



Udvikling af avanceret sensor- og robotteknologi til optimeret sortering af tørt husholdningsaffald



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Thomas Giselsson, Teknologisk Institut

Kathe Tønning, Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-93710-34-4

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.	Summary	4
2.	Forord	5
3.	Konklusion og sammenfatning	6
4.	Projektets problemstilling	8
4.1	Baggrund	8
4.2	Formål	9
4.3	Mål og succeskriterier	9
5.	Grundlag for teknologiudvikling	10
5.1	Generelt	10
5.2	Afsætning og modtagerkrav	10
5.2.1	Plast	10
5.2.2	Metal	11
5.2.3	Glasemballage	11
5.2.4	Papir	11
6.	Udvikling af visionmetoder	12
6.1	Dataopsamling med hyperspektralt kamera	12
6.1.1	Forsøgsmateriale og dataopsamling	15
6.2	Gribepunktberregning	21
6.3	Resultat	23
7.	Udvikling af robotbaneplanlægning og emneopsamling	25
7.1	Robotbaneplanlægning	25
7.2	Robottens værktøj – griberdesign	26
7.3	Resultat	27
8.	Nye produkter, udbredelse og eksportmuligheder	28
9.	Anbefaling til fremtidige aktiviteter	30
9.1	Anvendelsespotentiale	30
9.2	Perspektiv - Fleksible sorteringsrobotter	30
	Bilag 1. Notat vedrørende afsætning og modtagekrav	32

1. Summary

Waste separation is a key element of the circular economy, as sorting is a prerequisite for the subsequent recycling of valuable materials from the waste stream. This project investigates the potential for using advanced sensor systems as part of a process for better sorting. The sensors are used to identify certain materials and sort them into separate fractions, such as separating mixed plastics into fractions with identical type of polymer. Commercial systems that can efficiently sort out different fractions do exist. However, manual pre-sorting is often required because certain items cannot be handled by commercial systems and may therefore contaminate the fraction.

An early project activity investigated the requirements of the fraction buyers. The survey revealed options for selling the different fractions and obtaining an optimal price. The study focused on contamination by foreign objects and other materials that may affect quality, sales price and sales potential. The results of this study were used to ensure that the other activities of the project were directly relevant to the current situation in the waste sorting industry.

This project worked toward a generic waste sorting solution focusing on demonstrating the possibilities of new technologies in sensor and data processing. The work included attempts to identify and sort commonly occurring plastics of the polymer types HDPE, PET and PP.

The focus has been on using commercially available hyperspectral camera systems in combination with advanced data processing systems to derive detailed information about the composition and geometry of each waste item. The project successfully demonstrated that this information can be transferred to a standard industrial robot that, with a specially designed tool, can pick up and thus sort the items.

The project developed elements that will be an essential part of an integrated commercial solution for waste identification using hyperspectral camera technology. Software systems were developed to enable data collection from a hyperspectral line scanner camera and training of classification algorithms that utilize both hyperspectral measurements and geometric characteristics. A strategy for further processing the data and for interfacing with a commercial actuator (the project used an industrial robot arm with associated software) was described and verified.

Commercializing the product will require further software development. The final working system will need a good user interface to allow an operator to access, set up and train the system. User interfaces are not addressed in this project. No process optimization was carried out either. Ensuring that the system can collect and process data at a rate that makes a final system profitable, also requires further development.

In order to assess the investment needs for maturing the system to commercial standard, further studies of available hardware and software components are required, as well as an assessment of the need for missing elements. For example, the project used bespoke light sources, which should be replaced with suitable off-the-shelf products to ensure the supply of spare parts.

The system was not developed for implementation in automation processes, so further development is needed e.g. for the system to be mechanically and electrically integrated on a given process line.

2. Forord

Hovedformålet med nærværende projekt har været at effektivisere udsorteringen af genanvendelige ressourcer fra tørre affaldsfraktioner fra private husholdning. I projektet er der taget udgangspunkt i anvendelse af hyperspektrale sensorer til identificering og klassificering af tre centrale polymerer, der ofte benyttes til fremstilling af emballage og beholdere, og som ender i affaldet fra private husholdninger.

Ved anvendelse af avancerede sensorer og robotteknologi skabes et fundament, der kan benyttes til at udføre målrettet udsortering fra affaldsfraktioner. Målet kan være at udsortere fokusmaterialer eller at øge renhedsgraden gennem bl.a. reduceret fejlsortering og automatiseret fjernelse af forurenende elementer i de indsamlede fraktioner.

Projektet er udført i perioden maj 2016 til og med februar 2018.

Følgegruppen har bestået af repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Teknologisk Institut, AFLD, Herning Kommune og Nomi4s:

- Søren Freil, Miljøstyrelsen
- Lotte Kau Andersen, Miljøstyrelsen
- Thomas Giselsson, Teknologisk Institut
- Jacob Kortbek, Teknologisk Institut
- Per Nielsen, AFLD
- Birger Strandby Ernst, (Tidligere) Herning Kommune
- Carsten Zaar, Nomi4s

3. Konklusion og sammenfatning

Affaldssortering er et centralt element i den cirkulære økonomi, da sortering er en forudsætning for efterfølgende at kunne genanvende værdifulde materialer fra affaldsstrømmen. Projektet undersøger potentialet for at anvende avancerede sensorsystemer som led i en proces for at opnå bedre sortering. Brug af sensorsystemer er en metode til at identificere og opdele visse materialer i separate fraktioner, eksempelvis plastemner af samme type polymer. Der eksisterer kommercielle systemer, som effektivt kan udsortere forskellige fraktioner. Ofte kræves imidlertid en manuel forsøring, fordi visse emner ikke kan håndteres i de kommercielle systemer og derfor kan ende med at forurene den udsorterede fraktion.

Som en indledende aktivitet i projektet er afsætning og modtagekrav blevet undersøgt. Undersøgelsen har afdækket muligheden for afsætning af forskellige materialefraktioner og den optimale pris på samme. Fokus har i undersøgelsen været på fremmedlegemer og andre materialer, der kan have betydning for kvalitet, afsætningspris og afsætningsmulighed. Resultatet af denne undersøgelse er brugt til at sikre, at projektets øvrige aktiviteter har direkte relevans for de affaldsfraktioner, der behandles på landets sorteringsanlæg.

I dette projekt er der arbejdet hen imod en generisk løsning til affaldssortering med fokus på at demonstrere mulighederne i nye teknologier på sensor- og databehandlingsområdet. Arbejdet har bl.a. omfattet forsøg med at identificere og sortere almindeligt forekommende plastemner af polymertyperne HDPE, PET og PP.

Fokus har været på at benytte kommercielt tilgængelige, hyperspektrale kamerasystemer i kombination med avancerede systemer til dataprocessering for at kunne udlede detaljeret information om materiale-sammensætning og geometri af hvert enkelt affaldsemne.

Ved anvendelse af et hyperspektralt kamera er det lykkedes at eftervise potentialet i at udnytte denne teknologi til sortering af plast. Især har der været fokus på udnyttelse af den høje opløsning til analyse af højere detaljegråd, end hvad der kan opnås med kommercielt tilgængelige NIR-scannere. Således dækker hver måling et område på ca. 2x2 mm, hvilket er 100 gange bedre end den 20x20 mm opløsning, som flere kommercielle løsninger kan tilbyde i dag. Denne information er efterfølgende blevet anvendt til at opdele og sortere emnerne. I projektet er det demonstreret, at informationerne kan overføres til en standard industrirobot, der med et specialdesignet værktøj kan udføre opsamling og dermed sortering af emner.

Det er lykkedes at tage udgangspunkt i den kommercielt anerkendte løsning ABB PickMaster til styring af robotten under opsamling og at sammenkoble dette med eksperimentelle vision-metoder udviklet i nærværende projekt. Derved er det vist at de avancerede analysemetoder kan integreres med kommercielle robotløsninger for dermed at gøre vejen til færdig implementering kortest mulig.

De fleste sorteringsanlæg vil kunne drage fordel af at udvide produktionen med automatiseret sortering. De delkomponenter der er udviklet i dette projekt kan anvendes som basis for denne udvidelse samt indgå i fremtidige sorteringsanlæg. Dette gælder både i Danmark og i resten af Europa, efterhånden som kravene til genanvendelse skærpes.

Ud over at skabe vækst for de enkelte sorteringsanlæg og bedre økonomi for kommunerne, som finansierer affaldshåndteringen, forventes yderligere skabelse af højteknologiske arbejdspladser hos de integrationsvirksomheder og teknologileverandører, som skal opbygge, installere og servicere de fuldautomatiske anlæg. Samtidig må der forventes et stort potentiale for eksport af ekspertviden og knowhow på området som følge af at være first-movers inden for området.

Det står klart, at ønsket om en effektiv affaldssortering er tiltagende, samtidig med at interessen for forskellige affaldsfraktioner ændres, i takt med at affaldssammensætningen og industriens efterspørgsel efter genbrugsmaterialer ændrer sig. Disse tendenser peger på en fleksibel løsning, der kan tilpasses de aktuelle samfundsøkonomiske forhold. I lyset af at automations- og robotteknologier bliver stadig mere tilgængelige, er fleksible sorteringsmoduler, som er baseret på standard industrirobotter og avanceret vision- og sensorteknologi, rykket tættere på. Ikke kun teknisk, men også økonomisk, miljømæssigt og arbejdsmiljømæssigt er disse løsninger blevet mere interessante. En vision for fremtidens affaldssortering er fleksible og alsidige automationsmoduler, der kan indstilles til at håndtere mange forskellige fraktioner og udføre forskelligartede sorteringer.

I projektet er der udviklet essentielle og nødvendige delelementer til at opfylde denne vision. De udviklede softwaresystemer muliggør således opsamling af data fra et hyperspektralt linjescankamera samt oplæring af klassifikationsalgoritmer, der benytter både hyperspektrale målinger og geometriske karakteristika. Dertil er en strategi for en videre behandling af data samt interface til en kommerciel manipulator (i projektet er anvendt en industriel robotarm med tilhørende software) beskrevet og efterprøvet.

Der kræves dog yderligere udvikling for at modne teknologierne. Følgende punkter er eksempler på hvad der bør fokuseres på fremadrettet:

- For at opnå et kommercielt produkt vil det være nødvendigt blandt andet at videreudvikle softwaren. Et endeligt, fungerende system vil kræve, at en operatør kan tilgå, indstille og oplære systemet, hvilket ikke er adresseret i dette projekt. Der er heller ikke arbejdet med optimering af de processer, der er implementeret i den udviklede software. For at garantere at systemet kan opsamle og behandle data med en hastighed, der gør et endeligt system rentabelt, kræves yderligere udvikling.
- For at kunne vurdere det nødvendige investeringsbehov for en kommercialisering af systemet kræves yderligere undersøgelser af tilgængelige hardware- og softwarekomponenter samt en vurdering af behovet for at udvikle de elementer, der mangler. Eksempelvis er der i projektet benyttet egenproducerede lyskilder, der bør erstattes med eksisterende, egnede hyldevarer for at sikre forsyningen af reservedele.
- Det udviklede system er ikke forberedt til implementering i automationsprocesser, hvorfor systemet skal yderligere udvikles med henblik på mekanisk og elektrisk integration på en given proceslinje.

Det vurderes at etablering af et pilotanlæg vil være en optimal måde at sikre den nødvendige udvikling. Med det rette konsortium og med en finansiering i størrelsesordenen 10 til 20 mio. kr. over en 4-årig periode forventes det at et pilotanlæg kan etableres og med basis heri vil teknologien kunne modnes i tilstrækkelig grad til, at en kommercialisering er inden for rækkevidde.

4. Projektets problemstilling

4.1 Baggrund

I eksisterende sorteringsanlæg anvendes klassiske sorteringsmaskiner, som maskinelt adskiller emner efter vægt, størrelse, flydeevne, magnetiske egenskaber etc. De maskinelle sorteringsmetoder fordrer en veldefineret affaldsstrøm, da de ellers vil være utilstrækkelige til at opnå en effektiv sortering med høj kvalitet af de udsorterede materialefraktioner. Erfaringsmæssigt er det ikke muligt at undgå fejlsorteringer i det kildesorterede affald fra private husstande, og en stor del af disse fejlsorteringer kan ikke fjernes med eksisterende maskinelt sorteringsudstyr. Derfor anvendes der i stort omfang manuel forsortering af det kildesorterede affald, inden det føres videre til behandling i sorteringsanlæggene.

Kvaliteten af den manuelle forsortering er meget varierende, hvorfor uønskede emner kan slippe igennem til sorteringsanlægget. Dette kan i værste fald forurene større mængder af de udsorterede materialer, som herved ikke kan genanvendes. Dertil er forsortering kendetegnet ved ensformigt, hårdt arbejde i et beskidt miljø, hvorfor det manuelle sorteringsarbejde arbejdsmiljømæssigt gerne sås udfaset.

Derudover kan der opnås en servicemæssig og indsamlingsøkonomisk gevinst, hvis borgerne ikke behøver at sortere deres affald og få det afhentet i separate fraktioner, men derimod kan overlade det blandede affald til centralt sorteringsanlæg, hvor robotteknologiske løsninger sørger for sorteringen. Dermed sparer borgerne tid, og de skal ikke forholde sig til et stort antal beholdere, ligesom udgiften ved indsamling af separate fraktioner spares.

Når en vigtig del af sorteringsprocessen i dag foregår manuelt, er det fordi, en automatisering af processen langt fra er trivial. Det skyldes den mangfoldighed og variation, der præger det affald vi smider ud. Tager man en tilfældig affaldsspand og hælder indholdet ud på jorden, vil man konstatere, at der er mange forskellige typer af affald. Alt fra papir, pap, folier, madrester, plastikemballage, dåser og flasker til batterier, tøj og elektroniske apparater. Derudover vil de enkelte stykker affald inden for disse kategorier se forskellige ud. Fx kan en sodavandsdåse være mere eller mindre intakt, men den kan lige så vel være mast helt flad. Det er dog værd at huske, at vi mennesker i de fleste tilfælde faktisk vil være i stand til at kategorisere affaldet korrekt, blot ved at observere affaldsemnet på trods af de variationer, der findes.

Den sensorteknologi, der anvendes i eksisterende sorteringsystemer, er ikke baseret på visuelle indtryk, som kan sammenlignes med det menneskelige syn. Derimod benyttes specialiserede sensorer eller mekaniske aktuatorer, der på baggrund af affaldsemnernes fysiske eller kemiske materialeegenskaber kan genkende specifikke materialetyper. Et eksempel er en såkaldt overbåndsmagnet, der er i stand til at udtrække magnetiske emner fra affaldsstrømmen. Et andet eksempel er NIR-sensorer, der måler emissionen af lys i det nærinfrarøde område fra plastmaterialer for derved at kunne kategorisere plastemnerne efter deres kemiske polymertype.

I dette projekt har ønsket været at kombinere det bedste fra to verdener. State-of-the-art hyperspektrale kameraer kan opfange et visuelt indtryk (som vi mennesker kan), og ligesom gængse NIR-sensorer måle emission i det nærinfrarøde område og således aflæse emnernes kemiske materialeegenskaber. Disse to informationsdomæner skaber imidlertid tilsammen voldsomme datamængder, hvilket stiller store krav til den efterfølgende databehandling. I projektet arbejdes der med at anvende informationerne til i første omgang at skelne de tre hyppigst forekommende polymertyper, PET, HDPE og PP.

Udviklingen af sensorteknologier, der kan klassificere materialetypen for hele emner, er nu så langt fremme, at prisen er på et niveau, der muliggør anvendelse til automatiseret affaldssortering. Ligeledes er teknologien bag industrirobotter så langt fremme, at både hastighed og prisleje er på et niveau, som er attraktivt til denne type applikationer.

4.2 Formål

Fokus for projektet har været at muliggøre effektiv udsortering af genanvendelige ressourcer i tørre husholdningsfraktioner.

Formålet har været at udvikle metoder, der anvender data fra en hyperspektral billeddannende sensor til klassificering af emner i en affaldsstrøm med tørt husholdningsaffald, som passerer på et transportbånd.

Det har desuden været formålet at udvikle metoder, der muliggør anvendelse af robotter til opsamling af de detekterede emner fra bl.a. transportbånd i bevægelse, igennem intelligent baneplanlægning, gribe-teknik og prioritering.

4.3 Mål og succeskriterier

Projektarbejdet er udført med tre overordnede mål.

- Udvikling af sensorteknologier til detektering, genkendelse og klassificering af emner i en affaldsstrøm med tørt husholdningsaffald
- Udvikling af metode for anvendelse af robotter til opsamling af detekterede emner
- Udvikling af en samlet teknologisk løsning til automatiseret sortering af tørt husholdningsaffald.

Succeskriterierne for projektet har været, at den udviklede teknologi, de udviklede koncepter og teknologernes potentiale skulle formidles gennem aktiviteter under projektet og i nærværende rapport. Projektet er blevet præsenteret ved rundvisninger på Teknologisk Institut i Odense foruden at være omtalt ved flere oplæg, hvoraf et uddrag er listet herunder:

- 23. maj 2017: Forsøgsplatformen SensorLab, delvist udviklet igennem dette projekt, blev præsenteret ved arrangementet 'Fleksibel automation – vejen til konkurrencedygtig dansk produktion?'
- 9. juni 2017: Mikkel Viager holder indlæg ved afdelingsmøde hos Miljøstyrelsen i København. Indlægget fokuserer på fremskridt og potentialer for anvendelse af robotteknologi til affaldssortering. Ca. 25 deltagere.
- 15. juni 2017: Mikkel Viager holder indlæg ved Vestforbrændings årskonference i København. Indlægget har til formål at introducere robotteknologien som reelt alternativ til nuværende metoder til affaldssortering. Ca. 25 deltagere, som alle er kommunale beslutningstagere inden for renovationsbranchen.
- 22. August 2017: Thomas Giselsson holder oplæg på DAKOFA-konference. Konferencens titel var 'Indsamlingsordninger og sorteringsanlæg – hvad er status, og hvor skal vi hen?'. Oplægget fokuserede på teknologiske løsninger og udfordringer ved at bruge robotter og avancerede sensorer til affaldshåndtering. Thomas Giselsson deltog som paneldeltager i en efterfølgende paneldebat. Deltagerlisten talte 99 personer.

5. Grundlag for teknologiudvikling

5.1 Generelt

I forsøg på at fastlægge, hvilke ressource- og materialegrupper i den tørre del af husholdningsaffaldet det var væsentligt at fokusere på i projektet, blev der gennemført en undersøgelse af afsætningsmuligheder og modtagekrav for en række materialegrupper. I det følgende er hovedkonklusionerne præsenteret. Det samlede notat fremgår af Bilag 1.

5.2 Afsætning og modtagerkrav

På AFLD's anlæg i Tarm behandles to genanvendelige fraktioner indsamlet i henholdsvis Varde Kommune og Grindsted-Billund Kommune.

De to genanvendelige fraktioner indsamles i en dobbeltbeholder hos private husstande. I det ene rum i dobbeltbeholderen placeres glas, metal og hård plast, og i det andet rum placeres pap, papir og plastfolier.

Fra plast-, metal- og glasfraktionen afsættes fem fraktioner. Der er tale om PE-plast, blandet plast, blandede skår, jern og aluminium. Fra pap-, papir- og plastfoliefraktionen afsættes to fraktioner; henholdsvis plastfolie og en blandet papir- og papfraktion med maks. 10 % pap.

Der har været rettet henvendelse til Danbørs A/S, Danfiber A/S og Stena Recycling A/S vedrørende afsætningsmuligheder og -priser.

Disse henvendelser har resulteret i følgende oplysninger.

5.2.1 Plast

For samtlige plasttyper gælder det, at en klar/transparent fraktion kan afsættes til en højere pris end en farvet fraktion. Dette gælder såvel hårde plasttyper som plastfolier. Der er ikke nogen prismæssig fordel forbundet med at udsortere en farvet fraktion i fx hvid, grøn og rød plast.

Godsmæssigt kraftige produkter, som plastflasker og -dunke, er mere interessante både afsætningsmæssigt og økonomisk end godsmæssigt spinkle produkter, som fx frugtbakker og lignende.

Det påvirker hverken afsætningsmuligheden eller -prisen, om en plastdunk/plastflaske er forsynet med låg eller ej.

Flasker/dunke mærket med faremærke må ikke indgå i plastfraktionen. Der er her tale om farligt gods. Dog må flasker/bøtter, der er mærket med kryds1 (lokalirriterende), gerne indgå i plastfraktionen – fx rengøringsmidler.

En ren LDPE-foliefraktion, hvor foliestykkerne samtidig er større end A4, udløser en højere pris hos opkøberen end en fraktion, hvor andre folietyper også indgår. Papiretiketter må gerne forekomme på plastfolien, men betragtes som affald og indgår derfor i affaldsdelen for fraktionen. Fødevarerforurening må generelt ikke forekomme i plastfoliefraktionen.

Plastflasker/-beholdere til fedtholdige produkter er principielt ikke et problem. Det gælder også, selvom der er rester af produktet i emnerne, da plasten vaskes med fedtopløsende sæbe. Det skal dog bemærkes, at disse restprodukter er at betegne som biologiske, og ifølge lovgivningen kræver eksport heraf særlig tilladelse. Det er en problematik, som Dansk Affaldsforening i øjeblikket arbejder med og forsøger at finde en lovgivningsmæssig løsning på.

5.2.2 Metal

Metalemballerne kan afsættes i en blandet fraktion, men udsorteres stort set altid i jern og aluminium, da aluminium er et højværdiprodukt og desuden er let at udsortere.

Spraydåser må ikke forefindes i en metalfraktion. Spraydåser er rubriceret som farligt affald. Det samme gør sig gældende for andre trykbeholdere – fx gasflasker fra campingudstyr og kulsyrepatroner fra so-davandsmaskiner.

Heller ikke metaldåser/-bøtter med flydende maling må være indeholdt i en metalfraktion.

Elektrisk affald (fx husholdningsapparater og andet apparatur med ledning) og elektronikdele (fx spare-pærer, mobiltelefoner, routere) må heller ikke være til stede i metalfraktionen.

Metalemballage fra madvarer skal være tømt effektivt, så der ikke er rester af fødevarer tilbage. Forholdet omkring biologisk materiale gør sig også gældende her (se den beskrevne problemstilling i 5.2.3).

5.2.3 Glasemballage

Glasemballager kan afsættes i en blandet fraktion eller farvesorteret, men afsætningsprisen for klart glas er højere end for både farvet glas og blandet glas.

Indholdet af KSP (keramik, sten og porcelæn) har stor indflydelse på afsætningskvaliteten og -prisen. Kravene til renhed af fraktionen er, at den ud over KSP skal være stort set fri for urenheder som metal/ikke-magnetisk metal og organisk stof som plast/papir.

Glasemballage med indhold af medicin må ikke indgå i glasfraktionen, mens rester af væsker og føde-varerester (fx vin, øl og syltetøj) ikke udgør et problem i glasfraktionen.

5.2.4 Papir

Kvalitetskravene til papir ved afsætning til papirfabrikkerne er iflg. CEPI3 maks. 0,5 % affald og maks. 2,5 % ikke ønskede papirtyper som pap og karton.

6. Udvikling af visionmetoder

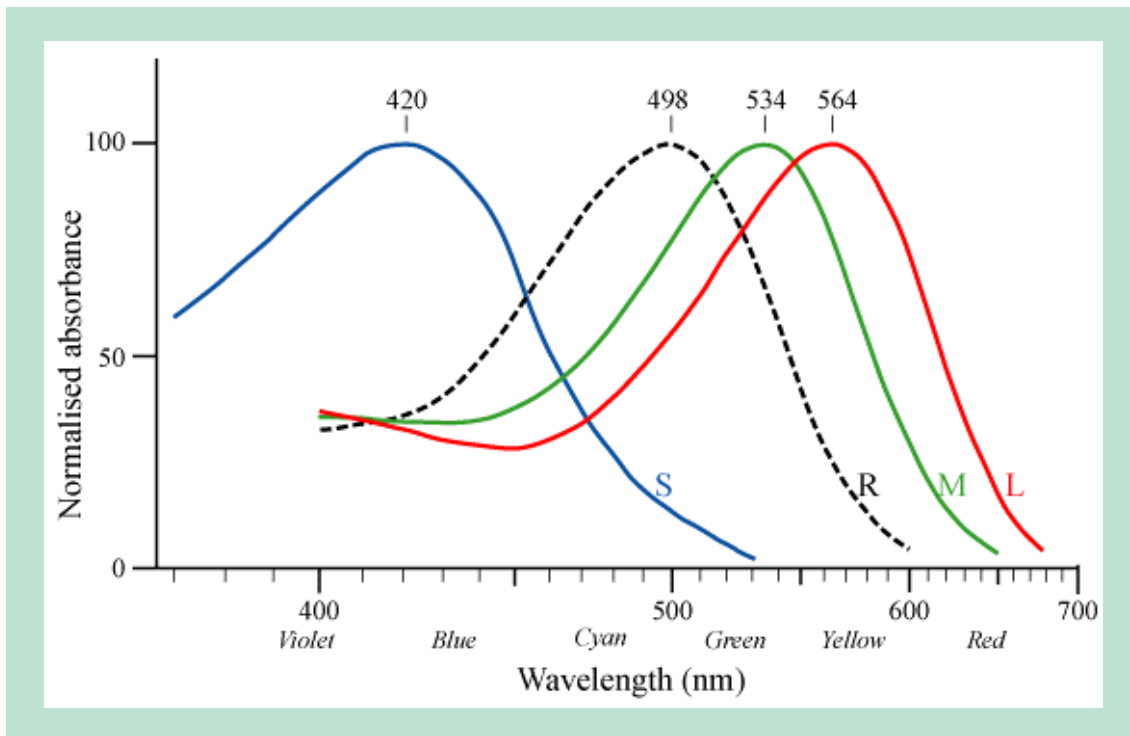
Udgangspunktet for projektet er at afprøve et hyperspektralt kamera som datakilde til at udføre klassifikation af tre polymerer. Dertil afprøves databehandlingsmetoder, der egner sig til behandling af de resulterende data. Derudover har der været fokus på at opnå et tilstrækkeligt datagrundlag for at kunne beregne mulige gribepunkter for enkeltobjekter. I dette afsnit beskrives den sensorteknologi samt de databehandlingsmetoder, der er anvendt i projektet.

6.1 Dataopsamling med hyperspektralt kamera

Introduktion til teknologien

For at forstå teknologien bag et hyperspektralt kamera kan man starte med at se på en mere velkendt teknologi som et almindeligt farvekamera. Almindelige kameraer findes i stor stil i dagligdags enheder, såsom mobiltelefoner og bærbare computere. Et farvekamera er bygget op af en linse og en lysfølsom chip. Linsen sørger for at samle og fokusere lys fra de objekter, der observeres, ned på den lysfølsomme chip. Chippen sørger for at omsætte lys eller fotoner til digitale målinger. Der skal dog noget 'ekstra' til for at genskabe farver, og for at forstå dette 'ekstra', er det nødvendigt at forstå, hvad farver egentlig er. Sammenlignes med det menneskelige syn ser vi farver, da vores øjnes tre forskellige såkaldte tapper¹ er følsomme overfor lysenergi i forskellige bølgelængder. FIGUR 1 viser følsomheden af hver af tapperne som funktion af bølgelængde.

¹ Se Wikipedia for en beskrivelse af øjets stave og tapper: <https://da.wikipedia.org/wiki/%C3%98je>



FIGUR 1. Spektrale absorptionskurver for det menneskelige øjes stave og tapper. Kilde: Wikipedia: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cone-response-en.png>.

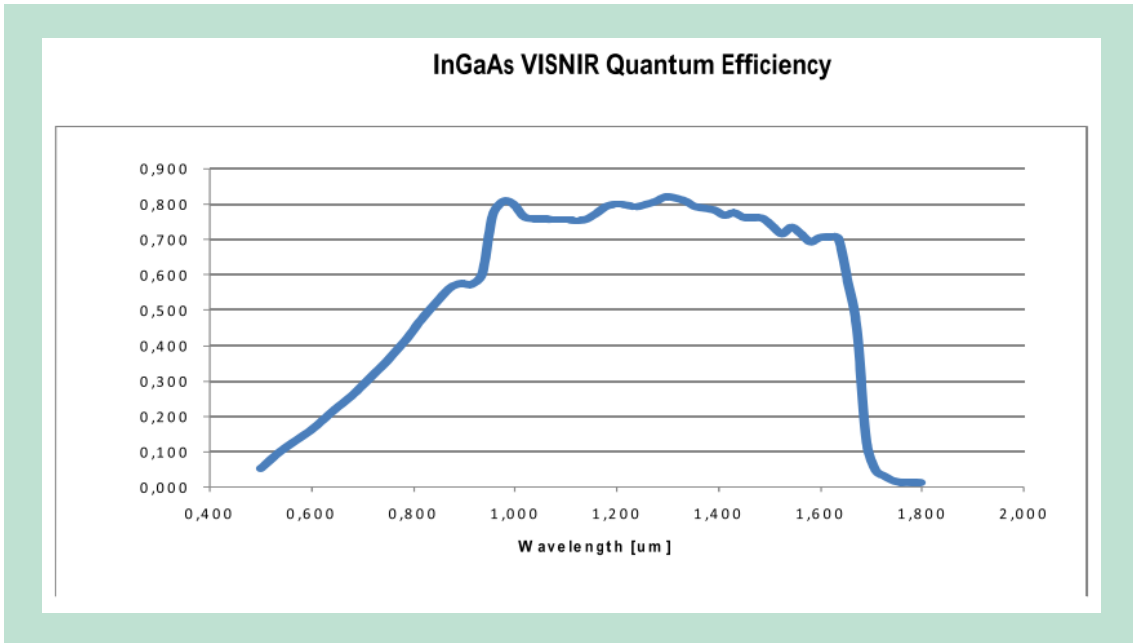
Overordnet vil fx et rødt æble opfattes som rødt, fordi æblets overflade absorberer lysenergien mindre i området omkring den centrale røde bølgelængde på 564 nm end i den resterende del af det synlige område fra ca. 390 til 700 nm.

Det er den kemiske sammensætning af et objekts overflade, der bestemmer, om lyset absorberes, reflekteres eller transmitteres, og for hvilke bølgelængder dette gælder. Det betyder, at ved at se på farven ser vi på objektets overfladekemi. Ser vi igen på et æble, vil vi kunne observere ændringer i æblets kemiske eller biologiske tilstand ved at se på farven. Et umodent æble er måske grønt, et modent er rødt og et overmodent/råddent æble er brunt. Det menneskelige øje måler altså i tre bølgelængdeområder, men forestiller man sig, at man kan måle i endnu flere områder, og at hvert område er begrænset til smalle bølgelængdeområder, har man mulighed for at sige endnu mere om kemien i det materiale, man observerer. Denne teknik går under navnet spektroskopi². Et hyperspektralt kamera gør netop det, at det måler på lysmængden i mange, smalle bånd i et givent bølgelængdeområde.

I projektet er der benyttet et Headwall Hyperspec NIR-kamera, som tilhører den type af kameraer, der betegnes linjeskannkamera. Det betyder, at kameraet ser en linje af den fysiske verden for hver måling eller hvert billede.

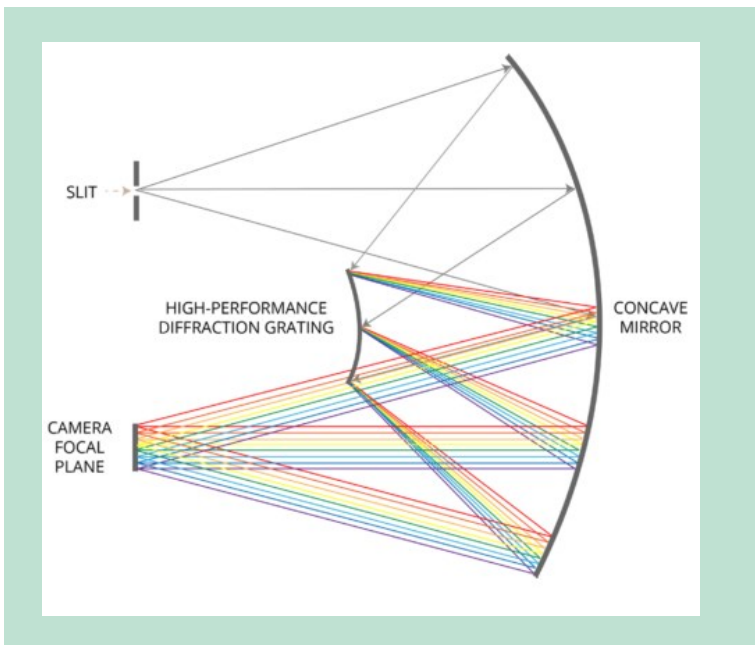
Det kamera, der er benyttet i dette projekt, er følsomt for bølgelængder fra 450 til 1700 nm. FIGUR 2 viser en graf for det benyttede kameras 'Quantum Efficiency', der beskriver, hvor følsomt kameraets chip er for forskellige bølgelængder.

² Se en beskrivelse af betegnelsen spektroskopi på Wikipedia: <https://da.wikipedia.org/wiki/Spektroskopi>



FIGUR 2. Quantum Efficiency, hvilket er et mål for lysfølsomhed for den sensor, der benyttes i Head-wall's hyperspektrale kamera.

Gennem en speciel linse spredes det indkommende lysspekter ud i en vifte af bølglængder. Denne vifte af bølglængder rammer den lysfølsomme chip, hvorved man kan måle lysets energiindhold i forskellige bølglængder. FIGUR 3 viser princippet for det optiske linsedesign, der anvendes i det hyperspektrale kamera, der har været brugt i dette projekt.



FIGUR 3. Illustrationen af optikken i Headwall Hyperspec NIR, der splitter det indkommende lys (SLIT) op i bølglængder, før det rammer den lysfølsomme chip (Camera Focal Plane).

6.1.1 Forsøgsmateriale og dataopsamling

Med basis i de identificerede fokusområder er der blevet indsamlet forsøgsmateriale direkte hos Nomi4s ved deres sorteringsanlæg i Holstebro. Da dataopsamling skal ske ved en udpræget manuel proces, har det været begrænset, hvor stor en mængde forsøgsmateriale der kunne arbejdes videre med. Det er dog vurderet, at den indsamlede mængde er tilstrækkelig til at underbygge de forsøg, der har været udført i projektet. FIGUR 4 viser de indsamlede affaldsemner, som består af de tre polymertyper, der er fokus for projektet.



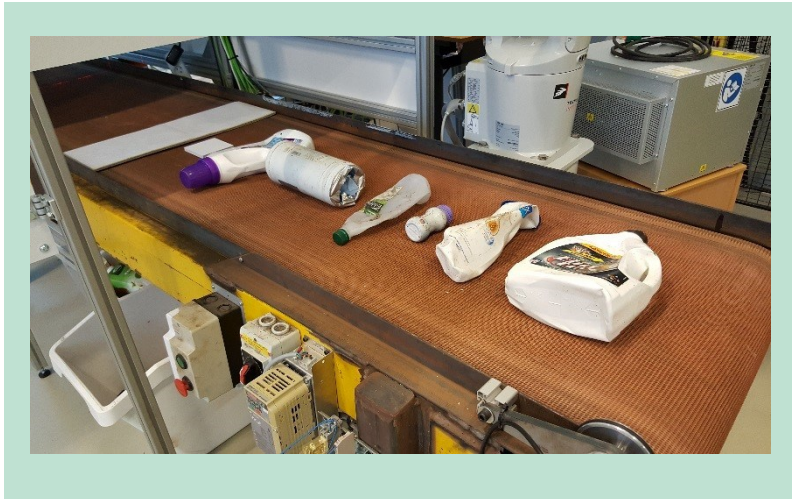
FIGUR 4. Forsøgsemner indsamlet ved Nomi4s' sorteringsanlæg i Holstebro.

Af det indsamlede materiale er emner med læsbar angivelse af plasttyperne PET, PP, PE (HDPE) blevet opsamlet i bunker efter plasttype.

I forbindelse med dataopsamlingen placeres de indsamlede emner inden for hver gruppe ca. midt på et transportbånd på række, således at emnerne ikke overlapper hinanden. Se FIGUR 5. Der foretages en adskilt opmåling for hver polymergruppe. Som første emne på transportbåndet placeres en kalibreringsplade af to lag tyvekøpapir samt en optisk hvid kalibreringsplade. Derudover startes hver optagelse med slukket lys for at skabe en sort reference. Eksempel på dataopsamlingsprocessen kan ses på FIGUR 6.

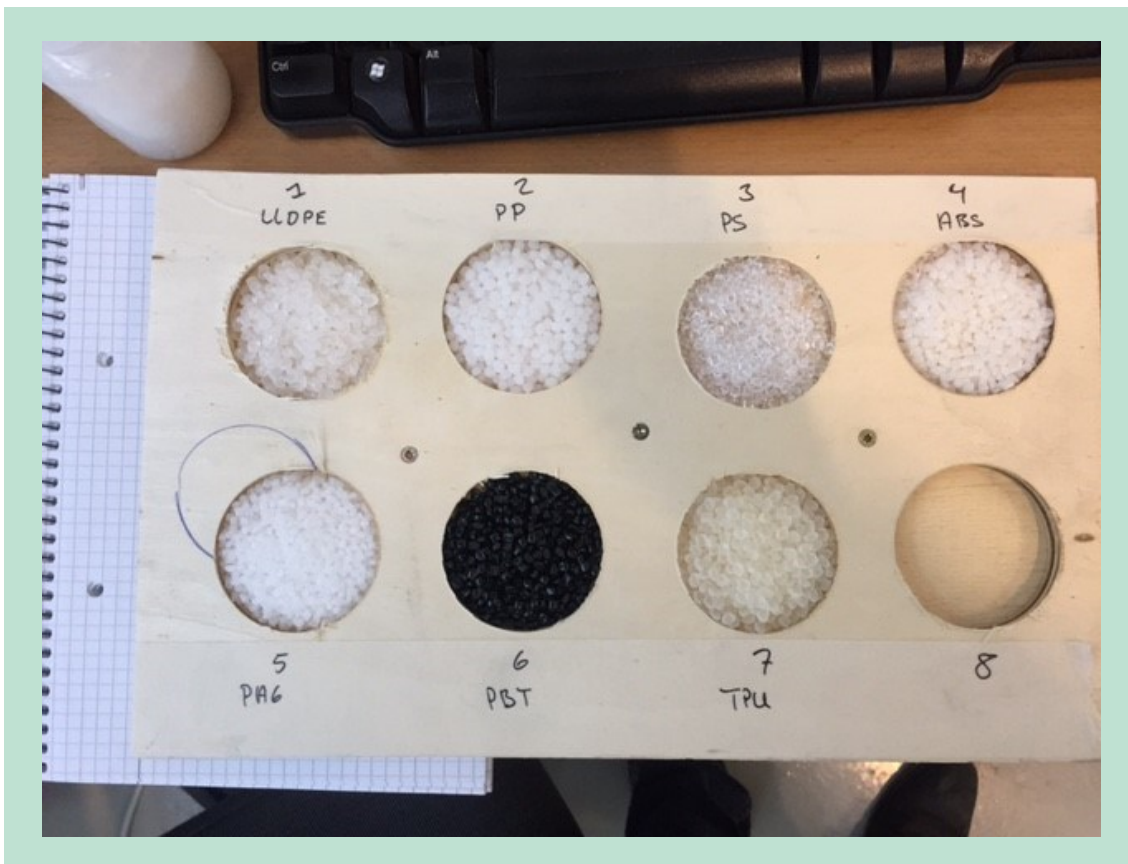


FIGUR 5. Eksempel på data, der genereres ved dataopsamlingen. Her ses et farvebillede sammensat af tre udvalgte bølglængder.

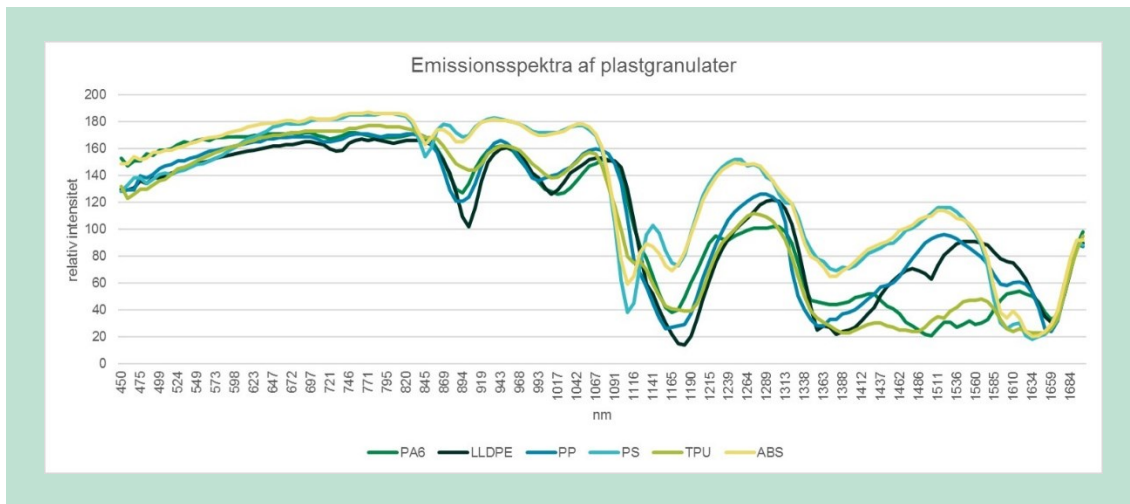


FIGUR 6. Dataopsamlingsproces. Foruden forsøgsemner opmåles optisk hvide referenceemner samt en sort reference til brug ved en efterfølgende normaliseringsproces.

Under et sideløbende forsøg er granulat af 6 forskellige polymerer blevet undersøgt. Det har givet et væsentligt indblik i, hvad renheden af materialet betyder. På FIGUR 7 ses et billede af syv polymertyper fordelt på en træplade. Det bør bemærkes, at det sorte granulat ikke er medtaget i analysen. Det spektrale respons for de seks polymertyper, der er undersøgt i dette projekt, kan ses i FIGUR 8.



FIGUR 7. Forsøgsmateriale af syv forskellige polymerer i form af granulat. Polymer nr. 6 behandles ikke i dette projekt.

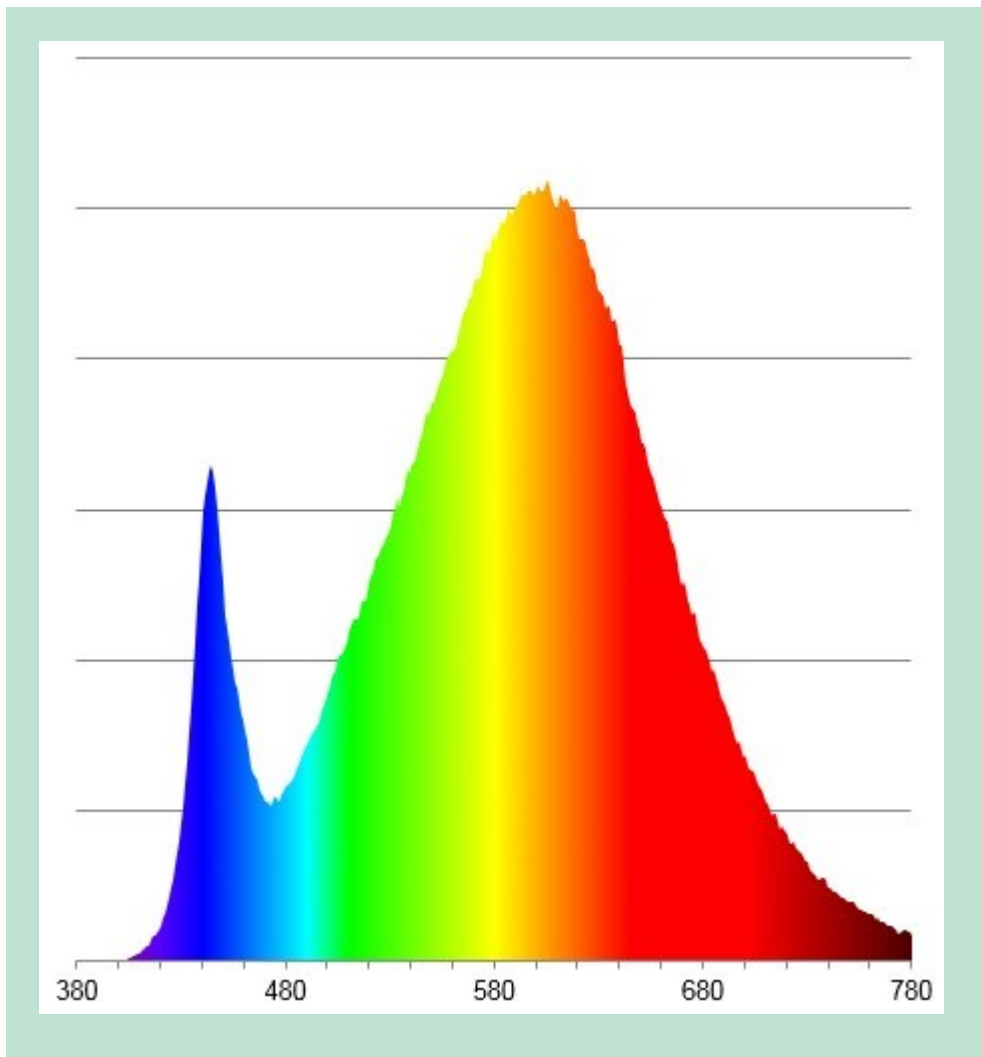


FIGUR 8. Relative emissionsmålinger af de seks undersøgte plastgranulater.

FIGUR 7, som er et almindeligt farvebillede af de seks polymerprøver viser, at polymererne er gråhvide i det synlige spektrum. Dette er også tydeligt, hvis man ser på emissionsspektret mellem 450 og op til ca. 800 nm i FIGUR 8, da kurverne her følges pænt ad. Ser man derimod på emissionsspektret i området mellem 1350 og 1670 nm nanometer i det nærinfrarøde område, adskiller næsten alle polymertyperne sig fra hinanden. Det er denne effekt, der udnyttes til at skelne polymertyperne fra hinanden.

Databehandling

Det er altid nødvendigt at udføre en eller anden form for billedanalyse for at udtrække relevant information fra billeder. I tilfældet med data fra et hyperspektralt kamera er dette en helt central problemstilling. Den nødvendige billedanalyse dikteres blandt andet af kameratypen og af den øvrige fysiske opsætning, såsom den lyskilde, der anvendes. Hvis fx lyskilden ikke udsender samme mængde energi i de bølgelængder, man måler på, får man et skævt billede af de faktiske, spektrale emissionskarakteristikker, der gælder for det materiale, man ser på. FIGUR 9 viser energiindholdet for en LED-lyskilde. Dette eksempel er valgt, da det her fremgår meget tydeligt, at energiindholdet varierer kraftigt, når man sammenligner niveauet omkring 440 nm, hvorefter energiindholdet dykker kraftigt omkring de 470 nm for så igen at stige og toppe omkring 600 nm. For at kompensere for dette kan man udføre en normalisering af emissionsdata gennem en kalibreringsprocedure.



FIGUR 9. Relativt emissionsspektrum af en LED-lyskilde. Det bemærkes, at intensiteten varierer kraftigt som funktion af bølgelængde. Kilde: <https://www.led-studien.de/farbqualitaet-farbwiedergabe-cri/>

Normaliseringen sigter mod at kompensere for lyskildens energisammensætning og sensorens uens følsomhed for forskellige bølgelængder. Se FIGUR 2, der viser en graf over sensorens følsomhed som funktion af bølgelængde.

Det kan dog være relevant også at konvertere data for at fjerne variationer, der ikke relaterer sig til materialetype eller lyskilde. Det er således ofte anvendt at beregne differenskvotienten eller differenskvotientens differenskvotient af det spektrale respons for derved at fjerne 'bias' eller DC-offset. Normalisering og konvertering af data benyttes i det software, der er udviklet i projektet.

Det hyperspektrale kamera, der er arbejdet med i projektet, genererer målinger i form af linjescanninger med 320 målepunkter eller pixels. For hvert målepunkt kan udledes ca. 150 målinger af forskellige bølgelængder. En måling genererer et tal mellem 0 og $2^{14}-1$. En praktisk detalje gør, at hver måling lagres i 2 bytes. Det betyder, at for hver eksponering genereres 96 kilobyte data. For at sikre at linjescankameraet når at måle på alt materiale, der passerer under kameraet, er det nødvendigt hele tiden at foretage nye målinger. Frekvensen, hvormed der måles, afhænger af den ønskede opløsning, kameraets placering over transportbåndet og hastigheden af båndet. I de forsøg, der er gennemført i projektet, har det været nødvendigt at opsamle linjescanninger 66 gange i sekundet eller med 66 Hz. Det resulterer i, at der genereres 6,3 megabyte data i sekundet. Det kan være vanskeligt at nå at processere alt dette data,

hvorfor man i sådanne situationer ofte benytter sig af en datareduktionsstrategi. Her kan forskellige fremgangsmåder benyttes. Ofte handler det om at balancere mellem at reducere datamængden på en effektiv måde uden at miste værdifuld information. I projektet er det valgt at benytte metoden Principal Component³, PC, i et forsøg på at bevare mest mulig information gennem en lineær operation, hvor data dog reduceres betragteligt.

Machine learning – emnedetektering og klassifikation

Når først data er blevet præprocesseret, skal der foretages en dataanalyse. I dette projekt har målet været at genkende og skelne forskellige polymertyper. Til det formål er der undersøgt to forskellige klassifikationsalgoritmer. Fælles for dem begge er, at de behandler hvert målepunkt individuelt og tilhører familien af klassifikationsalgoritmer, der baserer sig på 'supervised learning'. 'Supervised learning' dækker primært over, at det er nødvendigt at have forsøgsdata, hvor man kender 'ground truth' eller på dansk 'den korrekte klasse for forsøgsdata', før man kan konstruere en klassifikationsmodel.

Den første metode kaldes Gaussian Mixture Model og baserer sig på, at man ud fra forsøgsdata estimerer en sandsynlighedsfordeling, der beskriver sandsynligheden for, at et målepunkt kommer fra en given klasse. Den estimerede sandsynlighedsfordeling er resultatet af en træningsproces. Efterfølgende kan man benytte den estimerede sandsynlighedsfordeling til at beregne en sandsynlighed for, at et nyt målepunkt kommer fra en af de klasser algoritmen er trænet i.

Den anden model kaldes Multi Layer Perceptron, MLP, og tilhører klassen af biologisk inspirerede computermodeller, ofte benævnt neurale netværk. Ved at opbygge og træne et netværk af forbundne neuroner kan man nå frem til en model, der er i stand til at klassificere et målepunkt i en af de klasser, som netværket er oplært i.

Et eksempel på klassifikationsresultatet når der benyttes en MLP-klassifikationsalgoritme kan ses på FIGUR 10 og FIGUR 11.

³ Se Wikipedia for en beskrivelse af Principal Component Analysis.
https://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis



FIGUR 10. MPL-klassifikationsresultat. gule områder er genkendt som PP.



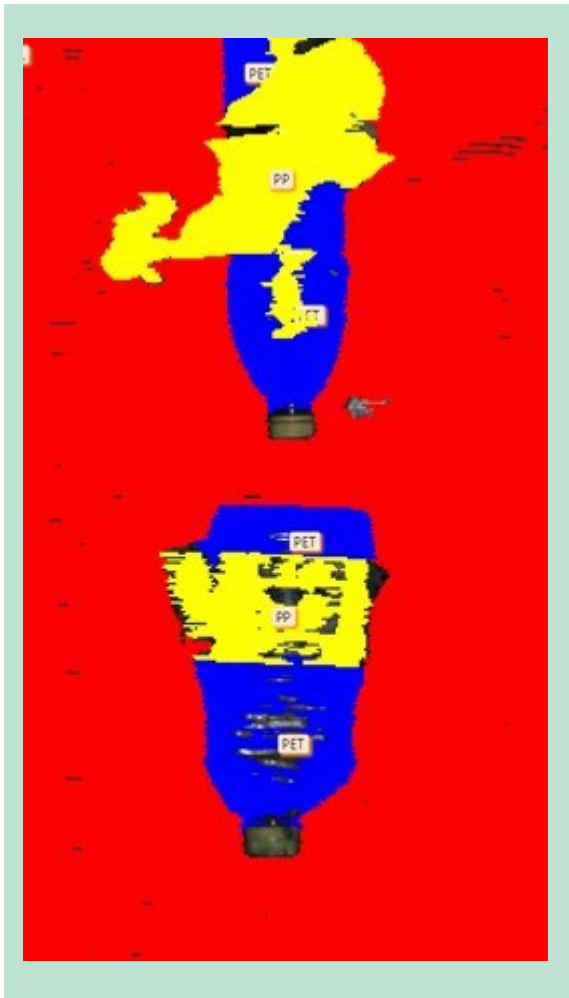
FIGUR 11. MPL-klassifikationsresultat. Grønne områder er genkendt som HDPE.

6.2 Gribepunktberging

I forrige sektion er det beskrevet, hvordan man når frem til en bestemmelse af emnetypen for hvert enkelt målepunkt ved hjælp af machine learning. Næste skridt er nu at kondensere emnetypebestemmelserne, således at man går fra at anskue enkelte målepunkter til at anskue hele objekter under et.

Denne proces kan gennemføres på flere måder. I projektet er det valgt at udføre en segmenteringsproces. Nabomålinger antages at være fra samme objekt, og objekter adskilles kun, hvis der er et fysisk mellemrum mellem dem. FIGUR 12 viser to PET-plastflasker, der ligger fysisk afskilt. Det bemærkes, at der midt på flaskerne er detekteret en anden materialetype end PET (i dette tilfælde PP markeret med gul). Det er det påklistede mærkat, der viser sig at være af en anden plasttype.

Denne situation vil ofte forekomme. Et emne kan have målepunkter, der er klassificeret som tilhørende forskellige polymertyper. Dette kan ske ved støjfyldt data, urenheder på emnet, eller blot fordi emnet fx har en påklistedt mærkat, som i det nævnte tilfælde. Det er nødvendigt at have en strategi for, hvordan disse situationer håndteres.



FIGUR 12. Resultat af kondenseringsalgoritme. Her er hvert emne delt op i områder af samme polymer-type. Blå områder er PET-polymer, og gule områder er PP-polymer.

To strategier er benyttet i dette projekt. Den første strategi baserer sig på en 'flertalsafgørelse'. Her anses hele objektet som den type, som flest enkeltmålinger har peget på.

En anden strategi kan kaldes 'geometrisk forudantagelse'. Her benyttes viden om typiske geometriske former til at vægte den samlede mængde af enkeltmålinger. Fx vil en flaske typisk have målinger fra flaskens plastmateriale i bunden og toppen af flasken, hvorimod midten af flasken kan være dækket af et mærkat. Med denne viden vurderes et objekts materialetype ved at tillægge målinger i top og bund en højere vægtning end målinger fra objektets midte.

Efter at have anvendt en af kondenseringsstrategierne har man bestemt hvert objekts overordnede materialeklasse. For at gøre resultatet anvendeligt for en robot er det nødvendigt at beregne, hvordan robotten kan opsamle objektet. Da der i dette projekt anvendes sugeskopgribere (se afsnit 7.2 om griberdesign) har robotten brug for at kende det punkt på objektet, hvor der skal suges an, et såkaldt angrebspunkt. I dette projekt er der igen anvendt to strategier.

Første strategi går på at bestemme et angrebspunkt ud fra en beregning af objektets forventede massecentrum. Resultatet af en sådan beregning kan ses på FIGUR 13 og FIGUR 14, hvor det røde område indikerer det fundne emne, og det røde kryds er det beregnede massecentrum. Strategien udmærker sig ved at være enkel og optimal for konvekse objekter med homogen massefordeling.

En anden strategi er at beregne angrebepunktet som centrum af et objekts største, indskrevne cirkel. Resultatet af denne strategi kan ses på FIGUR 13 og FIGUR 14, hvor den grønne cirkel er den største indskrevne cirkel, der kan placeres inden for emnets omrids, og det grønne kryds indikerer centrum af cirklen. Denne strategi udmærker sig ved at resultere i optimale angrebepunkter i forhold til ansugning med sugekop uden at kræve, at objektet er konvekst.

Begge strategier resulterer i angrebepunkter, der kan overføres til robotten.



FIGUR 13. Rødt omrids indikerer omridset for det fundne emne; rødt kryds indikerer det beregnede massemidtpunkt. Grøn cirkel indikerer den største, indskrevne cirkel, der kan placeres inden for emnets omrids; grønt kryds er centrum for denne cirkel.



FIGUR 14. Rødt omrids indikerer omridset for det fundne emne; rødt kryds indikerer det beregnede massemidtpunkt. Grøn cirkel indikerer den største, indskrevne cirkel, der kan placeres inden for emnets omrids; grønt kryds er centrum for denne cirkel.

6.3 Resultat

Ved anvendelse af et hyperspektralt kamera er det lykkedes at eftervise potentialet i at udnytte denne teknologi til sortering af plast. Især har der været fokus på udnyttelse af den høje opløsning til analyse af højere detaljegråd, end hvad der kan opnås med kommercielt tilgængelige NIR-scannere. Således dækker hver måling et område på ca. 2x2 mm, hvilket er 100 gange bedre end den 20x20 mm opløsning, som flere kommercielle løsninger kan tilbyde i dag.

Det er begyndt undersøgt, hvordan den bedre opløsning kan være med til at skabe et udvidet informationsgrundlag, hvor objekters geometri såvel som materialesammensætning tages i betragtning. De nuværende resultater indikerer, at den højere opløsning giver langt bedre muligheder for automatisk at udvælge optimale gribe punkter på objekter, der skal udsorteres af en robot.

Analysen af hyperspektral respons fra de undersøgte plastemner er afprøvet i forbindelse med identifikation af tre typiske polymerer. Det er eftervist, at analyse baseret på de hyperspektrale emissionskarakteristikker kan anvendes til polymeridentifikation for plastemner, der ikke er sorte. Yderligere forsøg skal udføres i pilotskala for at færdigimplementere løsningen og afprøve algoritmerne og strategierne med et større antal forsøgsemner, før løsningens kommercielle potentiale kan vurderes.

7. Udvikling af robotbaneplanlægning og emneopsamling

Udviklingsaktiviteterne har primært fokuseret på at foretage opsamling af emner ud fra gribepunkter, der identificeres gennem en billedbehandlingsalgoritme, hvor et emnes geometriske form tages i betragtning. Det er lykkedes at tage udgangspunkt i den kommercielt anerkendte løsning kaldet PickMaster fra robotproducenten ABB til styring og koordinering af robotbevægelser under opsamling. Pickmaster er blevet forsynet med opsamlingspunkter fra det udviklede visionsystem. Formålet er at gøre de avancerede analysemetoder let integrerbare med kommercielle robotløsninger for dermed at gøre vejen til færdig implementering kortest mulig.

7.1 Robotbaneplanlægning

Robotbaneplanlægning handler om at bestemme, hvordan en robot skal bevæge sig for at udføre en bestemt handling. Når man taler om, at robotten bevæger sig fra A til B, menes der ofte, at robotten bevæger sin flange, altså spidsen af robotarmen, fra position A til position B. Da en robot ofte består af flere roterbare led, er denne operation ikke helt trivial. Det er heldigvis et emne, som robotproducenter har beskæftiget sig med i mange år, hvorfor der allerede er udviklet anvendelige løsninger.

I projektet er anvendt en ABB IRB 1200, en seksleddet, artikuleret industriel robotarm.

Foruden at kunne bevæge robotten til definerede positioner kan robotten sammen med specialiseret hardware og software også synkronisere sine bevægelser med et kørende transportbånd. Det har således ikke været nødvendigt at adressere disse problemstillinger i dette projekt.

I integrationen med robotten har det derimod været nødvendigt at synkronisere sensorsystemet med robotten og transportbåndet. Denne problemstilling har krævet, at der i projektet blev udviklet software, der kunne håndtere denne synkronisering.

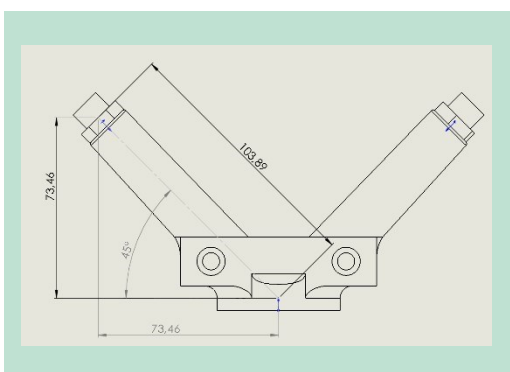
Hele processen med dataopsamling, gribepunktberedning og opsamling med robot har været demonstreret i løbet af projektet. Billedet i FIGUR 15 er taget under en af disse demonstrationer og viser robotten, som opsamler de plastikemner, der er identificeret med visionsystemet.



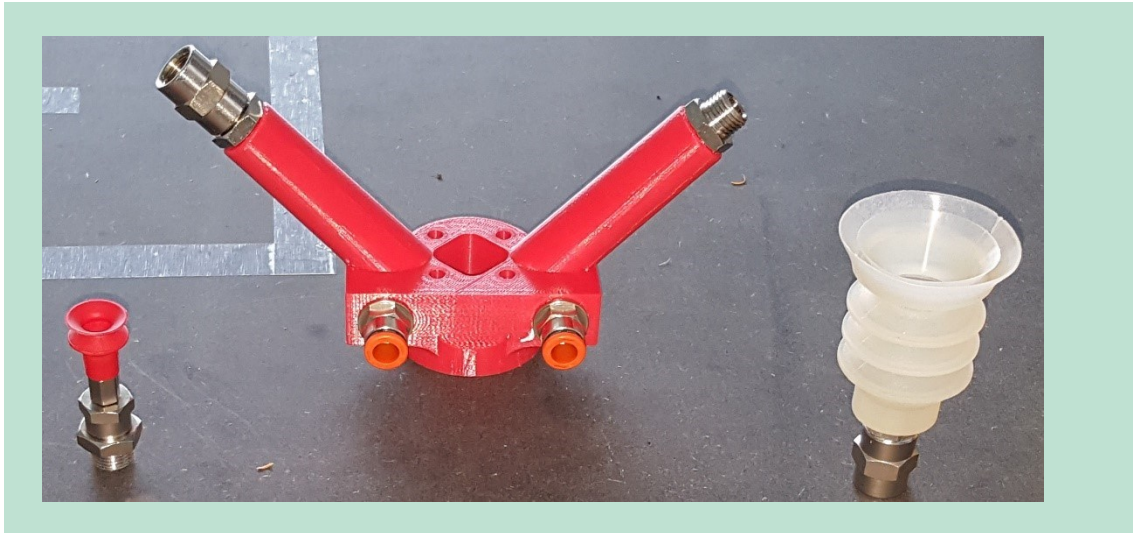
FIGUR 15. Billede fra demonstration af emneopsamling.

7.2 Robottens værktøj – griberdesign

Som det før er nævnt, er objekter i affaldsstrømmen en meget kaotisk størrelse, hvad angår geometriske former. Dvs. at fx en plastikbeholder kan gå fra at være nogenlunde intakt til at være mast flad, krøllet sammen eller iturevet. Denne variation kan gøre automatisk opsamling vanskelig. I projektet har vi valgt at fokusere på brug af vakuum og sugekopper til at gribe emnerne med. I erkendelse af den store variation af emnerne har vi dog valgt at undersøge muligheden for at lade robotsystemet have mulighed for at skifte mellem to forskellige størrelser af sugekop. Formålet har primært været konceptuelt – at vise, at robotsystemet kan gøres generisk gennem brug af flere værktøjer simultant. Den direkte fordel ved at have to størrelser sugekopper er muligheden for at opsamle mindre emner med den lille sugekop, der ellers risikerer at forsvinde ind i den store sugekop. Omvendt kan den store sugekop bruges til større emner. På FIGUR 16 ses en skitse af værktøjet, hvorpå to sugekopper kan monteres simultant. FIGUR 17 viser en 3D-printet prototype sammen med de to sugekopper, der var monteret under test.



FIGUR 16. Skitse af værktøj, hvorpå to sugekopper kan monteres.



FIGUR 17. 3D-print af det et udviklede værktøj samt to mulige sugeskopper.

7.3 Resultat

Det er lykkedes at tage udgangspunkt i den kommercielt anerkendte løsning ABB PickMaster til styring af robotten under opsamling og at sammenkoble dette med eksperimentelle vision-metoder udviklet i nærværende projekt. Derved er det vist at de avancerede analysemetoder kan integreres med kommercielle robotløsninger for dermed at gøre vejen til færdig implementering kortest mulig. Yderligere metodeudvikling er påkrævet for at opnå fuld udnyttelse af de hyperspektrale analyser igennem ABB PickMaster, men resultaterne fra projektet har vist, at det kan lade sig gøre.

8. Nye produkter, udbredelse og eksportmuligheder

Projektet adresserer en stigende efterspørgsel fra sorteringsvirksomheder, som ønsker udsorterede materialer af højere renhed og dermed økonomisk værdi, samt kommuner, som gerne vil gå forrest med høje genanvendelsesprocenter eller som minimum være klar til fremtidige højere krav til cirkulær økonomi.

Den teknologiske nyskabelse i projektet er et koncept for automatisk sortering af tørt husholdningsaffald med robotteknologi. Konceptet er endnu ikke et udbredt, hverken nationalt eller internationalt.

Eksisterende NIR-sorteringsenheder anvender en meget forsimplet udgave af konceptet, hvor der med én række af et par hundrede simple sensorer i en dimension analyseres materialeegenskaber, hvorefter materialet kan sorteres i to kategorier. Ved anvendelse af hyperspektrale, billeddannende kamerasystemer, som har dannet grundlag for en stor del af udviklingsaktiviteterne i dette projekt, er der arbejdet på en af de mest lovende teknologiske fronter inden for avancerede sensorer. Med målinger i to dimensioner og adskillige tusinde målepunkter er det muligt at analysere hele emner ud fra bl.a. form, tekstur og materialeegenskaber.

Hvor anvendelse af industrirobotter til opsamling af kendte, fikserede emner er standardiseret og anvendt i de fleste større produktionsvirksomheder, så er metoder til opsamling af kendte, men kaotisk orienterede emner (bin-picking) så nye, at teknologierne hertil kun er taget i brug få steder. I dette projekt er der arbejdet på metoder til automatisk opsamling af vilkårlige, ukendte emner, som ud over at være kaotisk orienterede, også skal kunne opsamles fra transportbånd i bevægelse. Denne opgave er på et teknologisk højt niveau, også i internationale robotkredse.

Kombinationen af disse to teknologigrupper har øget potentialet for at konstruere nye kommercielle løsninger. Fuldautomatiske sorteringsenheder, der anvender robotteknologi og avancerede hyperspektrale, billeddannende sensorer, som pga. størrelse og pris kan integreres i eksisterende sorteringsanlæg til tørt husholdningsaffald, findes endnu ikke hverken i Danmark, EU eller resten af verden.

De eksisterende teknologier på området er ikke målrettet til anvendelse inden for affaldssortering, men derimod til normal, industriel produktion, hvor der arbejdes med kendte og veldefinerede emner. Der er i øjeblikket stor efterspørgsel på effektive metoder til automatiseret affaldssortering fra både sorteringsvirksomheder (slutbrugere), reguleringspåtvungne instanser (kommunerne), og anlægskonstruktører (integratorer af robotløsninger). Alle ser de store potentielle fordele i disse teknologier, som kan hjælpe med at nå de stigende krav til genanvendelse af ressourcer.

Med metoder og teknologier, der er udviklet i dette projekt, kommer vi et stort skridt nærmere de fuldautomatiske sorteringsløsninger, der kan hjælpe med at dække dette uopfyldte behov. I projektet er det demonstreret, at den essentielle sensorteknologi er moden og tilgængelig, og at det er muligt at skelne plastobjekter på baggrund af materialetype, samtidig med at objekters geometriske og visuelle fremtræden er direkte tilgængelig i en opløsning, der tillader, at objekters visuelle udtryk kan medtages i en objektklassificeringsalgoritme.

Potentialet i at sammenkoble disse to informationsdomæner er ikke afdækket i dette projekt, men bør adresseres, da det udgør et muligt gennembrud inden for detaljeret affaldssortering.

De opnåede resultater viser dog, at der er et potentiale alene i at anvende hyperspektrale kamerateknologier kombineret med klassifikationsalgoritmer til at skelne fx polymerer, hvilket udgør en central proces i behandlingen af en blandet plastfraktion, da opdelingen af polymererne resulterer i en højere afsætningspris og i en øget mulighed for genanvendelse af plasten.

Der er behov for yderligere udvikling. Anses et kommercielt, fleksibelt sorteringssystem baseret på hyperspektral kamerateknologi og avanceret databehandling for det endelige slutprodukt, vil følgende punkter kræve yderligere udvikling:

- De oplærte klassifikationsalgoritmers generaliseringsevne skal testes på et større datasæt. Det forventes, at algoritmerne skal gentrænes. Dette bør gøres i et pilotforsøg.
- Interface mellem øvrige anlægskomponenter, herunder operatøren, skal udvikles.
- Dataflow og behandling skal optimeres, og det skal verificeres, at der kan opnås hastigheder, der gør systemet rentabelt.
- Businessmodellen, herunder også afsætningspriser, bør analyseres grundigt for at afklare rentabiliteten af at anvende avancerede sensorer og robotter i affaldssorteringsprocessen.

Da der ikke findes noget reelt alternativ foruden manuel sortering, forventes det, at en sådan højteknologisk sorteringsløsning vil være yderst konkurrencedygtige, og derudover vil konkurrenceevnen hos de sorteringsvirksomheder, som vælger at anvende teknologien, kunne forbedres.

De fleste sorteringsanlæg vil kunne drage fordel af at udvide produktionen med automatiseret sortering, og løsningen vil yderligere kunne danne grundstenen for fremtidens centraliserede sorteringsanlæg. Dette gælder både i Danmark og i resten af Europa, efterhånden som kravene til genanvendelse skærpes.

Ud over at skabe vækst for de enkelte sorteringsanlæg og bedre økonomi for kommunerne, som finansierer affaldshåndteringen, forventes yderligere skabelse af højteknologiske arbejdspladser hos de integrationsvirksomheder og teknologileverandører, som skal opbygge, installere og servicere de fuldt automatiske anlæg. Samtidig må der forventes et stort potentiale for eksport af ekspertviden og knowhow på området som følge af at være first-movers inden for området.

Den direkte målgruppe for de teknologier, som er udviklet i dette projekt, er samtlige integratorer af robotløsninger i Danmark. Mange af disse integratorer ønsker at komme ind på markedet for automatiseret affaldssortering, men mangler reelt metoder at implementere. Igennem dette projekt har der været fokus på netop at udvikle de efterspurgte teknologier. Det essentielle næste skridt er at underbygge businessmodellen ved at kortlægge investeringsbehovet og rentabiliteten af en løsning, der er i stand til at udsortere fraktioner i homogene underkategorier, som fx en plastfraktion, der opdeles i polymerer.

9. Anbefaling til fremtidige aktiviteter

9.1 Anvendelsespotentiale

Projektet har vist, at det er muligt at opbygge detaljeret information med et højopløst, hyperspektralt kamera både med hensyn til form og materialesammensætning. Der er behov for at videreudvikle på dette, således at teknologien kan implementeres på eksisterende sorteringsanlæg.

Ved anvendelse af avanceret teknologi kan renhedsgraden af affaldsfraktioner, der sendes videre til oparbejdning, højnes. Det kan medføre en bedre afsætningspris, ligesom affaldet kan afsættes direkte til oparbejdning frem for at skulle transporteres til store, specialiserede finsorteringsanlæg i fx Tyskland. Det vil være en positiv gevinst for CO₂-udledningen og for tankegangen om cirkulær økonomi at udnytte de ressourcer bedre, som allerede findes i landet.

Der er et stort potentiale i at implementere teknologien i fx robotsorteringsanlægget hos Nomi4s i Holstebro. Den sensortype og databehandling, der er demonstreret i dette projekt, rækker ud over, hvad der er muligt med den kommercielle NIR-sensor, der i øjeblikket anvendes i anlægget. Det skyldes den større og mere detaljerede information, der gøres tilgængelig med et hyperspektralt kamera. Kombineres dette med state-of-the-art databehandlingsmetoder, som fx deep learning, er potentialet stort for målrettet udsortering af en lang række forskellige fraktioner lige fra plastaffald til metal-, glas-, bygge- og elektronikaffald.

Omkostningsniveauet for den hardware og software, der er benyttet i dette projekt, beløber sig til ca. 800.000 til 1.200.000 kr. Omkostningerne omfatter hardware og essentielle softwarelicenser. Det forventes, at priserne på især hyperspektrale kamerateknologier samt softwarelicenser vil falde i den nærmeste fremtid, således at investeringsbehovet vil blive væsentligt reduceret. Det vil også øge incitamentet for at etablere flere sorteringsanlæg i Danmark, hvilket kan få stor betydning for den måde, hvorpå kommunerne vælger at få sorteret borgernes affald. I sidste ende kan det være til gavn for miljøet og betyde en bedre service for borgerne. Resultatet er mere affald til genanvendelse i høj kvalitet, mindre transport af affald og mindre behov for detaljeret kildesortering hos borgerne, som derfor ikke behøver flere affaldsbeholdere.

9.2 Perspektiv - Fleksible sorteringsrobotter

Det står klart, at ønsket om en effektiv affaldssortering er tiltagende, samtidig med at interessen for forskellige affaldsfraktioner ændres, i takt med at affaldssammensætningen og industriens efterspørgsel efter genbrugsmaterialer ændrer sig. Disse tendenser peger på en fleksibel løsning, der kan tilpasses de aktuelle samfundsøkonomiske forhold. I lyset af at automations- og robotteknologier bliver stadig mere tilgængelige, er fleksible sorteringsmoduler, som er baseret på standardindustrirobotter og avanceret vision- og sensorteknologi, rykket tættere på. Ikke kun teknisk, men også økonomisk, miljømæssigt og arbejdsmiljømæssigt er disse løsninger blevet mere interessante. En vision for en fremtidig løsning er fleksible og alsidige automationsmoduler, der kan indstilles til at håndtere mange forskellige fraktioner og udføre forskelligartede sorteringer.

Sorteringsmodulet skal kunne indsættes i nye eller eksisterende anlæg, hvor modulet indstilles til at udføre netop den sortering, der er behov for i procesanlægget – forsortering, finsortering eller komplet sortering. Det kan være at der skal fjernes spraydåser fra aluminiumsfraktionen, lukkede poser fra plastfraktionen, fugesprøjter fra plastfraktionen, batterier og WEEE fra husholdningsaffaldet, WEEE fra metalfraktionen. Der kan nævnes mange flere eksempler på emner, der skal fjernes for at opnå en renhed

og homogenitet, der gør affaldet genanvendeligt og dermed værdifuldt, eller for at sikre, at det værdifulde affald ikke ender i de forkerte fraktioner, på forbrændingen eller på deponi.

Det er samtidig en udfordring, at affaldssammensætningen ændrer sig, ligesom afsætningsmarkedet, afsætningspriserne og lovgivningen gør det. Det er således nødvendigt løbende at omstille sorteringen. Fx bevirker den stigende nethandel, at der optræder stadigt større mængder emballage i affaldet fra husholdninger, ligesom lovgivningen stiller stadigt større krav til mængden af materiale, der skal genanvendes. Der er derfor høj økonomisk risiko i at udvikle specialiserede, effektive løsninger til at håndtere affaldet, fordi de udviklede løsninger risikerer at have en kort levetid. Der er i stedet behov for, at der udvikles løsninger med en høj grad af fleksibilitet, således at løsningerne bliver mere omstillings- og tilpasningsvenlige og dermed langtidsholdbare.

Det er imidlertid mere komplekst at udvikle denne type løsninger, og udviklingen kræver innovativ nytænkning af nogle af de delkomponenter, som en endelig løsning vil være stykket sammen af. Det forventes, at de resulterende løsninger vil være mere økonomisk bæredygtige end eksisterende, kommercielle produkter. Det vurderes, at med det rette konsortium og med en finansiering i størrelsesordenen 10 til 20 mio. kr. over en 4-årig periode vil et pilotanlæg kunne etableres, der kan eftervise og modne teknologien i tilstrækkelig grad til, at en kommercialisering er inden for rækkevidde.

Projektets resultater vil kunne fødes direkte ind i denne vision.

Bilag 1. Notat vedrørende afsætning og modtagekrav



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
DK-8000 Aarhus C
Telefon 72 20 20 00
Telefax 72 20 10 19

info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Udvikling af avanceret sensor- og robotteknologi til optimeret sortering af tørt husholdningsaffald

Notat vedrørende afsætning og modtagekrav

Dato

22. februar 2017

Udarbejdet af

Kathe Tønning
Teknologisk Institut
Vand og Miljø

Indhold

1	Sammenfatning	3
2	Kortlægning af affaldssammensætning.....	5
2.1	Beskrivelse af affaldsstrøm	5
2.2	Fraktioner til afsætning	7
2.3	Kritiske emner i affaldsstrømmene	7
2.3.1	Pap, papir, plastfolie	7
2.3.2	Plast, metal og glas	8
2.4	Indsamlingsområder	11
3	Én samlet, tør fraktion.....	13
3.1	Sorteringsanlæg for en blandet, tør fraktion	13
3.2	Afsætning af materialer	13
3.2.1	DanFiber A/S	13
4	Forventninger til de enkelte materialetyper/fraktioners udvikling over tid	16

1 Sammenfatning

På AFLD's anlæg i Tarm behandles to genanvendelige fraktioner indsamlet i henholdsvis Varde Kommune og Grindsted-Billund Kommune.

De to genanvendelige fraktioner indsamles i en dobbeltbeholder hos private husstande i de to kommuner. I det ene rum i dobbeltbeholderen placeres glas, metal og hård plast, og i det andet rum placeres pap, papir og plastfolier.

Fra plast-, metal- og glasfraktionen afsættes fem fraktioner. Der er tale om PE-plast, blandet plast, blandede skår, jern og aluminium. Fra pap-, papir- og plastfoliefraktionen afsættes to fraktioner; henholdsvis plastfolie og en blandet papir- og papfraktion med maks. 10 % pap.

Der har været rettet henvendelse til Danbørs A/S, Danfiber A/S og Stena Recycling A/S vedrørende afsætningsmuligheder og -priser.

Disse henvendelser har resulteret i følgende:

Vedrørende plast

For samtlige plasttyper gælder det, at en klar/transparent fraktion kan afsættes til en højere pris end en farvet fraktion. Dette gælder såvel hårde plasttyper som plastfolier. Der er ikke en prismæssig fordel forbundet med at udsortere en farvet fraktion i fx hvid, grøn og rød plast.

Godsmæssigt kraftige produkter, som plastflasker og -dunke, er mere interessante både afsætningsmæssigt og økonomisk end godsmæssigt spinkle produkter, som fx frugtbakker og lignende.

Det påvirker ikke hverken afsætningsmuligheden eller -prisen, om en plastdunk/plastflaske er forsynet med låg eller ej.

Flasker/dunke mærket med faremærke må ikke indgå i plastfraktionen. Der er her tale om farligt gods. Dog må flasker/bøtter, der er mærket med kryds¹ (lokalirriterende), gerne indgå i plastfraktionen – fx rengøringsmidler.

En ren LDPE-foliefraktion, hvor foliestykkerne samtidig er større end A4, udløser en højere pris hos opkøberen end en fraktion, hvor andre folietyper også indgår. Papiretiketter må gerne forekomme på plastfolien, men betragtes som affald og indgår derfor i affaldsdelen for fraktionen. Fødevarerforurening må generelt ikke forekomme i plastfoliefraktionen.

Plastflasker/-beholdere til fedtholdige produkter er principielt ikke et problem. Det gælder også, selvom der er rester af produktet i emnerne, da platen vaskes med fedtopløsende sæbe. Det skal dog bemærkes, at disse restprodukter er at betegne som biologiske, og ifølge lovgivningen kræver eksport heraf særlig tilladelse. Det er en problematik, som Dansk Affaldsforening i øjeblikket² arbejder med og forsøger at finde en lovgivningsmæssig løsning på.

¹ Fra juni 2017 afløst af et "udråbstegn" (som både dækker lokalirriterende og sundhedsskadelig)

² Oktober 2016

Vedrørende metal

Metaleballagerne kan afsættes i en blandet fraktion, men udsorteres stort set altid i jern og aluminium, da aluminium er et højværdiprodukt og desuden er let at udsortere.

Spraydåser må ikke forefindes i en metalfraktion. Spraydåser er rubriceret som farligt affald. Det samme gør sig gældende for andre trykbeholdere – fx gasflasker fra campingudstyr og kulsyrepatroner fra sodavandsmaskiner.

Heller ikke metaldåser/-bøtter med flydende maling må være indeholdt i en metalfraktion.

Elektrisk affald (fx husholdningsapparater og andet apparatur med ledning) og elektronikdele (fx sparepærer, mobiltelefoner, routere) må heller ikke være til stede i metalfraktionen.

Metaleballage fra madvarer skal være tømt effektivt, så der ikke er rester af fødevarer tilbage. Forholdet omkring biologisk materiale gør sig også gældende her.

Glasemballage

Glasemballager kan afsættes i en blandet fraktion eller farvesorteret, men afsætningsprisen for klart glas er højere end for både farvet glas og blandet glas.

Indholdet af KSP (keramik, sten og porcelæn) har stor indflydelse på afsætningskvaliteten og -prisen. Kravene til renhed af fraktionen er, at den udover KSP skal være stort set fri for urenheder som metal/ikke-magnetisk metal og organisk stof som plast/papir.

Glasemballage med indhold af medicin må ikke indgå i glasfraktionen, mens rester af væsker og fødevarerester (fx vin, øl og syltetøj) ikke udgør et problem i glasfraktionen.

Papir

Kvalitetskravene til papir ved afsætning til papirfabrikkerne er iflg. CEPI³ maks. 0,5 % affald og maks. 2,5 % ikke ønskede papirtyper som pap og karton.

³ The Confederation of European Paper Industries

2 Kortlægning af affaldssammensætning

Nedenstående er belyst en række spørgsmål vedrørende diverse elementer i en affaldsstrøm, og hvorledes disse har indflydelse på de fraktioner, der skal afsættes. Der diskuteres både kvalitetsmæssige og prismæssige konsekvenser.

2.1 Beskrivelse af affaldsstrøm

På AFLD's anlæg i Tarm behandles to genanvendelige fraktioner indsamlet i henholdsvis Varde Kommune og Grindsted-Billund Kommune.

De to genanvendelige fraktioner indsamles i en dobbeltbeholder hos private husstande i de to kommuner.

I det ene rum i dobbeltbeholderen placeres hård plast, metal og glas, og i det andet rum placeres pap, papir og plastfolier.

Plast er i sorteringskriterierne defineret som plastemballage, herunder:

- Plastflasker
- Plastdunke
- Plastbøtter.

Metal er defineret som metalemballage, herunder:

- Øl- og sodavandsdåser
- Konservesdåser
- Låg fra marmeladeglas og lignende.

Glas er defineret som glasemballage, herunder:

- Olie-, eddike- og dressingflasker
- Vin- og spiritusflasker
- Øl- og sodavandsflasker
- Sylteglas
- Almindelige drikkeglas.

Pap er defineret som:

- Papæsker
- Bølgepap
- Karton
- Brunt pakkepapir m.m.

Papir er defineret som:

- Aviser
- Ugeblade
- Magasiner
- Reklamer
- Printerpapir
- Kuverter
- Rudekuverter
- Telefonbøger.

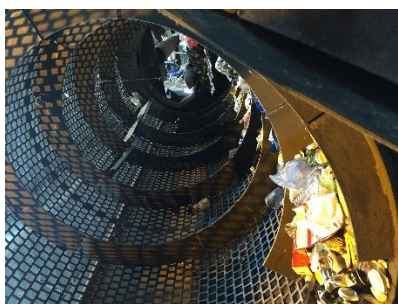
Plastfolie er defineret som:

- Plastposer
- Fryseposer
- Indkøbsposer.

Fraktionen, der består af hård plast, metal og glas, undergår en mekanisk sortering (tromlesigte, overbåndsmagnet og eddy current) efterfulgt af en manuel sortering til to plastfraktioner – henholdsvis PE-plast og blandet plast.



Figur 1 Fraktion (Hård plast, metal og glas) inden sortering



Figur 2 Tromlesigte



Figur 3 Plastfraktion efter sortering



Figur 4 Aluminiumsfraktion efter sortering

For fraktionen, der består af pap, papir og plastfolie, foretages en manuel frasortering af plastfolie og affald. Papir og pap afsættes samlet til en aftager,

der umiddelbart kan anvende denne blandede fraktion, hvor papindholdet maks. må udgøre 10 %.

2.2 Fraktioner til afsætning

Fra plast-, metal- og glasfraktionen afsættes således følgende fem fraktioner:

- PE-plast
- Blandet plast
- Blandede skår
- Jern
- Aluminium.

Fra pap-, papir- og plastfoliefractionen afsættes således følgende to fraktioner:

- Plastfolie
- Blandet papir- og papfraktion med maks. 10 % pap.

2.3 Kritiske emner i affaldsstrømmene

2.3.1 Pap, papir, plastfolie

De former for fejlsorteringer i denne affaldsstrøm, der giver kvalitetsmæssige problemer, udgøres af restaffald i enhver form; herunder specielt vådt affald. Disse fejlsorteringer frasorteres manuelt på anlægget.

2.3.1.1 Pap og papir

Papir (forstået som aviser, magasiner, reklamer og skrive-/trykpapir) udgør i almindelighed 80 % af den samlede papir-, pap-, kartonfraktion, mens pap og karton udgør de resterende 20 %¹⁰.

For pap- og papirfraktionernes vedkommende er der i modtagekravene på de anlæg, der aftager fraktionerne fra sorteringsanlægget, krav til andelen af fejlsorteringer. Kvalitetskravene til papir ved afsætning til papirfabrikkerne er iflg. CEPI⁴ maks. 0,5 % affald og maks. 2,5 % ikke ønskede papirtyper som pap og karton.

2.3.1.2 Plastfolie

For plastfoliens vedkommende er den plasttype, der umiddelbart kan afsættes, LDPE. Som tommelfingerregel er folie, der er større end en A4-side, LDPE. LDPE strækker sig, hvis man trækker i det. PET- og PP-folie knitrer, og folien knækker, hvis man prøver at strække den. Klar plastfolie er lettere afsætteligt og har en højere afsætningspris end farvet folie.

Fødevarerforurening må generelt ikke forekomme i plastfoliefractionen.

Papiretiketter på folien må gerne forekomme afhængigt af mængden. Etiketter betragtes som affald, og jo større andel af folien, etiketten dækker, jo større affaldsandel.

”Deutsche Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft un Rohstoffe mbH” angiver fx som produktspecifikation for plastfolie, at de enkelte foliestykker skal være større end A4. Den samlede fejlsortering/forurening må maksimalt udgøre 8 vægtprocent, heraf <0,5 % metal, <4 % anden plast og <4 % forurening i form af fx glas, papir, pap, aluminiumsbelagt plast, gummi, sten, træ, tekstil og bleer samt mad- og haveaffald.

⁴ The Confederation of European Paper Industries

2.3.2 Plast, metal og glas

Også her gør det sig gældende, at de fejlsorteringer, der giver kvalitetsmæssige problemer, udgøres af restaffald. Fejlsorteringer frasorteres manuelt på anlægget.

2.3.2.1 Plastemballage

Plastemballager kan afsættes i én blandet fraktion. Udsorteres plasten imidlertid i polymertyper, vil afsætningsprisen generelt være højere end for en blandet plastfraktion. Klar plast har generelt en højere afsætningspris end farvet plast.

I forhold til afsætningsmuligheder og -priser er en række forhold vedrørende plastfraktionen behandlet:

- Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt der er flere plasttyper i ét produkt – fx PET-flaske med PP-prop?
- Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt der er flere plasttyper i ét produkt – i form af "sandwichkonstruktioner"/co-ekstruderede emner?
- Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt der er sammensatte produkter (fx en plastlegetøjsbil med metalakslar) i plastfraktionen?
- Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt plastfraktionen er farvesorteret i fx klar, hvid, grøn, blå etc.?
- Hvilke plasttyper kan med fordel farvesorteres?
- Hvilke prisgradueringer kan der være tale om – hvad kan udløse en højere eller lavere pris?

Derudover er der set på, i hvilket omfang en forurening i form af restindhold i plastemballagerne, fx fødevarerester, påvirker afsætningsmulighederne og -prisen.

Klaus Damgaard, Danbørs A/S er kontaktet i forbindelse med besvarelse af ovenstående spørgsmål⁵.

Generelt kan det siges, at godsmæssigt kraftige produkter, som plastflasker og dunke, er mere interessante både afsætningsmæssigt og økonomisk end godsmæssigt spinkle produkter, som fx frugtbakker og lignende.

Ad: Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt der er flere plasttyper i ét produkt – fx PET-flaske med PP-prop?

Det har ingen betydning for hverken afsætningsmulighed eller -pris, om proppen på en flaske eller dunk er påsat eller ej, også selvom proppen er af et andet plastmateriale. Der kan typisk være tale om fx en PET-flaske med et PP-låg.

Det kan i nogle tilfælde være en fordel at anmode borgerne om at aflevere flasken/dunken uden låg, da flasken/dunken i så fald vil være tom. Indhold af væske eller andet i større mængde kan være til gene i fraktionen, da oparbejderen forventer at modtage plast og ikke levnedsmidler.

⁵ Mailkorrespondance september 2016

Ad: Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt der er flere plasttyper i ét produkt – i form af "sandwichkonstruktioner"/co-ekstruderede emner?

Disse emner kan i forvejen kun afsættes til en meget lav pris, hvorfor det sandsynligvis ikke påvirker afsætningsprisen, hvis de optræder i en plastfraktion i begrænset mængde.

Ad: Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt der er sammensatte produkter (fx i form af en plastlegetøjsbil med metalaksler) i plastfraktionen?

Principielt skal man søge tilladelse ved eksport af en sådan fraktion, da to materialer (fx plast og metal) ikke må eksporteres i én fraktion. Reelt udgør sammensatte produkter et begrænset problem.

Ad: Påvirker det afsætningsmulighederne og -prisen, såfremt plastfraktionen er farvesorteret i fx klar, hvid, grøn, blå etc.?

En plastfraktion bestående af en klar/transparent fraktion kan generelt afsættes til en højere pris end en farvet fraktion. Der er ikke en prismæssig fordel forbundet med at udsortere en farvet fraktion i fx hvid, grøn og rød plast.

Ad: Hvilke plasttyper kan med fordel farvesorteres?

For samtlige plasttyper gælder det, at en klar/transparent vare kan afsættes til en højere pris end en farvet. Dette gælder såvel hårde plasttyper som folier.

Ad: Hvilke prisgradueringer kan der være tale om – hvad kan udløse en højere eller lavere pris?

Ud over en prisgraduering for en klar/transparent fraktion i forhold til en farvet og/eller en blandet fraktion vil en plastfoliefraktion bestående af større plaststykker end A4, og hvor plastfolien samtidig kan strækkes (tegn på, at plastfolien er LDPE), udløse en højere pris hos opkøberen end en fraktion, hvor andre folietyper indgår.

Forurening af plastemballager i form af fødevarerester

Emballager til vand/sodavand bør ikke være i plastfraktionen, men beskadiger ikke fraktionen som sådan og influerer ikke på afsætningsmuligheder og -pris, såfremt de optræder i begrænset omfang. Som ovenfor nævnt forventer oparbejderne dog at modtage plast og ikke vand/sodavand.

Flasker og beholdere til ketchup, remoulade, mayonnaise, hår- og bodyshampoo etc. og til fedtholdige produkter til personlig pleje (fx lotions og solcreme) samt bølter med mælkebaserede produkter (fx skyr, yoghurt etc.) er principielt ikke et problem. Det gælder også, selvom der er rester af produktet i emnerne, herunder olieholdige rester som mayonnaise, solcreme etc., da plasten vaskes med fedtopløsende sæbe. Dog gør sig gældende som tidligere nævnt, at opkøberen forventer at modtage et plastmateriale og ikke et restindhold. Derudover skal det nævnes, at disse restprodukter er at betegne som biologiske, og at eksport heraf ifølge lovgivningen kræver særlig tilladelse. Det er en problematik, som Dansk Affaldsforening i øjeblikket arbejder med og forsøger at finde en lovgivningsmæssig løsning på.

Ovenstående gør sig også gældende for fx bølter med italiensk salat, kartoffelsalat, saucer og lignende. Også for bakker med mindre rester af frugt eller grøntsager (fx vindruer og gulerødder), bakker med kødsaft, bakker med fx pålæg og kødrester samt urtepotter med jordrester gør det sig gældende, at dette principielt ikke udgør et problem, men som allerede nævnt flere gange forventer oparbejderne ikke at modtage og betale for fødevarerester og

lignende, men for plastmaterialer. Samtidig er der her problematikken med transport af biologisk affald.

Sort plast må ligeledes gerne indgå i plastfraktionen. Der er ikke mange anlæg i Europa, der frasorterer sort plast til en selvstændig fraktion (mekanisk eller manuelt), men der pågår en udvikling, der forventes at medføre, at en mekanisk sortering af den sorte plast på sigt vil blive økonomisk rentabel.

Flasker/dunke mærket med faremærke må ikke indgå i plastfraktionen. Der er her tale om farligt gods. Dog må flasker/bøtter, der er mærket med kryds, gerne indgå i plastfraktionen – fx rengøringsmidler.

Plastemballage med indhold af medicin må ikke indgå i plastfraktionen. Disse skal afleveres på apotek.

Plastemballager med restindhold af maling må ikke indgå i plastfraktionen.

2.3.2.2 *Metalemballage*

Metalemballagerne kan afsættes i en blandet fraktion, men udsorteres stort set altid i jern og aluminium, da aluminium er et højværdiprodukt og desuden er let at udsortere.

I forhold til afsætningsmuligheder og -priser er der set på, i hvilket omfang en forurening i form af restindhold i metalemballagerne, fx fødevarerester, har en påvirkning.

Klaus Damgaard, Danbørs er kontaktet i forbindelse med besvarelse af disse spørgsmål.

For dåser med væsker i form af fx vand, øl eller sodavand og konservesdåser med fødevarerester (fx fiskekonserves og flåede tomater) gør det samme sig gældende som for plastemballager med dette indhold, nemlig at indhold af væske eller andet i større mængde kan være til gene i fraktionen, da oparbejderen forventer at modtage metal og ikke levnedsmidler. Samtidig gør forholdet omkring biologisk materiale sig også gældende her.

Steen Hansen, Stena Recycling A/S er kontaktet i forbindelse med spørgsmål vedrørende tilstedeværelse af spraydåser, dåser med malingsrester i metalfraktionen og andet, der kan være til gene for oparbejderen, eller som ikke må forefindes i fraktionen pga. miljøkrav⁶.

Spraydåser må ikke forefindes i en metalfraktion, der skal oparbejdes hos Stena Recycling A/S. Spraydåser er rubriceret som farligt affald og skal håndteres som sådan. Spraydåser skal frasorteres hos affaldsproducenten.

Stena Recycling A/S modtager gerne en fraktion, der alene indeholder spraydåser indsamlet på fx genbrugspladser. Disse spraydåser punkteres og tømmes inden videre oparbejdning. Det samme gør sig gældende for andre trykbeholdere – fx gasflasker fra campingudstyr og kulsyrepatroner fra sodavandsmaskiner.

Heller ikke metaldåser/-bøtter med flydende maling må være indeholdt i en metalfraktion, idet der også her er tale om farligt affald. Der må gerne være rester af fx indtørret maling i dåserne i mængder svarende til andre maledede emner, men ikke rester af flydende maling og større rester af indtørret maling.

⁶ Mailkorrespondance september 2016

Elektrisk affald (fx husholdningsapparater og andet apparatur med ledning) og elektronikdele (fx sparepærer, mobiltelefoner, routere) må heller ikke være til stede i metalfraktionen. Al elektrisk og elektronisk skrot skal forbehandles som beskrevet i WEEE-bekendtgørelsen.

Emballage fra madvarer skal være tømt effektivt, så der ikke er rester af fødevarer tilbage. Ud over det rent hygiejniske for personalet kan det også føre til rotteproblemer og evt. lugtgener.

2.3.2.3 Glasemballage

Glasemballager kan afsættes i en blandet fraktion eller farvesorteret.

Kravene til renhed af fraktionen er, at den skal være stort set fri for urenheder som keramik, sten, porcelæn, metal/ikke-magnetisk metal og organisk stof som plast/papir.

En forureningskilde, der har stor indflydelse på afsætningskvaliteten og -prisen, er indholdet af KSP (keramik, sten og porcelæn).

Afsætningsprisen for klart glas er højere end for både farvet glas og blandet glas.

I forhold til afsætningsmuligheder og -priser er der set på, i hvilket omfang en forurening i form af restindhold i glasemballagerne, fx fødevarerester, har en påvirkning.

Klaus Damgaard, Danbørs A/S er kontaktet i forbindelse med besvarelse af disse spørgsmål.

Rester af væsker og fødevarerester (fx vin, øl og syltetøj) udgør ikke noget problem i glasfraktionen.

Glasemballage med indhold af medicin må ikke indgå i glasfraktionen. Disse skal afleveres på apotek.

2.4 Indsamlingsområder

Anlægget behandler i dag indsamlede genanvendelige fraktioner fra Varde og Billund Kommune. Demografien i de to kommuner er meget ens, dog er der lidt flere etageboliger i Varde Kommune end i Billund Kommune⁷.

Den gennemsnitlige husstandsstørrelse i enfamilieboliger er traditionelt større end i etageboliger. Hermed er også den potentielle mængde af de fleste af de genanvendelige fraktioner, der tilføres til behandling på sorteringsanlægget, større fra enfamilieboliger end fra etageboliger.

En affaldsanalyse af dagrenovationen fra henholdsvis enfamilieboliger og etageboliger gennemført i Aarhus Kommune i 2014 viser, at den potentielle plastmængde her udgør ca. 28 kg pr. husstand pr. år i enfamilieboliger, mens mængden fra etageboliger udgør ca. 21 kg pr. husstand pr. år.

Metalemballagerne udgør 9 kg pr. husstand pr. år i enfamilieboliger mod ca. 7 kg pr. år fra etageboliger.

⁷ Kilde: Driftschef Martin Toft Poulsen, august 2016

Traditionelt er indsamlingseffektiviteten lavere fra etageboliger end fra enfamilieboliger, ligesom renheden af de indsamlede fraktioner flere steder er bedre i enfamilieboligområder end i etageboligområder.

Hvor rent skal sorteret affald være?

Af Miljøstyrelsens hjemmeside⁸ (31. januar 2017) fremgår fire nye film fra Miljøstyrelsen, der guider danskerne, så det bliver nemmere at sortere affald til genanvendelse.

En af disse fire film har titlen: Hvor rent skal affald være? Af filmen fremgår tre hovedpunkter:

1. Papir, pap og karton skal være rent og tørt
2. Plast og metal skal være tømt for indhold – brug kun vand, hvis det er nødvendigt
3. Glas behøver ikke at være helt rent.

⁸ <http://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2017/jan/hvor-rent-skal-sorteret-affald-vaere/>

3 Én samlet, tør fraktion

Herning Kommune overvejer en indsamling, hvor alle tørre materialer indsamles i én samlet fraktion. Sorteringskriterierne for en sådan fraktion er ikke endelig defineret.

3.1 Sorteringsanlæg for en blandet, tør fraktion

Et anlæg drevet af Veolia Environmental Services beliggende i Greenwich, London behandler en fraktion bestående af papir og pap, hård plast og plastfolie, jern og metal samt glas.

Anlægget har en kapacitet på 75.000 tons pr. år.

Sortering af papir og pap er baseret på forsortering med rotertromle og ballistisk separator. En luftkniv (vindsigte) benyttes til at blæse poserester/folier væk, mens endnu en luftkniv bruges til at separere enkelte ark papir fra tungere papir (aviser og ugeblade) og pap. Enkelte ark af papir renses i to kaskadetårne (vindsigter i zigzagudformning).

Den tunge fraktion fra luftkniven ledes til en Titech Papersort-enhed (Papersort), som fraseparerer pap/karton fra aviser og ugeblade med JET-separation. Titech Papersort-enheden er udstyret med NIR og farvekamerasensor.

Selvom der benyttes avanceret teknologi, er det nødvendigt med manuel kvalitetskontrol af både produceret papir og pap for at opnå en høj, ensartet kvalitet.

Resten af anlægget omfatter almindelig jernseparation med overbåndsmagnet og separation af aluminium med eddy current-separation.

Glas frasorteres ved brug af en skivesigte, der separerer skår fra plastemballagen. Skårene oprenses for plastfilm og papirrester med en destoner (der ryster, mens lette materialer blæses væk), og KSP (keramik, sten, porcelæn) frasepareres med en JET/farve-KSP-separator.

Til sidst frasorteres plasten med en NIR-separator, der er indstillet til at fraseparere al brugbar plast. Efter manuel eftersortering sendes plastblandingen til yderligere oparbejdning andetsteds⁹.

3.2 Afsætning af materialer

Afsætningsmuligheder for papirmaterialer indsamlet i én samlet, tør fraktion er undersøgt ved kontakt til Danfiber A/S.

3.2.1 DanFiber A/S

Oplysninger fra Niels Søgaard, DanFiber A/S fremgår af nedenstående.

”En samlet, tør fraktion vil for papirfraktionernes vedkommende højst sandsynlig i forbindelse med afsætning medføre en nedgradering af de

⁹ Kilde: Miljøprojekt nr. 1559, 2014 ”Automatisk affaldssortering – teknologier og danske udviklings- og produktionskompetencer”

udsorterede papirfraktioner, idet det er vanskeligt at frembringe en ren papirfraktion, såfremt papiret (forstået som en fraktion bestående af aviser, magasiner, reklamer og skrive-/trykpapir) er indsamlet sammen med andre materialer. Det gælder, både når papir er indsamlet sammen med andre papir-/pap-/kartonmaterialer og andre materialer fx metal, glas og plast. De udsorterede papirmaterialer vil højst sandsynligt skulle afsættes som blandet papir.

P.t. er forskellen i pris på papir og blandet papir ca. 225 kr. (ca. 30 euro). Hertil skal lægges omkostninger til selve sorteringen af den blandede fraktion, som sandsynligvis vil beløbe sig til mellem 150 kr. og 250 kr. pr. ton.

Såfremt papir har været indsamlet sammen med glas, skal man være forberedt på, at papirfraktionerne kan blive reklameret og i værste tilfælde bliver afvist hos aftagerne. Et sikker sorteringsløsning til meget blandede fraktioner (glas, plast mv.) vil kræve en forholdsvis stor investering.

En tør fraktion bestående af papir, pap, metal og plast vil kunne sorteres, og papiret kan afsættes, men her gør det sig igen gældende, at man må forvente, at papiret skal afsættes som blandet papir med hertil hørende lavere pris og større usikkerhed for afsætning, grundet færre afsætningskanaler. Sortering af en sådan fraktion kan foretages på et mindre sorteringsanlæg ved hjælp af manuel håndtering, men må forventes at ligge på en sorteringspris på minimum 250 kr./ton, stigende afhængigt af mængden af forskellige materialer.

Kvalitetskravene til papir ved afsætning til papirfabrikkerne er iflg. CEPI maks. 0,5 % affald og maks. 2,5 % ikke ønskede papirtyper som pap og karton. Disse procentsatser kan det være meget svært at overholde, såfremt papiret er indsamlet i en blandet papir-/pap-/kartonfraktion. Ofte ser man, at pap rives i småstykker i husholdningen, netop for at udnytte beholderen bedst muligt, og dette afstedkommer en næsten umulig udsortering.

Såfremt man ønsker at etablere en henteordning for indsamling af papir og pap, er den mest hensigtsmæssige måde at indsamle dette materiale på, at husstandene forsynes med en dobbeltbeholder, hvor aviser, magasiner, reklamer og skrive/tryk-papir placeres i det ene rum i dobbeltbeholderen, og emballagekarton og pap placeres i det andet rum. Det er ydermere muligt at indsamle pizzakarton, cornflakeskarton, skoæsker, tetrapak mv. i "papfraktionen", med en øget genanvendelsesgrad som resultat. Sidstnævnte fraktion har en mere begrænset afsætningsmulighed, men der findes en række anlæg i Europa til dette. Større papemballage bør afleveres på genbrugsstation og/eller indsamles som storskrald. Såfremt større papemballage neddeles af borgerne for at placere disse i beholdermateriellet, risikeres som nævnt ovenfor, at papstykkerne bliver så små, at de er vanskelige at frasortere på et efterfølgende papirsorteringsanlæg.

Når denne indsamlingsmetode betegnes som meget hensigtsmæssig skyldes det, at de papirfraktioner, der fremkommer ved en sådan indsamling, ikke kræver efterfølgende sortering (afsættes som henholdsvis papir og blandet pap), og er umiddelbart let afsættelige. Avisfraktionen kan samtidig afsættes til en højere pris, end hvis papir, pap og karton indsamles samlet. En typisk pris for pap iblandet karton, tetrapak m.m. ligger typisk 20-30 euro/ton under prisen for rent pap.

Papir (forstået som aviser, magasiner, reklamer og skrive/tryk-papir) udgør i almindelighed 80 % af den samlede papir-, pap-, kartonfraktion, mens pap og

karton udgør de resterende 20 %. Dvs. at man får den høje pris for 80 % af materialet. Dette forhold er dog under pres i et marked, hvor avidelen er konstant faldende (5-6 % pr. år).

Papirfraktionen er som ovenfor nævnt let afsættelig og kan afsættes til en højere pris end en blandet fraktion. Samtidig kan papirfraktionen afsættes fx til Hartmann i Tønder (Danmark) eller til fabrikker i Nordtyskland, mens en blandet fraktion skal transporteres længere med en hertil hørende højere fragtrate. CO₂-regnskabet ved kørt afstand påvirkes med ca. 10 % fra selve transporten, dog afhængig af hvilken papirfabrik der leveres til¹⁰.

¹⁰ Mail korrespondance med Niels Søgaard, Danfiber A/S oktober 2016

4 Forventninger til de enkelte materialetyper/fraktioners udvikling over tid

Det er selvsagt meget vanskeligt at sige noget konkret om materialers og emballagers udvikling i en fremtidig årrække på fx 3, 5 eller 10 år.

For papirets vedkommende er det forventeligt, at avismængderne fortsat vil være faldende. For øjeblikket er mængden af aviser konstant faldende med 5-6 % pr. år, og der er intet, der tyder på, at dette vil ændre sig fremover. De elektroniske medier vinder fortsat frem.

Derimod er det forventeligt, at papmængden vil være stigende. For en del år siden udgjorde pap fra husstande en ubetydelig andel af den samlede papmængde i Danmark. Stort set alt pap, der blev indsamlet, stammede fra virksomheder. Internethandlens fremdrift betyder imidlertid, at der i dag også fremkommer en del pap hos husstande. Det er forventeligt, at internethandlen vil være stigende, også i årene fremover.

For plastens vedkommende er det forventeligt, at der vil være stadig stigende mængder indsamlet plast til rådighed på markedet, eftersom udbredelsen af indsamlingsordninger er stadig stigende, og ikke kun i Danmark, men i Europa som helhed, da kravene fra EU til genanvendelsesgraden af plastfraktionen ser ud til at være stigende. Om efterspørgsel efter genanvendt plast kan opsluge hele denne mængde er umuligt at afgøre, men det må forventes, at højkvalitetsplast og polymersorteret plast vil være lettere afsætteligt end en blandet plastfraktion.

Hvorledes udviklingen af nye bioemballager vil påvirke både indsamlede mængder, afsætningsmulighed og -pris for traditionelle emballageformer er uvist. Fx arbejder Carlsberg med udvikling af en bæredygtig træfiberflaske som forventes testet på et pilotmarked i 2018¹¹.

Også IKEA planlægger at benytte sig af bio-emballage. Emballagen, som er skabt af svampe og har en nedbrydningstid på et par uger, er en miljøvenlig erstatning (for de konventionelle emballager af plastmaterialet polystyren) med det formål at reducere spild og øge genbrug¹¹.



Carlsbergs træfiberflaske.



Eksempel på IKEAs bioemballage fremstillet af svampe. Bag metoden står firmaet Ecovative. Foto: Ecovative¹²

¹¹ <http://rethinkbusiness.dk/2016/10/04/carlsberg-ikea-udvikler-nye-bio-emballager/>

¹² <http://csr.dk/ikea-vil-bruge-emballage-lavet-af-svampe>

Udvikling af avanceret sensor- og robotteknologi til optimeret sortering af tørt husholdningsaffald

Projektet har fokus på at effektivisere udsorteringen af genanvendeligt tørt husholdningsaffald ved anvendelse af hyperspektral kamerateknologi. Det er lykkedes at vise, at de eksperimentelle vision-metoder udviklet i projektet kan integreres med kommercielle robotløsninger.

Projektet er gennemført af Teknologisk Institut i samarbejde med AFLD I/S, Nomi4s samt Herning Kommune.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk