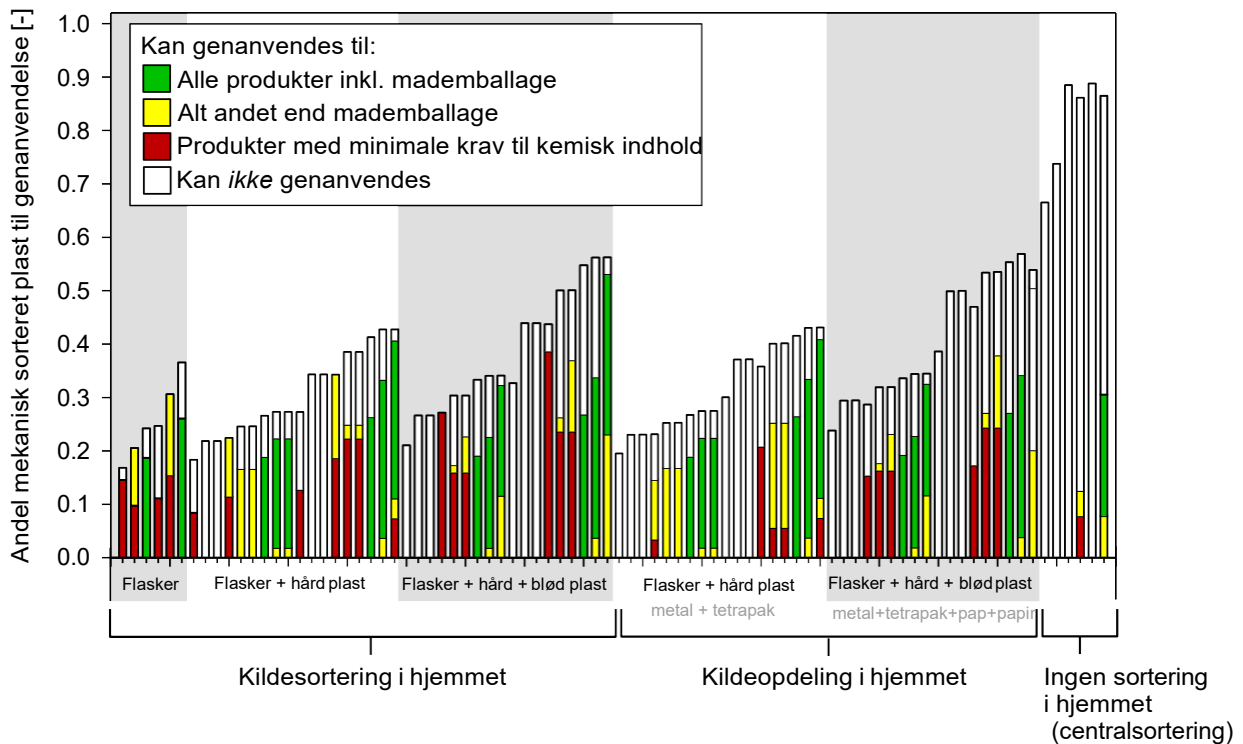


DTU Environment
Department of
Environmental Engineering

Bygningstorvet
Building 115
2800 Kgs. Lyngby
Denmark

Tel.. +45 45 25 16 00

www.env.dtu.dk



Figur: Udsorteringseffektiviteter for plast i udvalgte sorteringsscenarier (Eriksen et al., 2018).

Referencer

Brouwer, M.T., van Velzen, E.U.T., Augustinus, A., Soethoudt, H., De Meester, S., Ragaert, K., 2017. Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system. Waste Management Research. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034>

Eriksen, M.K., Damgaard, A., Boldrin, A., Astrup, T.F., 2018. Quality assessment and circularity potential of recovery systems for household plastic waste. Journal of Industrial Ecology. <http://doi.org/10.1111/jiec.12822>

Feil, A., Prezt, T., Jansen, M., van Velzen, E.U.T., 2017. Separate collection of plastic waste, better than technical sorting from municipal solid waste? Waste Management and Research. <http://doi.org/10.1177/0734242X16654978>

Bilag 4. Interviews

Interview – Attero

Nedenstående er udfyldt interviewguide med virksomheden Attero, hvor der er spurgt til deres anlæg i Wijster, Holland, der blandt andet udfører eftersortering af blandet husholdningsaffald. Virksomheden har valgt at deltage i interview ved at udfylde spørgeguide udarbejdet af Rambøll selv, og sende den udfyldte spørgeguide retur. Svar af Attero er markeret med blå skrift.

Dato: 10-07-2019 (svaret pr. e-mail)

1. General questions about the sorting facility

1.1. Describe briefly how your facility works?

The location in Wijster has a number of facilities for waste treatment. There are two main facilities that deal with material sorting from household waste:

- Polymer Sorting Plant (PSP)
- Post-separation line

The facility receives both; packaging material that has been source separated at source (PMD: plastic bottles, metal packaging and drink cartons) and mixed household waste. The PMD material goes directly to the PSP. Mixed household waste is being processed at the post-separation line.

They receive also commercial waste and import waste, however, these streams are treated separately

1.2. What is the annual treatment capacity of the 'dirty MRF'?

750 kt/year with 3 separation lines.

1.3. Which fractions are not part of the received household residual waste?

- a. As they might be collected in separate collection systems, e.g. glass?

Glass, textiles, minerals are not separated at the facility.

1.4. Which fractions, besides metals and plastics, are sorted out at the facility?

Organic fraction is being sorted out for anaerobic digestion and biogas production. Tetra-packaging is being sorted out. Currently they are looking into possibilities of paper sorting.

1.5. What format is the final product in your facility? (e.g. pellets, baled material, mix)

The final product is collected as a mono-stream, is baled and shipped to a certified recycler or processed on site.

1.6. Which concrete facilities/destinations is the material sent to for further treatment? (e.g. second sorting plant, direct recycling)

- a. Plastic types? (PET, PP, PS, LDPE/HDPE etc.)

LDPE film is processed on-site at our Polymer Recycling Plant (PRP) to produce LDPE granulate. PET, PP, HDPE and Tetra Packs are delivered to a certified recycler for further treatment. The PP and HDPE fraction undergoes an additional step of shredding and washing at an external facility.

b. *Metals? (ferrous/non-ferrous)*

Ferrous and non-ferrous metals are shipped to a certified recycler

2. The sorting processes

Your dirty MRF receives mixed household waste which includes plastic and metal. The questions below aim to get insight into how the sorting efficiency is influenced by the facility's technology.

2.1. *What technology/techniques are used to sort out:*

a. *Plastic?*

Near-Infrared sorting, ballistic separation

b. *Metals?*

Magnets, eddy-current, metal recovery from bottom ash

2.2. *Which types are sorted out?*

a. *Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.)*

PET bottles, PET trays, PP, HDPE, Tetra Packs

b. *Soft plastic (LDPE, other)*

LDPE film

c. *Metals (ferrous/non-ferrous)*

Metals (ferrous/non-ferrous)

2.3. *What kind of impurities exist?*

Mainly organic pollution, paper, sand, mixed packages

2.4. *How are material impurities dealt with?*

The remaining impurities are dealt with by the recycler. In our PRP we use shredding and centrifuge washing to remove impurities from the LDPE film.

2.5. *How could the sorting efficiency of the plant be enhanced/improved?*

a. Hints: e.g. washing, extended NIR, slower sorting, 2nd sorting loop

All of the above-mentioned techniques have a place to be.

3. The material quality

There are different indicators of 'quality'.

3.1. *How do you define quality?*

Regular composition analysis of the samples from the product. Complying with the standard by 'Der Grüne Punkt'

3.2. *In your opinion, how much quality of the metal and plastic material is lost after the sorting process compared to just before the sorting process?*

Depends on how we define quality. The chemical properties of the material are not affected by the sorting step. If we define quality as the amount of the impurities (pollution), most of the time it is challenging to achieve higher than 95% pure product. Nevertheless, it is possible.

3.3. *What is the contamination/purity level of plastics and metals?*

We are obliged to comply with the Der Grüne Punkt specifications for quality, therefore, everything that is below that level, is processed again.

3.4. *What is the plant's technical capability (sorting rate) to efficiently detect and separate mixed fractions?*

The sorting line is capable of sorting out:

- 30% of the potential soft plastics (film)
- 52% of the potential hard plastics (PP, HDPE, DK, PET etc.)
- The sorting (recovery) rate for metals is close to 100%, because most of them is collected in the bottom ash

3.5. *Which quality are your customers demanding for plastics and metals?*

a. *What is the grade limit/triviality (bagatelgrænse) of your customer?*

We are obliged to follow the specifications of Der Grüne Punkt, to comply with NEDVANG (producer responsibility organization) agreements

b. *How often does the quality of the plastic and metal, respectively, fail to meet your customer's grade limit?*

Due to the constant improvements of the plant, this data changes over time. However, one might expect 1 out of every 20 bales to be lower the required quality threshold.

c. *How could the quality be improved?*

- Additional sorting steps
- Lower throughput
- regular factory optimization
- New legislations
- Better subsidy program

There can be several causes of recycling potential loss (reject), although the material quality is otherwise satisfactory for recycling. To which degree do you assess this loss is influenced by:

3.6. *Contamination/impurity technically obstructing e.g. sensor detection and thus recyclability*

a. *For plastics?*

Packaging design is the main factor, from my experience. Some products are made of mixed polymer types, which causes contamination of the stream. Distribution on the belt for better detection.

b. *For metals?*

Generally and Eddy current are very efficient in metal sorting, however, sometimes metals also attach non-metals during separation process.

3.7. *The need of too high investments for a plant upgrade to enhance sorting rate and recovery*

a. *For plastics?*

Indeed, the price for sorting equipment, NIR's for instance, is substantial. Therefore, in many cases sorting is just not viable.

b. *For metals?*

Irrelevant.

3.8. *Lack of a market – the collected material is discarded as unwanted for your customers' specific needs*

a. *For plastics?*

The system in the Netherlands collects money for packaging sorting from packaging producers. The municipality then decides how the sorting step will be achieved: at source or industrial separation.

b. *For metals?*

Similar system exists for metals.

4. The material quantity

Environmental impacts rely on the amount, quality and sorting efficiency.

4.1. *What are the sorting rates? ([output divided by detected input])*

a. *Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.)*

35% recovery (average for PET, HDPE, PP and DK).

b. *Soft plastic (LDPE, PP etc.)*

15% recovery (LDPE film).

c. *Metals (ferrous/non-ferrous)*

95% recovery (average for both).

4.2. *What are the recovery rates? ([output divided by input]), i.e. recycled % vs. incinerated %.*

a. *Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.)*

b. *Soft plastic (LDPE, PP etc.)*

c. *Metals (ferrous/non-ferrous)*

4.3. *What happens to the reject?*

Rejected bales go in the line again. Unrecyclable material is being incinerated.

4.4. *How does your company estimate the plant's recovery rate? E.g. by:*

a. *Sampling of input and output materials?*

Sampling -> Composition analysis; throughput analysis; mass balances.

b. *Assessment*

c. *Measurements?*

d. *Estimations?*

Interview – Omrin

Nedenstående er udfyldt interviewguide med virksomheden Omrin, hvor der er spurgt til deres anlæg i Heerenveen, Holland, der blandt andet udfører eftersortering af blandet husholdningsaffald. Svar af Omrin er markeret med blå skrift.

Dato: 18-09-2019 (telefoninterview)

General questions about the sorting facility

2. Describe briefly how your facility works?

Residual waste is sorted at Omrin's facility using a variety of waste sorting techniques. These include drum sieves, wind sieves, cyclones, magnetic separation, eddy current separation, NIR (Near Infrared) detection, and X-ray detection. Organic content of residual waste is separated for anaerobic digestion.

3. What is the annual treatment capacity of the 'dirty MRF'?

230.000 tonnes/year.

4. Which fractions are not part of the received household residual waste?

a. As they might be collected in separate collection systems, e.g. glass?

Organic waste, paper, glass, textiles, bulky waste, chemical waste.

5. Which fractions, besides metals and plastics, are sorted out at the facility?

Beverage cartons, inert material, organic material, foils.

6. What format is the final product in your facility? (e.g. pellets, baled material, mix)

Materials are mostly baled for shipment.

7. Which concrete facilities/destinations is the material sent to for further treatment? (e.g. second sorting plant, direct recycling)

c. Plastic types? (PET, PP, PS, LDPE/HDPE etc.)

The different types of plastics are sent to different companies, which use them for a variety of purposes. Some are used for production of furniture by IKEA. Foils are used to produce street furniture.

d. Metals? (ferrous/non-ferrous)

Metals are sent to metal traders for recycling.

The sorting processes

Your dirty MRF receives mixed household waste which includes plastic and metal. The questions below aim to get insight into how the sorting efficiency is influenced by the facility's technology.

1. What technology/techniques are used to sort out:

a. Plastic? NIR.

b. Metals? Magnetic separation (ferrous), eddy current separation (non-ferrous).

2. Which types are sorted out?

a. Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.) All mentioned types. PET is sorted in several fractions including "PET trace"

- b. Soft plastic (LDPE, other) **Foils.**
 - c. Metals (ferrous/non-ferrous) **Both.**
3. What kind of impurities exist?

There is always residue from the other waste materials comprising a mixture of these. The average purity of the sorted materials is app. 95%.

4. How are material impurities dealt with?

The sorted materials need to live up to purity specifications defined in the German DKR system (DKR: Deutsche Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe mbH). Continuous development at the facility ensures that the level of impurities live up to these specifications – including adjustment of a variety of parameters of the automated sorting processes.

5. How could the sorting efficiency of the plant be enhanced/improved?
- b. Hints: e.g. washing, extended NIR, slower sorting, 2nd sorting loop

(See above). Many parameters can be adjusted to alter sorting efficiency. The facility was originally designed to produce fuel from waste, and techniques have been added since then to enable recycling of different materials.

The material quality

There are different indicators of 'quality'.

2. How do you define quality?

Quality can be defined as meeting demands in the end of the value chain – for example that the produced biogas from anaerobic digestion meet the demands for gas grid injection. With regards to recycling of the materials from Omrin, the demands are set in the DKR specifications, where for example maximum content of impurities are defined.

3. In your opinion, how much quality of the metal and plastic material is lost after the sorting process compared to just before the sorting process?

(irrelevant given the quality definition above)

4. What is the contamination/purity level of plastics and metals?

Meeting requirements in DKR.

5. What is the plant's technical capability (sorting rate) to efficiently detect and separate mixed fractions?

Precise sorting rates are not known for the different material fractions in the mixed waste.

6. Which quality are your customers demanding for plastics and metals?
- a. What is the grade limit/triviality (*bagatelgrænse*) of your customer? **DKR specifications.**
 - b. How often does the quality of the plastic and metal, respectively, fail to meet your customer's grade limit? **Infrequently. New waste fractions such as PET trace can give challenges until the sorting process is optimized to deliver the required purity.**
 - c. How could the quality be improved? **Adjusting a variety of process parameters in the sorting processes.**

There can be several causes of recycling potential loss (reject), although the material quality is otherwise satisfactory for recycling. To which degree do you assess this loss is influenced by:

- 2. Contamination/impurity technically obstructing e.g. sensor detection and thus recyclability
 - a. For plastics? **Can cause problems. However – of more concern is multilayer plastics and black plastics. Omrin is in dialogue with producers to address these issues.**
 - b. For metals? **Fewer problems compared to plastics.**

3. The need of too high investments for a plant upgrade to enhance sorting rate and recovery
 - a. For plastics? [Omrin continuously improves their sorting including making investments.](#)
 - b. For metals? [\(see above\).](#)
4. Lack of a market – the collected material is discarded as unwanted for your customers' specific needs
 - a. For plastics? [All sorted plastics have been sold.](#)
 - b. For metals? [All sorted metals have been sold.](#)

The material quantity

Environmental impacts rely on the amount, quality and sorting efficiency.

[Omrin records amounts of waste received, as well as amounts of the various material flows from the facility. Sorting and recovery rates for specific materials in the received, residual waste cannot be calculated from this information.](#)

2. What are the sorting rates? ([output divided by detected input])
 - a. Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.) [\(see above\)](#)
 - b. Soft plastic (LDPE, PP etc.)
 - c. Metals (ferrous/non-ferrous)
3. What are the recovery rates? ([output divided by input]). i.e. recycled % vs. incinerated %
 - a. Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.) [\(see above\)](#)
 - b. Soft plastic (LDPE, PP etc.)
 - c. Metals (ferrous/non-ferrous)
4. What happens to the reject? [Waste incineration](#)
5. How does your company estimate the plant's recovery rate? E.g. by:
 - e. Sampling of input and output materials? [\(see above\)](#)
 - f. Assessments?
 - g. Measurements?
 - h. Estimations?

Omrin sendte nedenstående tabel, der angiver affaldsmængder i enheden kg/person/år for deres virksomhed:

Componenten	Recycling		Residu	Total	% recycling
	Source separation	Mechanical separation			
Organic waste	124				
Paper and cardboard	59				
Glass	19				
Reusable goods	7				
Textiles	5				
Electronic waste	5				
Mechanical Mechanical land digestion:					
- metals		6			
- plastics		16			
- beverage cartons		3			
- biomass for energy		38			
- minerals, stones		12			
Residuals for incineration			120		
Totaal	219	75	120	414	71,0%

Interview – Roaf

Nedenstående er udfyldt interviewguide med virksomheden Roaf (Romerike Avfallsforedling), hvor der er spurgt til deres anlæg i Skedsmo, Norge, der blandt andet udfører eftersortering af blandet husholdningsaffald, hvor også madaffald indsamles kildeopdelt i grønne poser. Svar af Roaf er markeret med blå skrift.

Dato: 20-09-2019 (telefoninterview)

General questions about the sorting facility

8. Describe briefly how your facility works?

Residual waste is sorted at Roaf's facility where food waste is collected in green bags, which are sorted out from the residual waste. The sorting technologies at Roaf include NIR (Near Infrared) sorting, drum sieves, ballistic separation, eddy current sorting and magnetic sorting.

9. What is the annual treatment capacity of the 'dirty MRF'?

The current treatment capacity is 75.000 tonnes/year.

10. Which fractions are not part of the received household residual waste?

a. As they might be collected in separate collection systems, e.g. glass?

Paper and cardboard are collected in separate bins. Food waste is collected in green bags for separation at the facility. Glass, metals and are to be delivered to recycling stations/pickup points.

11. Which fractions, besides metals and plastics, are sorted out at the facility?

Food waste in green bags and residual paper and cardboard.

12. What format is the final product in your facility? (e.g. pellets, baled material, mix)

Plastics are baled for shipment.

13. Which concrete facilities/destinations is the material sent to for further treatment? (e.g. second sorting plant, direct recycling)

a. Plastic types? (PET, PP, PS, LDPE/HDPE etc.)

Recyclers primarily in Germany and the Netherlands.

b. Metals? (ferrous/non-ferrous)

The sorting processes

Your dirty MRF receives mixed household waste which includes plastic and metal. The questions below aim to get insight into how the sorting efficiency is influenced by the facility's technology.

6. What technology/techniques are used to sort out:

a. Plastic? NIR.

b. Metals? Magnetic separation (ferrous), eddy current separation (non-ferrous).

7. Which types are sorted out?

a. Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.) The plastics (hard and soft) are sorted in the following five fractions : PET, PP, LDPE, HDPE and mixed plastic

b. Soft plastic (LDPE, other): (See above).

c. Metals (ferrous/non-ferrous) **Both.**

8. What kind of impurities exist?

Residue from other waste materials. Biowaste from the plastic bags cause some impurity, but is not considered a major issue.

9. How are material impurities dealt with?

The sorted materials needs to live up to recyclers' specifications.

10. How could the sorting efficiency of the plant be enhanced/improved?

c. Hints: e.g. washing, extended NIR, slower sorting, 2nd sorting loop

Separate collection of food waste.

The material quality

There are different indicators of 'quality'.

7. How do you define quality?

8. In your opinion, how much quality of the metal and plastic material is lost after the sorting process compared to just before the sorting process?

9. What is the contamination/purity level of plastics and metals?

The purity is 96% or better.

10. What is the plant's technical capability (sorting rate) to efficiently detect and separate mixed fractions?

(See next section).

11. Which quality are your customers demanding for plastics and metals?

a. What is the grade limit/triviality (*bagatelgrænse*) of your customer? **The purity is 96% or better. Customers receive a sample shipment**

b. How often does the quality of the plastic and metal, respectively, fail to meet your customer's grade limit?

c. How could the quality be improved? **Adjusting a variety of process parameters in the sorting processes.**

There can be several causes of recycling potential loss (reject), although the material quality is otherwise satisfactory for recycling. To which degree do you assess this loss is influenced by:

5. Contamination/impurity technically obstructing e.g. sensor detection and thus recyclability
a. For plastics? **Can cause some problems.**
b. For metals? **Can cause some problems.**

6. The need of too high investments for a plant upgrade to enhance sorting rate and recovery
a. For plastics?
b. For metals?

7. Lack of a market – the collected material is discarded as unwanted for your customers' specific needs
a. For plastics? **High impact for plastics.**
b. For metals? **All sorted metals have been sold.**

The material quantity

Environmental impacts rely on the amount, quality and sorting efficiency.

Roaf has not precise figures on the sorting rates/recovery rates of the facility regarding individual materials. However, from data of consumption of materials in Norway, Roaf expects 25 kg plastic waste/person/year, and the facility sorts out 17 kg plastic waste/person/year. Roaf notes that not all plastic products are designed for recycling, whereby a 100% recovery rate is not possible at the moment.

6. What are the sorting rates? ([output divided by detected input])
 - a. Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.) (see above)
 - b. Soft plastic (LDPE, PP etc.)
 - c. Metals (ferrous/non-ferrous)

7. What are the recovery rates? ([output divided by input]). i.e. recycled % vs. incinerated %
 - a. Hard plastic (PET, PP, PS, PE etc.) (see above)
 - b. Soft plastic (LDPE, PP etc.)
 - c. Metals (ferrous/non-ferrous)

8. What happens to the reject? Waste incineration.

9. How does your company estimate the plant's recovery rate? E.g. by:
 - i. Sampling of input and output materials? (see above)
 - j. Assessments?
 - k. Measurements?
 - l. Estimations?

Analyse af eftersortering af restaffald - Udsortering af plast og metal fra restaffald

Projektet undersøger indsamling af metal- og plastikaffald fra private husstande som en del af restaffaldet med henblik på efterfølgende central udsortering og genanvendelse af metal og plastik. Et formål med analysen har været at afdække eksisterende viden, der kan ligge til grund for sammenligning af kvaliteten af metal- og plastikaffald udsorteret af restaffaldet sammenlignet med kildesortering.

I forbindelse med projektet har der været gennemført en workshop med deltagelse af eksperter fra henholdsvis Aalborg Universitet, Danmarks Tekniske Universitet og Syddansk Universitet. Det blev diskuteret om kvaliteten af plastikken ved central sortering, stadig vil kunne sikre en større reel genanvendelse. Det blev på workshoppen klart, at eksisterende viden af fremmødte forskere tolkes noget forskelligt i forhold til at kunne give en anbefaling om indsamling af især plastik med restaffaldet.

Gennem litteraturstudie er der overordnet konstateret følgende vedrørende udsortering af metal- og plastikaffald:

Metalaffald

Udsortering af metalaffald fra restaffald kan gøres med en relativt høj sorteringseffektivitet, der dog vurderes lavere end for metalaffald indsamlet ved kildesortering. Komprimering af restaffaldet gør, at der vil være rester af andet affald, der ikke let kan fjernes fra metallerne ved mekanisk sortering. Kvaliteten af metallet vurderes derfor højere ved separat indsamling.

Plastikaffald (blød og hård)

Med hensyn til plastikaffald (blød og hård) er det fundet vanskeligt, på baggrund af eksisterende viden, at vurdere med hvilken sorteringseffektivitet denne affaldsfraktion må forventes at kunne udsorteres, og i hvor høj grad den udsorterede plastik fra central sortering er af en kvalitet, der er egnet til genanvendelse.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk