



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Udvikling af plastem- ballager i en cirkulær økonomi

Rette kvalitet til rette anvendelse



MUDP Rapport

Januar 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Maria Dahl	Aage Vestergaard Larsen
Bo R. Jakobsen	Aage Vestergaard Larsen
Daniel Hürdum	Nopa Nordic A/S
Maria Bønnelykke	Nopa Nordic Allison
Morten Jeppesen	Schela Plast A/S
Bjørn Malmgren-Hansen	Teknologisk Institut
Mathias Kirk Thøgersen	Teknologisk Institut
Sofie Kastbjerg	Teknologisk Institut
Per Sigaard Christensen	Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-7038-576-3

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.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk

Web: www.ecoinnovation.dk

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	6
Forkortelsesliste	7
1. Sammenfatning og konklusion	8
2. Introduktion	10
2.1 Plastaffald, genanvendelse og cirkulær økonomi	10
2.2 Plastens kvalitetshierarki	10
2.3 Genanvendt plast til kosmetikemballage	11
2.4 Projektets formål	13
3. Regulatoriske rammer	15
3.1 Krav til kosmetikemballage	15
3.1.1 Kosmetikforordningen	16
3.2 Sikkerhedsvurdering og migration af kemiske stoffer	17
3.3 Opsummering af regulatoriske rammer	18
4. Kravspecifikation til HDPE- emballagematerialer	19
4.1 Materialeegenskaber	19
4.2 Proces- og emballagekrav	19
4.3 Ensartetheden af materiale	20
4.4 Sikkerhed og arbejdsmiljø	20
5. Indledende vurdering af tilgængelig PCR-plast	21
5.1 Udvælgelse af kilde til PCR-plast	21
5.2 Indledende renhedsvurdering af forskellige plastkilder	23
5.2.1 Migrationstest	23
5.2.1.1 Indhold af antioxidanter	23
5.2.1.2 Indhold af blødgørere	25
5.2.1.3 Indhold af primære aromatiske aminer	25
5.2.1.4 Indhold af UV-stabilisatorer	27
5.2.1.5 Indhold af andre stoffer	28
5.2.2 Screening af flygtige stoffer med PTR-MS	29
5.3 Konklusion på indledende vurdering af tilgængelig PCR-plast	31
6. Udvikling af oparbejdningsteknologi	32
6.1 Strategi for udviklingsforsøg	32
6.2 Vaskeproces	32
6.3 Termisk rensning	35
6.3.1 Fastlæggelse af den øvre behandlingstemperatur	35
6.3.2 Termisk rensning i laboratorieskala	36
6.3.3 Fastlæggelse af termisk behandlingstid	37
6.4 Ekstruderingsproces	39
6.4.1 Ekstruderingsstemperatur	39
6.5 Konklusion på udviklingsforsøg	42
7. Udvikling af plastemballager i højkvalitets-PCR-HDPE	43
7.1 Valg af emballageformat til storskalatest	43

7.2	Oparbejdningsforsøg i storskala	43
7.3	Effekt af migrationsbetingelser	45
7.4	Udvikling af fremstillingsproces for emballager	46
7.5	Migrationsanalyser på støbte flasker	47
7.6	Toksikologisk evaluering og sikkerhedsvurdering af udviklede emballage	50
7.7	Migrationsresultater – Lovgivningsmæssig vurdering	51
7.7.1	Resultater fra NIAS-screeninger	51
7.8	Toksikologisk sikkerhedsvurdering og konklusion	52
7.8.1	Metode	52
7.8.2	Resultat af toksikologisk sikkerhedsvurdering	52
7.9	Konklusion på kvalitetstest for PCR-emballager	52
8.	Kvalitetssikringsprocedurer	54
8.1	Krav til kvalitetssikringsprocedurer	54
8.1.1	Løbende kvalitetssikring	54
8.2	Opsummering af kvalitetssikringsprocedurer	55
9.	Miljøeffekter, businesscases og implementering	57
9.1	Genanvendelses- og miljøeffekter	57
9.2	Businesscase AVL	59
9.2.1	Kostpris plastoparbejdning	59
9.2.2	Implementering	60
9.3	Businesscase og implementering hos Schela Plast	61
9.4	Businesscase og implementering hos Nopa Nordic	61
9.4.1	Implementering	61
9.5	Konklusion på miljøeffekter og implementering	62
10.	Konklusion	63
11.	Summary	65
	Bilag 1 – Toksikologisk evaluering af migrerbare stoffer	67

Forord

Dette er slutrapporten for projektet 'Udvikling af plastemballager i en cirkulær økonomi - Rette kvalitet til rette anvendelse' under Miljøministeriets Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP). Projektet er gennemført i perioden fra 1. januar 2021 til 30. april 2023 som et samarbejde mellem Aage Vestergaard Larsen A/S, Schela Plast A/S, Nopa Nordic A/S og Teknologisk Institut.

Det overordnede formål med projektet har været at forbedre forsyningen af 'post-consumer-recycled' (PCR) plast til emballering af forbrugerprodukter til personlig pleje, kosmetik og rengøringsmidler. Dansk husstandsindsamlet HDPE-plast har indtil nu været begrænset til applikationer med relativt lave krav, men gennem projektets udvikling af nye miljøteknologiske løsninger er kvaliteten af den oparbejdede husstandsindsamlede (PCR) plast blevet højnet tilstrækkeligt til anvendelse som kosmetikemballager. Oparbejdningssprocessen øger anvendelsespotentialet og mængden af genanvendt plast til emballageprodukter og bidrager således til øget cirkulær genanvendelse af disse produkter.

Fokus i projektet har ligeledes været på udvikling af nødvendige kvalitetssikringsprocedurer med henblik på at sikre, at det udviklede genanvendte materiale er sundhedsmæssigt forsvarligt at anvende til de specifikke formål. Dette har resulteret i udarbejdelsen af et forslag til indledende og løbende kvalitetssikring af det genanvendte plastmateriale.

Rapporten indledes med en introduktion til projektets baggrund vedrørende problematikkerne om begrænset anvendelse af husstandsindsamlede plastfraktioner og de regulatoriske rammer, som er gældende for brug af genanvendt plast til kosmetikemballage (hvh. kapitel 2 og kapitel 3). Med udgangspunkt i de regulatoriske rammer opstilles kravspecifikationer til emballageplasten fra forskellige led af værdikæden i kapitel 4. I kapitel 5 etableres en baseline for kvaliteten af eksisterende PCR-plast fra forskellige tilgængelige kilder fra hele verden gennem en sammenlignende kvalitetsscreening. Det er dette kvalitetsniveau, der sigtes efter at forbedre gennem udviklingsarbejdet, som beskrives i hvh. kapitel 6 (oparbejdningsteknologi) og kapitel 7 (produktionen af emballageprodukter). Afslutningsvist gives der forslag til kvalitetssikringsprocedurer i forhold til dokumentation af den opnåede kvalitet af det genanvendte materiale (kapitel 8) samt en evaluering af de miljømæssige og økonomiske effekter, som projektets resultater forventes at have (kapitel 9).

Projektets styregruppe har bestået af:

- Franz Cuculiza, Aage Vestergaard Larsen A/S
- Morten Jeppesen, Schela Plast A/S
- Nikolai Haulrik, Nopa Nordic A/S
- Sofie Kastbjerg/Per Sigaard Christensen, Teknologisk Institut

Øvrige aktive projektdeltagere var:

- Maria Dahl, Aage Vestergaard Larsen A/S
- Bo R. Jakobsen, Aage Vestergaard Larsen A/S
- Daniel Hürdum, Nopa Nordic A/S
- Maria Bønnelykke, Nopa Nordic Allison
- Bjørn Malmgren-Hansen, Teknologisk Institut
- Mathias Kirk Thøgersen, Teknologisk Institut

Forkortelsesliste

AEL	Assigned Exposure Limit
AVL	Aage Vestergaard Larsen
CMR	Carcinogenic, Mutagenic og Reprotoxic
DSC	Differential Scanning Calorimetry
EFSA	Den Europæiske Fødevarsikkerhedsautoritet
GC-MS	Gas Chromatography – Mass Spectrometry
HDPE	Høj-densitets-polyethylen
LC-MS	Liquid Chromatography – Mass Spectrometry
MFI	Melt-flow index
MoS	Margin of Safety
NIAS	Non-intentionally added substances
NIR	Near-infrared spectroscopy
OIT	Oxidation induction time
PAH	Polycykliske aromatiske kulbrinter
PCR	Post-consumer recycled
PET	Polyetylentereftalat
PFAS	Polyfluorede alifatiske stoffer
POD	Point of Departure
PP	Polypropylen
PTR-MS	Proton Transfer Reaction – Mass Spectrometry
PAA	Polyaromatiske aminer
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
SED	Systemic Exposure Dosage
SVHC	Substances of Very High Concern
T	Temperatur (°C)
t	Tid (timer)
TTC	Threshold of Toxicological Concern
VOC	Volatile Organic Compounds

1. Sammenfatning og konklusion

En cirkulær plastøkonomi forudsætter, at plastaffald fra et produkt kan genanvendes til et nyt produkt med de samme kvalitets- og renhedskrav. Når det gælder fødevareemballager og medicoprodukter, er kravene til plastens renhed (og sporbarhed) veldefinerede, men for mange andre produktkategorier er kvalitetskravene ikke præciserede i dag. Det betyder, at producenter ud fra et forsigtighedsprincip kun anvender genanvendt plast, der opfylder kravene til fødevarekontaktmaterialer, selvom det ikke er nødvendigt for at kunne anvende en specifik post-consumer recycled (PCR) plast til fx emballering af rengøringsmidler eller kosmetikprodukter. Der er imidlertid langt fra tilstrækkelige mængder af fx PCR-HDPE i fødevarekvalitet til at dække hele efterspørgslen på genanvendt PCR-HDPE til emballage til personlig pleje og kosmetikprodukter eller rengøringsmidler.

På denne baggrund er der gennem nærværende MUDP-projekt, *Udvikling af plastemballager i en cirkulær økonomi – Rette kvalitet til rette anvendelse*, blevet udviklet og demonstreret nye miljøteknologiske løsninger, som muliggør sikker anvendelse af genanvendt husstandsindsamlet HDPE til brug som kosmetikemballage for både *leave-on* og *rinse-off* produkter. Projektet bygger videre på konklusionerne fra Miljøstyrelsens forundersøgelse *Indledende sikkerhedsvurdering af genanvendt plast til emballering af kosmetiske produkter* (2021, Miljøprojekt nr. 2174).

Efter indledende udvælgelse af en lovende kilde af polymersorteret husstandsindsamlet (post-consumer) plastaffald blev betydningen af centrale enhedsoperationer i plastoparbejdningsprocessen testet og evalueret med henblik på videreudvikling. Gennem udvikling af en effektiv vaskeproces, termiske behandlinger og optimering af ekstruderingsstemperaturen lykkedes det at nedbringe indholdet af uønskede kemiske kontaminanter i det fremstillede plastgranulat. Det oparbejdede granulat blev herefter anvendt til støbning af flasker.

Kosmetikforordningen bekendtgør, at kosmetiske produkter skal være sikre for menneskers sundhed ved normal og rimelig forudseelig brug, hvilket i praksis betyder, at der skal udføres en sikkerhedsvurdering. Denne skal blandt andet indeholde informationer om emballeringsmaterialet og en vurdering af eventuelle risici ved materialets kontakt med det kosmetiske produkt. Med henblik på at efterleve disse retningslinjer blev der for de fremstillede plastemballager i PCR HDPE udvalgt og gennemført omfattende analyseprogrammer, inklusiv migrationsanalyser.

De indledende migrationsanalyser viste generelt lave niveauer af migrerede stoffer, mens der kunne detekteres forskelle i koncentrationerne som følge af de forskellige rensebehandlinger. Endelig blev den mest lovende emballage udvalgt til en omfattende toksikologisk evaluering og sikkerhedsvurdering.

Det omfattende testprogram indbefattede analyse af den samlede migration af stoffer, migration af fthalater, PAH, metaller, tungmetaller og PAA samt en omfattende NIAS-screening. Migrationsniveauerne for de detekterede stoffer blev herefter sammenholdt med relevant lovgivning og eksisterende grænseværdier. Slutteligt blev tilstedeværelsen af de migrerede stoffer ud fra en sikkerhedsorienteret tilgang toksikologisk evalueret, for at afgøre om den udviklede emballage var sundhedsmæssigt forsvarlig at anvende til formuleringer til personlig pleje og kosmetik.

Samlet set fastslog undersøgelserne, at den udvalgte emballage, som er fremstillet af 100 % genanvendt husstandsindsamlet plastaffald, er sikker at anvende til emballering af kosmetikprodukter af typen rinse-off såvel som leave-on (dog ikke vurderet for børn og gravide).

Desuden er der på baggrund af de høje sikkerhedskrav for kosmetik- og hygiejneprodukter, opstillet et forslag til kvalitetssikringsprocedurer. Disse procedurer har til formål at kompensere for den manglende sporbarhed og lavere ensartethed, som er kendetegnende for genanvendt PE og PP fra husstande, gennem et tilpasset testprogram og med veldefinerede frekvensintervaller af materialetests. På baggrund af projektets resultater foreslås en omfattende indledende godkendelse samt løbende kvalitetssikringsprocedurer, som tilsammen skal sikre, at det er sundhedsmæssig forsvarligt at anvende PCR-materialet til kosmetikemballager.

2. Introduktion

Dette indledende afsnit beskriver projektets baggrund i form af en introduktion til genanvendelse af husstandsindsamlet plast med fokus på dels de nuværende udfordringer omhandlende kvalitetstab og begrænset anvendelsespotentiale, dels de potentielle fordele ved at løse disse udfordringer. Herefter præsenteres de konkrete mål, som MUDP-projektet har sigtet efter at opnå.

2.1 Plastaffald, genanvendelse og cirkulær økonomi

Cirkulær økonomi og genanvendelse af plast står højt på den politiske dagsorden og hos forbrugerne. Plastaffaldet fra de danske husstande vurderes i dag at udgøre mere end 125.000 ton årligt og forventes at stige de kommende år.¹ Dette vil naturligt øge omkostningerne til affaldshåndteringen markant. I 2025, forventes nettoomkostningerne til håndtering af det husstandsindsamlede plast at være 1,1 mia. kr.¹

I dag anslås det, at ca. 18 % af plastaffaldet fra de danske husstande genanvendes². Med EU's plaststrategi og målsætning fra 2018 om 50 % genanvendelse af plastemballage i 2025 og 55 % i 2030 skal der indføres ny lovgivning, etableres incitamentsstrukturer og udvikles teknologiske løsninger til at forbedre plastprodukters genanvendelighed, indsamling, sortering, genanvendelse og genanvendte indhold. For på sigt endeligt at etablere en cirkulær plastøkonomi er det desuden afgørende, at plastprodukter bliver genanvendt igen og igen.

Som led i at nå EU-målsætningerne etableres der i Danmark blandt andet nye ordninger til sortering af affaldet hos forbrugerne. Der indføres desuden udvidet producentansvar på emballage, hvilket betyder, at alle virksomheder, der bringer produkter med emballage på markedet, selv skal organisere og betale for indsamling og genanvendelse af det emballageaffald, produktet foranlediger. Dette betyder også, at virksomheder har et økonomisk incitament til at markedsføre produkter i genanvendelig emballage fremstillet af genanvendt materiale – en vigtig forudsætning for etablering af en cirkulær økonomi.

Plastprodukter finder i dag anvendelse i alle industrier med meget varierende krav til mekaniske egenskaber og renhed. Fra et teknisk perspektiv besværliggøres cirkulær genanvendelse af plast i dag af, at plasten igennem sin livscyklus som regel mister en del af sine mekaniske egenskaber og i særdeleshed sin renhed. Derfor er tiltag såsom 'design for genanvendelse', øget indsamling, sortering og genanvendelse, dvs. tiltag der bevarer og/eller forbedrer kvaliteten, nødvendige for at bibeholde en høj kvalitet af de oparbejdede plastmaterialer.

2.2 Plastens kvalitetshierarki

Forskellige brancher stiller forskellige krav til plastens performance og renhed. Plastens kvalitetshierarki (FIGUR 1) illustrerer forskellige branchers produkter med stigende kvalitetskrav til plasten. En forudsætning for en cirkulær økonomi er, at genanvendelsen af plasten øges, og at det sikres, at plasten holdes højest muligt i kvalitetshierarkiet, når den genanvendes. Dette kræver bl.a., at der er opstillet veldefinerede krav til fx plastens renhed, sporbarhed og egenskaber.

¹ Økonomi ved behandling af emballageaffald i 2025. MST-rapport, Undgå affald, stop spild nr. 27, 2021

² "Plastik uden Spild" – Regeringens Plastikhandlingsplan, december 2018

For brancherne i toppen af pyramiden (medico og fødevarer) er der tydelige krav til plastens renhed og sporbarhed, men for brancherne, der anvender de øvrige kategorier af plast, er kravene ikke veldefinerede. Det bevirker, at særligt producenter af produkter til kosmetik og personlig pleje ud fra et forsigtighedsprincip kun anvender emballager i genanvendt plast, der opfylder kravene for fødevarekontakt-materialer. Dette resulterer i, at plasten ofte bliver genanvendt til et produkt længere nede i kvalitetshierarkiet (downcycles) og således skaber en ubalance i de tilgængelige mængder af PCR-plast, da der ikke er tilstrækkelige mængder af fødevarekontaktgodkendt plast til rådighed til at dække efterspørgslen i de øvrige kategorier.



FIGUR 1. Kvalitetshierarkiet viser stigende krav til plastkvalitet og -renhed i forskellige brancher.

De anvendelser, der ligger højest i kvalitetshierarkiet, er oftest underlagt strenge regulatoriske krav til indholdsstofferne i plasten, dvs. til plastens renhed. For PCR-plast er renhed en udfordring, da plasten igennem hvert led af sin livscyklus utilsigtet tilføres kemiske stoffer – såkaldte NIAS-stoffer (non-intentionally added substances). Nogle af NIAS-stofferne vil blive fjernet i de efterfølgende oparbejdningsprocesser, men det er svært at forudsige og måle præcist, hvilke NIAS-stoffer der bliver tilbage i plasten. Dette begrænser anvendelsen af PCR-plast i højkvalitetsanvendelser, som fx fødevarekontaktmaterialer, kosmetikemballage og legetøj.

2.3 Genanvendt plast til kosmetikemballage

Fra flere sider er der igangsat initiativer for at afklare, hvordan genanvendt plast kan anvendes til kosmetikemballage, så produktets sikkerhed lever op til gældende lovgivningsmæssige krav, og bæredygtigheden af produktet samtidig tilgodeses bedst muligt.

Industri og myndigheder tilkendegiver en særlig interesse for genanvendelse af husstandsindsamlet post-consumer recycled plast (PCR-plast), hvorfor der efterspørges vejledning i en sådan genanvendelse. Allerede i dag anvendes genanvendt PET (recycled polyethylentereftalat, rPET) til fremstilling af emballager, bl.a. fordi PET forekommer i relativt få forskellige kvaliteter og procesmæssigt er egnet til at kunne genanvendes flere gange. PET i sin virgine form anvendes også i høj grad til fødevareremballage, hvilket giver en større sikkerhed for kvalitet og renhed, da kilden således ofte vil være PET, som er godkendt til fødevarekontakt.

Det ønskes at udvide spektret af anvendeligt, oparbejdet plast for at opnå en større grad af genanvendelse. En meget anvendt plastgruppe er polyolefiner, hvorfor det vil være oplagt at genanvende denne gruppe i højere grad. En øget genanvendelse af polyolefiner som polyethylen (PE) og polypropylen (PP) er mere udfordrende end genanvendelse af PET, da poly-

olefinerne findes i mange kvaliteter, lettere nedbrydes termisk og anvendes til langt flere forskellige produkter, herunder parfumerede rengøringsmidler. Desuden er polyolefiner tilsat flere og forskellige additiver og kan derfor i langt højere grad end rPET være kontamineret med forskellige stoffer, hvilket gør oparbejdning af polyolefiner mere udfordrende. Endelig er kilden til den oparbejdede plast af afgørende betydning for, hvordan plasten kan være kontamineret. Det kræver derfor mere viden at kunne overvinde barriererne for sikker genanvendelse i fx emballageprodukter.

Som forundersøgelse til senere udarbejdelse af en vejledning til kosmetikbranchen om, hvordan husstandsindsamlet, genanvendt plast kan anvendes til kosmetikemballage, gennemførte Miljøstyrelsen i 2021 en indledende sikkerhedsvurdering af genanvendt plast til emballering af kosmetiske produkter.³ Formålet med undersøgelsen var at afdække, hvilke kemiske stoffer der udgør en risiko ved at migrere fra emballagen til kosmetikproduktet.

Undersøgelsen inkluderede 17 PCR-plastråvarer fra forskellige leverandører, hvoraf 7 blev udtaget til en grundig analyse af, hvilke stoffer som migrerer ud i kosmetikproduktet. Konklusionen af sikkerhedsvurderingen var, at de udvalgte PCR-plastmaterialer ville kunne bruges som emballage til visse kosmetiske produkter – primært såkaldte rinse-off produkter, som fx shampoo. Ingen af de udvalgte PCR-plastmaterialer kunne derimod imødekomme de strengere krav til leave-on produkter (fx lotion).⁴

Af undersøgelsen fremgik det også tydeligt, at PCR-plastmaterialerne er meget komplekst sammensat, og at langtfra alle stoffer kan identificeres. Yderligere afgav samtlige PCR-plastmaterialer lugt, hvilket er en barriere for anvendelse i kosmetiske produkter.

I nærværende rapport vil der blive refereret til udvalgte PCR-plastmaterialer fra Miljøstyrelsens forundersøgelse. De udvalgte materialer er listet i TABEL 1.

TABEL 1. Reference PCR-plastmaterialer fra Miljøprojekt 2174. Materialerne anvendes i efterfølgende kapitler som reference for udvikling af et nyt højkvalitetsmateriale.

Prøve nr.	Materiale	Oprindelse	Affaldskilde	Sortering	Oparbejdning
1.1	HDPE PCR	Danmark	Post-consumer	Sorteret	Varmvask og densitetsseparation
2.1	HDPE 50 % PCR	Storbritannien	Post-consumer flasker, bakker og bøtter	Sortering med NIR og metalfjernelse	Vask, flotation, densitetsseparation, flake-sortering, sigtning og lugtreduktion
3.3	HDPE >99 % PCR	Haiti, Filippinerne, Indonesien, Egypten, Brasilien	Post-consumer	Manuel sortering	2-trins vådneddeling, densitetsseparation, varmvask, tørring og støvseparation
3.5	HDPE PCR	Danmark	Post-consumer	Manuel/NIR-sortering	Friktionsvask m.m.

³ Indledende sikkerhedsvurdering af genanvendt plast til emballering af kosmetiske produkter, Miljøprojekt nr. 2174, Rapport, Miljøstyrelsen, juni 2021.

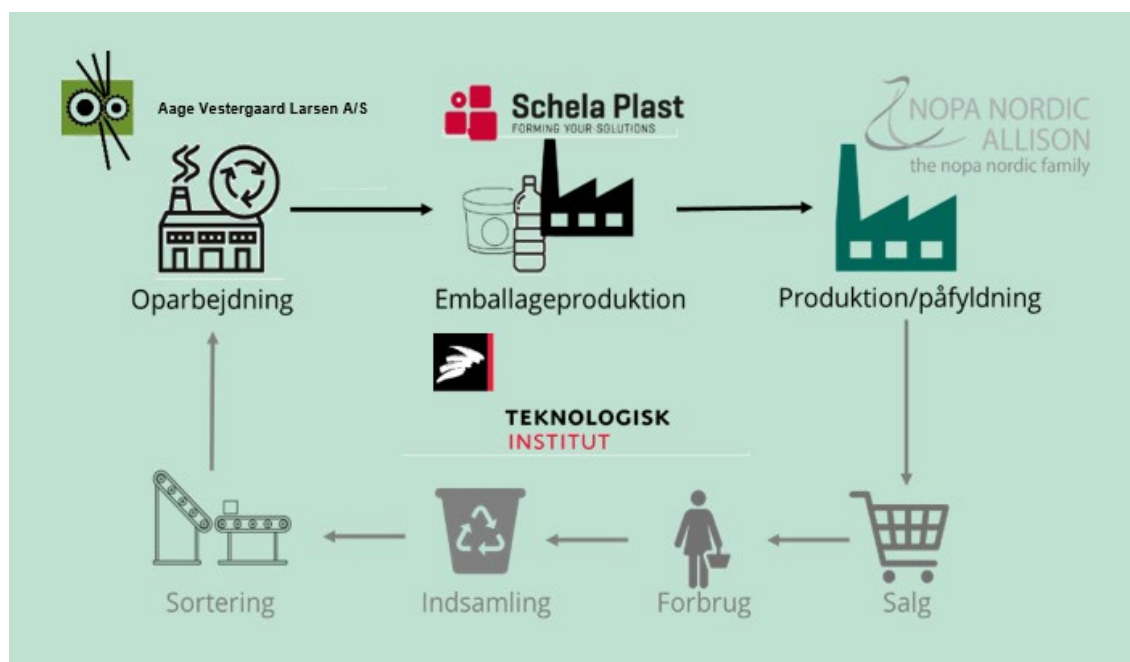
⁴ Undersøgelsen var baseret på undersøgelse af migration fra plastgranulat og ikke fra færdigfremstillede emballager, hvis kontaktareal til væske forventes at være mindre end granulats.

2.4 Projektets formål

Dette projekt har haft til formål at udvikle nye, miljøteknologiske løsninger, der muliggør implementering af en cirkulær genanvendelse af post-consumer recycled plast (PCR-plast) i nye plastemballager til rengøringsmidler, kosmetik og personlig pleje.

Som nævnt er en række forskellige faktorer såsom design, indsamling, sortering og oparbejdning alle vigtige i forhold til at sikre høj kvalitet af det genanvendte materiale. Med tidligere læring fra Miljøprojekt 2174 har nærværende projekt haft fokus på den sidste faktor, nemlig oparbejdningsprocessen, hvor målet har været at fremstille højkvalitetsregenerat og at udvikle de rette paradigmer for kvalitetssikring af PCR-materialerne, så disse er sikre at anvende til fremstilling af plastemballager til kosmetik og personlig pleje.

Projektets udgangspunkt har været plastaffald indsamlet, sorteret og polymersepareret fra forskellige kilder. Forskellige oprensningstiltag og processer blev herefter udviklet og testet på faciliteter hos Aage Vestergaard Larsen (herefter benævnt AVL). Produktion af emballager under forskellige betingelser i de udviklede plastgranulater blev forestået af Schela Plast A/S (herefter benævnt Schela Plast). Emballagerne er herefter kvalitetssikret og testet med produktpåfyldning hos aftageren Nopa Nordic. Værdikædesamarbejdet i nærværende projekt er vist på FIGUR 2, hvor fokus har været på oparbejdning, produktion og kvalitetssikring af plast-materialerne.



FIGUR 2. Illustration af værdikædesamarbejdet i projektet.

Projektets konkrete mål er:

1. Udvikling af kravspecifikationer til produktspecifikke emballagematerialer

Kravspecifikationer opstilles for PCR-materialer i HDPE og PET⁵ til anvendelse til emballering af hhv. rengøringsmidler og kosmetikprodukter. Projektet har hovedsageligt haft fokus på anvendelsen til kosmetikemballager, da projektgruppen tidligt i projektet kom i mål med udvikling og fremstilling af PCR-emballager til rengøringsmidler.

2. Udvikling af oparbejdningsproces til fremstilling af højkvalitets-PCR-materialer

⁵ I løbet af projektet blev PCR-materialer i PET taget ud af projektet, da kilder til sorterede PET-materialer i lavere kvalitet end fødevarekontaktmateriale ikke kunne fremskaffes.

I projektet udvikles AVL's genanvendelsesproces til fremstilling af PCR-materiale(r) fra husstandsindsamlet plast med meget høj renhed, for derigennem at muliggøre anvendelse til emballering af rengøringsmidler og kosmetikprodukter.

3. Udvikling af emballager i regenerat

Af de nye højkvalitets-PCR-materialer udvikles emballager, som overholder de opstillede kravspecifikationer, herunder gennemførelse af en fuld toksikologisk sikkerhedsvurdering af kosmetikemballage.

4. Udvikling af kvalitetssikringsprocedurer og -metoder

For at kunne dokumentere at PCR-materialerne er sikre at anvende til emballering af kosmetik og produkter til personlig pleje, udvikles nye metoder og procedurer til kvalitetssikring af PCR-materialerne igennem værdikæden. I den forbindelse udvikles metoder og procedurer til bestemmelse af indholdet af kemiske stoffer, med særligt fokus på NIAS-stoffer, som kan migrere fra emballagen og ud i produktet.

3. Regulatoriske rammer

I dette afsnit skitseres den relevante lovgivning, som relaterer sig til brug af genanvendt plast som kosmetikemballage. For at kunne oparbejde og anvende PCR-plasten så højt oppe i kvalitetshierarkiet som muligt med "rette kvalitet til rette anvendelse" er det væsentligt at kende lovgivningen til de forskellige anvendelser af plasten. Da dette projekt har fokus på plastemballager til kosmetiske produkter til personlig pleje (fx shampoo, bodylotion, kosmetik, hygiejneprodukter, etc.) er det særligt kosmetikforordningens krav til emballagerne, der rammesætter kvalitetssikring og -dokumentationskrav for materialerne i projektet.

3.1 Krav til kosmetikemballage

I henhold til krav i kosmetikforordningen (EF) No. 1223/2009 er følgende krav i dag gældende for emballage til indpakning af kosmetiske produkter, der er nærmere uddybet i Kommissionens gennemførelsesafgørelse (2013/674/EU):

"Emballeringsmaterialet er beholderen (eller den primære emballage), som er i direkte kontakt med formuleringen. De relevante egenskaber for det emballeringsmateriale, der er i direkte kontakt med det færdige produkt, er vigtige for det kosmetiske produkts sikkerhed. Det kan være hensigtsmæssigt at henvise til Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1935/2004. Erfaringer med lignende udformninger/emballeringskombinationer, der allerede er på markedet, giver nyttige oplysninger. Materialer, der er udviklet til fødevareremballage, er ofte allerede testet. Der kan således muligvis findes relevante oplysninger om stabilitet og migration. Det er måske ikke nødvendigt at gennemføre yderligere forsøg. Der kan dog være brug for yderligere vurdering af ny emballage. Kombinationen af emballeringsmateriale, udformningen af det kosmetiske produkt og kontakt med det omgivende miljø kan have indflydelse på det færdige produkts sikkerhed som følge af nedenstående faktorer: a) interaktion mellem produktet og emballeringsmaterialet b) emballeringsmaterialets barriereegenskaber c) migration af stoffet fra/til emballeringsmaterialet. Oplysningerne om de relevante egenskaber for det emballeringsmateriale, der er i direkte kontakt med produktet, bør gøre det muligt at vurdere de potentielle risici. Relevante egenskaber kan f.eks. være: a) emballeringsmaterialets formel, herunder tekniske stoffer såsom tilsætningsstoffer b) teknisk uundgåelige urenheder c) mulig migration fra emballeringsmateriale.

Disse oplysninger angiver blot, at der er en fare. Det er sikkerhedsekspertens ansvar at vurdere risikoen. Undersøgelser af interaktioner/forligelighed mellem formulering og emballeringsmateriale gør det muligt at teste den potentielle migration af små mængder af stoffer fra det primære emballeringsmateriale til produktet. Disse tests udføres under specifikke og relevante testbetingelser. Der er dog ikke nogen standardprocedurer for kosmetiske produkter. En passende vurdering kan foretages på grundlag af viden om udformningen og det primære emballeringsmateriale og erfarne eksperter vurdering. Hvis migrationen afhænger af opbevaringsforholdene, skal de korrekte opbevaringsforhold fremgå af produktets mærkning. Hvis formuleringen er lys- eller luftfølsom og i kontakt med lys eller luft vil blive nedbrudt på en måde, der påvirker produktets sikkerhed eller virkning, bør der anvendes passende emballage."

Yderligere krav i forhold til brug af genanvendt plast til fødevarer- og kosmetikemballage er samlet i TABEL 2.

TABEL 2. Oversigt over relevante krav til fødevarer- og kosmetikemballage i forhold til brug af PCR-plast.

Krav	Forordninger	Artikel
Et kosmetisk produkt, der gøres tilgængeligt på markedet, skal være sikkert for menneskers sundhed, når det anvendes under normale betingelser eller under betingelser, som med rimelighed kan forudses.	Kosmetik - 1223	3
Ikke-tilsligtet tilstedeværelse af en lille mængde af et forbudt stof hidrørende fra urenheder fra naturlige eller syntetiske bestanddele, fremstillingsprocessen, oplagring, overføring fra emballage, hvilket er teknisk uundgåeligt ved god fremstillingspraksis, tillades, såfremt sådan tilstedeværelse er i overensstemmelse med artikel 3.	Kosmetik - 1223	17
Der skal udarbejdes en sikkerhedsrapport for kosmetiske produkter, som bl.a. indbefatter en sikkerhedsvurdering. Som en del af denne skal emballagen sikkerhedsvurderes både i sig selv og sammen med produktet.	Kosmetik - 1223	
Forbudte stoffer, der er klassificeret som værende kræftfremkaldende, mutagene eller reproduktionstoksiske (CMR) i kategori 1A, 1B eller 2, samt stoffer omfattet af bilag II i forordningen.	Kosmetik - 1223	Bilag III
Tilladte stoffer til kosmetik underlagt begrænsninger.	Kosmetik - 1223	Bilag III
a) Ingen afgivelse af stoffer, der er en fare for menneskers sundhed b) Forringer egenskaber af fødevarer Artikel 9,10 ansøgning om godkendelse af nyt stof.	FKM - 1935	3
Plastinput: I) enten lukket cyklus med fødevarer eller II) dokumentation via belastningstest Kvalitet af plastinputtet og genvunden plast karakteriseres og kontrolleres ud fra fastsatte kriterier, så art. 3 1935/2004 overholdes. Samtidig skal der fastsættes betingelser for anvendelse af den genvundne plast, hvorved det kan sikres, at materialerne og genstandene af genvunden plast er i overensstemmelse med art. 3 1935/2004.	Plast - 2:282/2008	4
Ansøgning om godkendelse (art. 9,10) gælder også genvindingsprocesser Teknisk dossier udarbejdes med sikkerhedsvurdering Pkt. 3: 6 måneder til accept efter modtagelse af ansøgning Pkt. 4: Beskrivelse Art. 6: Godkendte processer i offentligt register, se også artikel 9.	Plast - 2:282/2008	5
Følgende stoffer, som ikke er opført på EU-listen, godkendes: - naturlige eller syntetiske polymere stoffer, bortset fra makromolekyler fremstillet ved mikrobiel fermentering, med en molekylvægt på mindst 1000 Da, der anvendes som additiver, og som opfylder kravene i denne forordning, forudsat at de kan fungere som den strukturelle hovedbestanddel i færdige materialer eller genstande.	FKM PLAST - 10/2011	6

3.1.1 Kosmetikforordningen

Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1223/2009 af 30. november 2009 om kosmetiske produkter (herefter benævnt kosmetikforordningen) bekendtgør altså bl.a., at:

- Kosmetiske produkter skal være sikre for menneskers sundhed ved normal og rimelig forudseelig brug.
- Den ansvarlige person (typisk fabrikanten eller importøren) skal sørge for, at der udføres en sikkerhedsvurdering og udarbejdes en sikkerhedsrapport for det kosmetiske produkt i overensstemmelse med forordningens bilag I.
- I sikkerhedsrapporten skal der bl.a. forefindes informationer om emballeringsmaterialet og vurdering af dets kontakt med det kosmetiske produkt.

Disse krav uddybes i kommissionens gennemførelsesafgørelse af 25. november 2013 omhandlende retningslinjer for bilag I til kosmetikforordningen. I denne afgørelse fremgår det, at *"fordi stoffer kan migrere fra emballagen til produktet, skal emballeringsmaterialets relevante egenskaber tages i betragtning"*. Dermed er vurdering af emballeringsmaterialets egenskaber en del af den samlede sikkerhedsvurdering af det kosmetiske produkt. Dette gælder for den del af emballagen, som er i direkte kontakt med det kosmetiske produkt. Oplysninger om emballagematerialet bør ifølge afgørelsen gøre det muligt at vurdere potentielle risici. Eksempler på sådanne relevante egenskaber kan være:

- Sammensætning af emballeringsmaterialet, herunder tilsætningsstoffer mv.
- Migration af kemiske stoffer fra emballeringsmaterialet
- Urenheder som er teknisk uundgåelige (NIAS, PAH, allergener osv.)

I praksis betyder forordningen, at der i dag enten kan laves en fuld toksikologisk vurdering som evaluerer sikkerheden af den pågældende emballage, eller at fødevarekontaktmateriale anvendes.

3.2 Sikkerhedsvurdering og migration af kemiske stoffer

Ved en sikkerhedsvurdering af en emballage til kosmetik og personlig pleje kræves det, at man gennemfører dels en toksikologisk vurdering med udgangspunkt i en række undersøgelser af indholdsstoffer i emballagen, og dels migrationsanalyser, som simulerer langtidsopbevaring af produktet i emballagen. Til gennemførelse af migrationsanalysen på emballager til kosmetiske produkter anvendes forskellige simulanter, fx ethanol, eddikesyreopløsning og olier, hvorefter man identificerer, hvilke kemiske stoffer der er trukket ud i simulanten, og i hvilken koncentration.

Ifølge JRC's (Det Fælles Forskningscenter for Europa-Kommissionen) guideline for migrationsmodellering af relevante stoffer i plastemner af PE og PP kan en migration ved 60° C i tre dage simulere, at produktsimulanten har været opbevaret i emnet i et år.⁶

For anvendelse af genanvendt plast til fødevareemballage eksisterer der veletablerede procedurer og analytiske metoder til at skabe det nødvendige datagrundlag til gennemførelse af en sikkerhedsvurdering. Dette er imidlertid ikke tilfældet for kosmetikemballage i PCR-materialer. For disse er der ikke fastsat hverken krav, retningslinjer eller procedurer for, hvilke migrationsanalyser som skal gennemføres i forbindelse med en sikkerhedsvurdering. Det er særligt udfordrende at bestemme indholdet af NIAS-stofferne, da disse varierer i mængde og sammensætning og desuden afhænger af plastkilden og oparbejdningsprocessen. NIAS-stofferne kategoriseres i 3 kategorier: ikke-flygtige, semi-flygtige og flygtige.

I forbindelse med Miljøprojekt 2174 (2021) blev der udviklet et analyseprogram til at foretage en indledende sikkerhedsvurdering af PCR-materialer til emballering af kosmetiske produkter (TABEL 3). I miljøprojektet blev de ikke-flygtige og de semi-flygtige NIAS-stoffer identificeret med hhv. LC/MS-multitargetanalyse og GC/MS-screening. Kombinationen af LC/MS og GC/MS blev observeret at give et godt helhedsbillede af PCR-materialernes indhold af CMR-, SVHC- og NIAS-stoffer.

Flygtige stoffer, herunder lugtstoffer, indeholdt i plasten er definerende for plastens lugt og en vigtig parameter for anvendelse i de øverste lag af kvalitetshierarkiet, hvor der kan forekomme

⁶ Hoekstra, E.J., Brandsch, R., Dequatre, C., Mercea, P., Milana, M.R., Störmer, A., Trier, X., Vitrac, O., Schäfer, A., Simoneau, C. Practical guidelines on the application of migration modelling for the estimation of specific migration; 2015; EUR 27529 EN

krav til olfaktometriske grænseværdier. Flygtige NIAS-stoffer kan bestemmes via forskellige metoder, herunder TD-GC/MS eller MIMS.⁷

TABEL 3. Analyseprogram fra Miljøprojekt 2174 (2021).

Stoffer, der analyseres for	Analysemetode	Produktsimulant (migration i tre dage, 60 °C)
Screening	GC/MS	Isooktan
Multitarget-analyse	LC/MS	95 % ethanol
Screening af udvalgte metaller	ICP/MS	3 % eddikesyre
PAH	GC/MS	Isooktan
PAA	LC/MS/MS	3 % eddikesyre
PE-phenoler	GC/MS	95 % ethanol
Perfluorerede stoffer (PFAS)	LC/MS/MS	Indholdsanalyse
Totalindhold, fluor	EN 14582:2016	Indholdsanalyse

3.3 Opsummering af regulatoriske rammer

Som beskrevet er hovedreglen for brug af genanvendt plast til emballering af kosmetiske produkter, at emballagen ikke må forhindre at "Kosmetiske produkter skal være sikre for menneskers sundhed ved normal og rimelig forudseelig brug". Da de regulatoriske rammer i dag ikke er helt veldefinerede for emballager til kosmetik og personlig pleje, i modsætning til fx rammerne for emballager til fødevarer, kan en fyldestgørende sikkerhedsvurdering på emballagerne til kosmetiske produkter oftest ikke udarbejdes. Samtidig mangler der standardiserede metoder, så branchen tester og vurderer plastmaterialerne ens og dermed i sidste ende opnår et højt sikkerhedsniveau på emballager til kosmetik.

Derfor blev det i nærværende udviklingsprojekt besluttet at læne sig op ad metoden anvendt i Miljøprojekt 2174 (2021), hvor sikkerhedsvurderingen baseres på kemiske analyser af indholdsstoffer i den genanvendte plast og migrationsanalyser, hvor der identificeres kemiske stoffer migreret til en produktsimulant fra en støbt emballage i genanvendt plast.

I kapitlerne 5 og 7 anvendes migrationsanalyser via LC/MS- og GC/MS-screening til vurdering af renheden af forskellige PCR-plastkilder og af effektiviteten af nye teknologiske tiltag på oparbejdningsprocessen. Derudover testes plastens renhed (særligt undervejs i udviklingsprocessen) gennem kvalitativ bestemmelse af afgivelsen af lugtstoffer via PTR-MS.

⁷ <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-167-0/html/kap03.htm>

4. Kravspecifikation til HDPE-emballagematerialer

Alle virksomheder i værdikæden, som håndterer, oprenser, støber og opfylder plastemballagen, har udover de gældende regulatoriske krav også krav til materialets ydeevne. Dette kapitel indeholder en kort opsummering af virksomhedernes krav til materialeegenskaber, processering, ensartethed, renhed og sikkerhed, som skal opfyldes af de udviklede PCR-materialer og emballageprodukter. Disse krav vil efterfølgende sammen med de regulatoriske krav opsummeret i forrige kapitel definere de krav, som projektets nye PCR-højkvalitetsplastmaterialer skal opfylde ved succesfuld udvikling af oparbejdningsprocessen.

4.1 Materialeegenskaber

Nopa Nordic A/S (herefter benævnt Nopa Nordic) stiller krav til de mekaniske egenskaber for den endelige beholder, herunder at beholderen overholder dimensioner, tolerancer og tæthed. Dette gennemføres ved en række fysiske test med specifikke værdier for temperatur, moment, tryk, tid og drophøjde. Der stilles yderligere krav til antal emner af en given kvalitet, som kan produceres hos leverandøren.

Hos AVL er der krav til materialets flydeegenskaber, stabilitet og polymerrenhed. Flydeegenskaberne måles via melt flow index (MFI) og specificerer materialets anvendelse til specifikke støbemetoder. Dansk post-consumer-HDPE fra husstandsindsamlet plast er med dens resulterende MFI hovedsagelig egnet til blæsestøbning og ekstrudering.

Modstandsdygtighed over for oxidativ nedbrydning måles via OIT (oxidative induction time) og giver et estimat på, hvor beskyttet/stabilt materialet er i henhold til oxidativ nedbrydning. En høj OIT betyder, at materialet er beskyttet mod nedbrydning under efterfølgende behandlinger, hvor der er ilt og varme til stede under brugsfasen. Ved gentagne runder af genanvendelse vil nedbrydningen af materialet føre til uønskede ændringer af egenskaber, som kan påvirke materialets egnethed til de specifikke formningsmetoder.

4.2 Proces- og emballagekrav

Overordnet er det vigtigt at opnå en kvalitet af emballagerne, der sikrer, at de kosmetiske produkter får samme holdbarhed som i dag, og at kvaliteten af emballagerne er på højde med emballager fra virgine plastkilder i både funktion og holdbarhed.

For at sikre høj kvalitet af PCR-materialet skal HDPE-fraktionen være så ren som muligt, både hvad angår indhold af uønsket kemi, og hvad angår partikler og polymerrenhed. Polymerrenheden betegner, hvor stor en andel af et plastmateriale der består af den samme plasttype. I tilfælde af at plasten indeholder andre polymertyper, kan det føre til overfladedefekter og generelt svækkede egenskaber (huller i flaske, styrke i henhold til stabling osv.). Her er det fx velkendt at for stort indhold af PP-rester i HDPE giver udfordring i svejsninger. Andre polymertyper giver ligeledes generelle procesudfordringer.

Derudover skal urenheder i form af partikler minimeres, da urenheder giver risiko for huller i emballagen, som kan være så små eller være dækket af en tynd hinde, så de ikke bliver frasorteret af den automatiske utætheds-tester. Lugt fra PCR-materialet skal minimeres af hensyn til arbejdsmiljøet i produktionen.

Kvaliteten fra parti til parti skal være sammenlignelig i forhold til MFI og øvrige processeringskrav og de støbte flasker skal kunne leve op til standarden for mekaniske krav i forhold til væggtolerancer, kapselpåskruning mv.

Emballagerne skal leve op til Schela Plasts standardkvalitetskontrol, der omfatter vejning og visuel inspektion.

4.3 Ensartetheden af materiale

Ved oparbejdning hos AVL vil materiale efter vask og sortering blive homogeniseret. Det medfører en høj grad af ensartethed i den pågældende parti. Der udtages stikprøver løbende under ekstruderingsprocessen, hvor egenskaberne MFI, OIT (oxidation induction time) og 'fremmede polymerer' bliver undersøgt i henhold til de materialekrav, der er fastsat for materialet. Partier, som ikke opfylder kravene, bliver tilbageholdt og medgår ikke i det videre forløb.

Tabel 4. Test af materialeegenskaber, som udføres hos AVL.

Forsøg	Test betingelser	Værdi	Enhed	Standard
Melt Flow Rate	(190 °C: 5 kg)	1-2	g/10 min	ISO 1133 *
OIT	(210 °C)	≥ 9	min	ISO 11357-6 *
Fremmede polymerer	-	≤ 2	%	AVL**

** Foretages indledningsvis med FTIR. Hvis der gøres fund af andre polymerer i FTIR, foretages der med DSC en kvantitativ måling af indhold af andre polymerer.

Hos Nopa Nordic stilles ligeledes krav til ensformighed og kontinuerlighed af den endelige emballage. Ved introduktion af et nyt materiale gennemføres testproduktion af en '0-serie'.

4.4 Sikkerhed og arbejdsmiljø

AVL stiller krav til leverandører, hvad angår overholdelse af nationale lovkrav, og skal, når det gælder kemikalier, til enhver tid overholde gældende REACH-forordning samt RoHS-direktivet. Yderligere bliver prøver af færdigvarer årligt sendt til eksternt laboratorium for periodisk SVHC-screening. Dette gælder alt materiale, som bliver produceret hos AVL.

Hos Schela Plast er der krav til lugt fra PCR-materialet. Fra flere års erfaring med procesring af PCR-materialer skal lugten fra materialet minimeres af hensyn til arbejdsmiljøet i produktionen.

Nopa Nordic er pålagt de samme lovkrav som AVL og har samtidig ansvaret for, at kosmetikproduktet og emballagen overholder den gældende lovgivning, jf. kapitel 4. Nopa Nordic gennemfører periodiske migrationsundersøgelser og sikkerhedsvurderinger af emballager til kosmetik og personlig pleje i forbindelse med stikprøvekontroller og markedsføring af nye produkter.

5. Indledende vurdering af tilgængelig PCR-plast

I første fase af projektet blev der fokuseret på at indsamle viden om forskellige eksisterende kilder til PCR-plast for at kende kvaliteten af eksisterende state-of-the-art PCR-plastmaterialer. Projektgruppen ønskede viden om, hvor tæt de tilgængelige PCR-materialer på markedet (inkl. eksisterende HDPE-PCR-plastmaterialer oparbejdet af AVL) er på at kunne anvendes til kosmetikemballering for at etablere en 'baseline' inden videreudvikling af oparbejdningsprocessen hos AVL. Tilgængelige PCR-materialer blev således udvalgt og indkøbt fra hele verden til en indledende kvalitetsscreening, som beskrives i dette kapitel.

5.1 Udvalgelse af kilde til PCR-plast

Som forberedelse til den indledende screeningstest blev en række parametre opstillet for udvælgelsen af relevante forsyningskilder af post-consumer-genanvendt HDPE og PET. Kravene er opsat med udgangspunkt i værdikæden forstået bredt - med fokus på oprindelse, proces og kommercielle perspektiver.

Hvad angår oprindelse stilles der krav til, at det udvalgte materiale skal indeholde minimum 95 % post-consumer-materiale som defineret i henhold til ISO 14021. Post-consumer defineres således: *"Post-consumer material is defined as material generated by households or by commercial, industrial, and institutional facilities in their role as end users of the product which can no longer be used for its intended purpose. This includes returns of material from the distribution chain"*. Hertil stilles der yderligere krav til tilgængeligheden af materialet. Den årlige tilgængelige mængde må ikke understige 200 tons. Denne mængde er fastsat med henblik på at kunne reproducere og genskabe materialet.

I forhold til processering stilles der krav om, at materialet skal være behandlet i en præsorteringsproces, som resulterer i en polymerrenhedsgrad på min 90 %, og at materialet efterfølgende har gennemgået en mekanisk sorterings- og oparbejdningsproces. I tillæg til dette har materialeleverandørerne udfyldt et skema med spørgsmål til processerne for at opnå et grundlag for sammenligning af processerne på tværs af forsyningskilderne.

Spørgsmålene er formuleret som følger:

- *From which countries/origins is the recycled plastic collected?*
- *Is the recycled plastic sorted according to previous use (e.g. food packaging and hazardous goods packaging)*
- *How is the plastic collected?*
- *Before sorting is the received material accessed if it is applicable for recycling? If yes, by which parameters is it accessed?*
- *Is the plastic material sorted automatic or by hand?*
- *During cleaning of the collected material – at what point is the cleaning cycle stopped and the material passes to the next point in the recycling process.*
- *If the material is still dirty after the cleaning process, is it cleaned once again? And what are the parameters/standards for your cleaning process?*
- *Is the material cleaned using only water or is any additive used?*
- *Is it accessed at any point of the recycling process if the collected material is applicable for the use in packaging for cosmetic/personal care products?*
- *Which tests do you conduct for the material?*

- *What is the purity of the recycled material after it has been sorted and cleaned into the different plastic types (e.g. PP, PE and PET)?*

Ydermere skal materialet være testet i henhold til realiserbarhed, dvs. evnen til at overholde de tekniske specifikationer for blæsestøbning af beholdere. Kun kilder, for hvilke det er påvist, at materialet har været anvendt til støbning af beholdere, blev derfor udvalgt. For at undgå downcycling var et af kravene at undgå fødevarer godkendte materialer. Det viste sig gennem dialog med materiale- og emballageleverandører, at der på daværende tidspunkt ikke eksisterede kilder til PCR-PET-plast klassificeret som ikke-fødevarer godkendt. Derfor blev fødevarer godkendt rPET medtaget som reference for efterfølgende undersøgelser.

Ud fra ovenstående kriterier blev fem HDPE- og to PET-kilder udvalgt (FIGUR 3).



FIGUR 3. Prøver til indledende screeningstest.

Som det første led i evalueringen af plasten og med udgangspunkt i et kommercielt perspektiv blev en sensorisk bedømmelse gennemført med henblik på renhed, pigmentering og lugt.

Resultatet af den indledende lugtbedømmelse er vist i TABEL 4. Den simple test blev udført ved, at et panel vurderede lugtniveauet fra prøverne på en skala fra 1-5, hvor 5 svarede til 'mest lugt'.

TABEL 5. Vurderede plastprøver fra forskellige kilder.

Betegnelse	Plasttype	Affaldskilde (område)	Lugtbedømmelse (5 = mest lugt)
H1	PCR HDPE hvid	Danmark (AVL)	4
H2	PCR HDPE lys grå	Danmark (AVL)	4,5
H3	PCR HDPE grå	Europa	2,5
H4	PCR HDPE hvid	Europa	3
H5	PCR HDPE grå	Indien	3
P1	PCR PET klar	Indien	1
P2	PCR PET klar kilde 1	EU	1

5.2 Indledende renhedsvurdering af forskellige plastkilder

På fem kilder til HDPE-plast (H1-H5) og en kilde til PET-plast (P2) fra TABEL 4 blev der gennemført en screening af migrerbare stoffer, herunder NIAS-stoffer, vha. LC/MS- og GC/MS-analyserne fra Miljøprojekt 2174. Yderligere blev indholdet af flygtige stoffer analyseret med headspace-PTR-MS.

5.2.1 Migrationstest

Der er udført migrationstest for de udvalgte prøver. Migrationen blev udført i 96 % ethanol ved 60 °C og med 3 dages opholdstid. Med kombinationen af LC/MS- og GC/MS-analyse screenes en lang række farlige stoffer (heriblandt en række CMR- og SVHC-stoffer) samt ikke-flygtige og semi-flygtige NIAS-stoffer. De anvendte metoder svarer til metoderne anvendt i miljøprojekt 2174 (2021).

På FIGUR 4 er vist udvalgte migrationsresultater på granulater af HDPE-prøverne H1-H5 samt PET-prøven P2. Prøverne P1.1, P2.1, P3.3 og P3.5 fra Miljøprojekt 2174, 2021 er medtaget til sammenligning (se TABEL 1). De identificerede stoffer er kategoriseret efter type og anvendelse i følgende kategorier:

- Antioxidanter
- Blødgørere
- Primære aromatiske aminer
- UV-photostabilisatorer
- Andre stoffer.

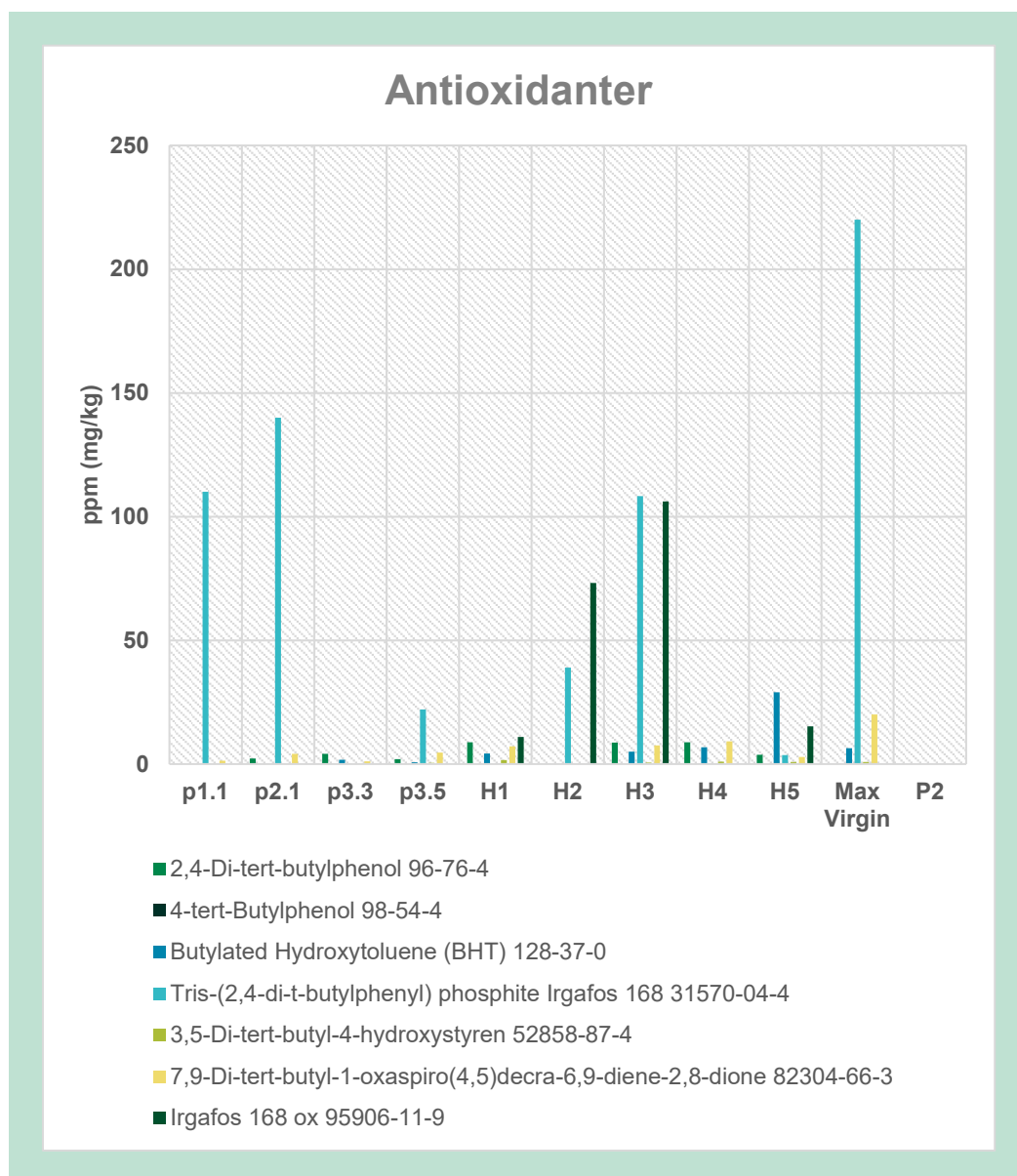
Endvidere er medtaget resultater af maksimalt indhold af antioxidant fra analyser af virgin HDPE-plast analyseret for Miljøstyrelsen.

5.2.1.1 Indhold af antioxidant

Der ses varierende niveauer af antioxidant med højeste indhold af tris-(2,4-di-tert-butylphenyl) fosfit (CAS-nr. 31570-04-4) i virgin plast. Denne antioxidant er også dominerende i P1.1, P2.1, P3.5 og H3 og er ligeledes til stede i væsentlig koncentration i H2. I Miljøprojekt 2174, 2021 blev indhold af antioxidant vurderet som værende over den tilladelige grænse for leave-on produkter ved et indhold på over 190 mg/kg. Denne grænse overskrides ikke for materialer, der stammer fra genanvendt plast.

En anden antioxidant, som er til stede i væsentlig koncentration i H1, H2, H3 og H5, er Irgafos 168 OX (CAS-nr. 95906-11-9).

I Miljøprojekt 2174 (2021) er det angivet, at indholdet af antioxidant 2,4-di-tert-butylphenol (CAS-nr. 96-76-4) bør være under 2 mg/kg for leave-on anvendelse. Denne mængde overskrides i de fleste tilfælde i henhold til resultaterne både i Miljøprojekt 2174 (2021) og i de beskrevne indledende screeningstests. Det skal bemærkes, at migrationsundersøgelsen er gennemført på plastgranulat, hvorfor koncentrationerne af de identificerede stoffer forventes at være væsentligt mindre i den færdige emballage. Dette undersøges nærmere senere i rapporten.



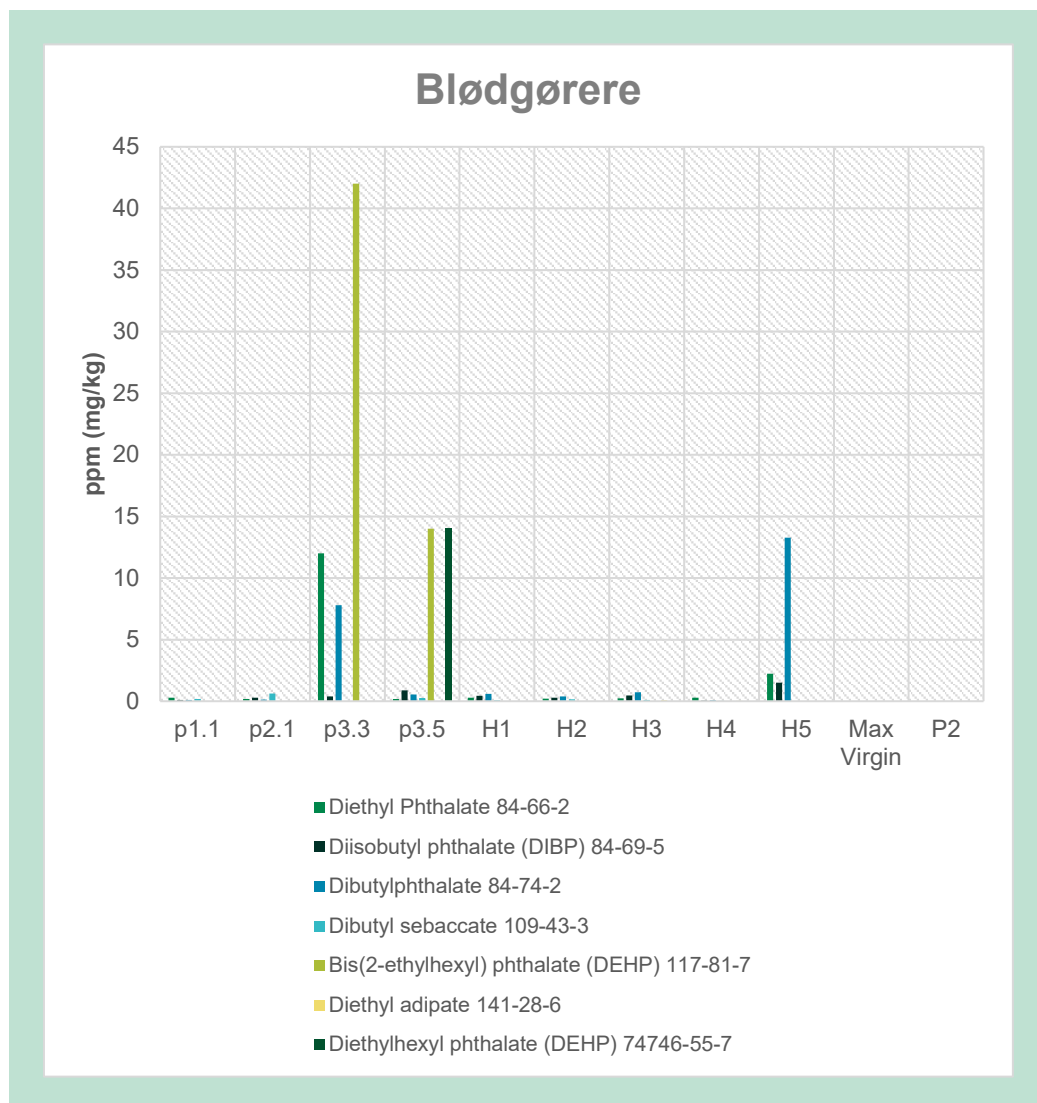
FIGUR 4. Migration af antioxidant i udvalgte plastkilder.

TABEL 6. Indhold af antioxidant 2,4 di-tert-butylphenol (CAS-nr. 96-76-4) i forskellige plastkilder.

Prøve	Koncentration (mg/kg)
P2.1	2,2
P3.1	4,1
P3.5	5,2
H1	8,8
H3	8,7
H4	8,8
H5	3,8

5.2.1.2 Indhold af blødgørere

De udvalgte plastprøver blev analyseret for typisk anvendte blødgørere til hård plast og for identificerede blødgørere fra miljøprojekt 2174, 2021. For plastkilderne H1-H4 er indholdet af blødgørere meget lavt, tilsvarende for P1.1, P2.1, og nær detektionsgrænsen for de anvendte analysemetoder. For H5 er indholdet af blødgørere betragteligt højere – særligt for dibutylphthalate. Til sammenligning indeholder P3.3 og P3.5 også høje niveauer af DIBP og DEHP.

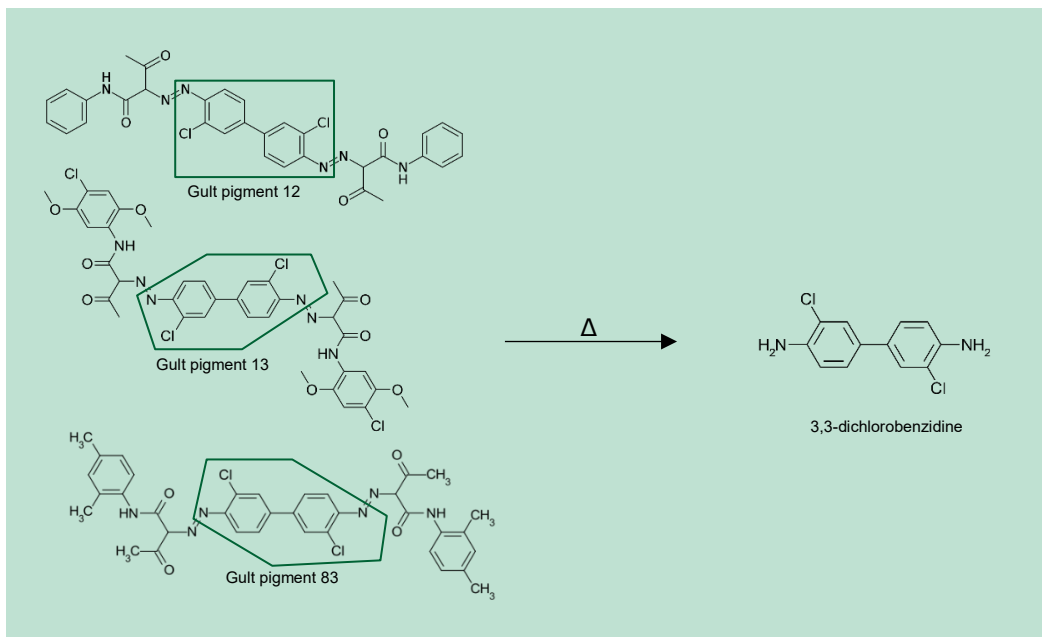


FIGUR 5. Migration af blødgørere i udvalgte plastkilder.

5.2.1.3 Indhold af primære aromatiske aminer

Mange primære aromatiske aminer (PAA) er klassificerede eller mistænkte CMR-stoffer, og de bør derfor kun være til stede i meget lav koncentration eller slet ikke. De aromatiske aminer anvendes ofte i produktionen af farvestoffer. Forekomsten af PAA i PCR-materialer formodes at stamme fra nedbrydningen af organiske farvestoffer under genanvendelsesprocessen.

Et eksempel herpå er en række gule pigmenter, som indeholder den samme byggeblok, 3,3-dichlorobenzidine. Når plast med forskellige farver blandes sammen og ekstruderes under genanvendelsen, opvarmes molekylerne, hvorved nedbrydning af farvestofferne kan forekomme.

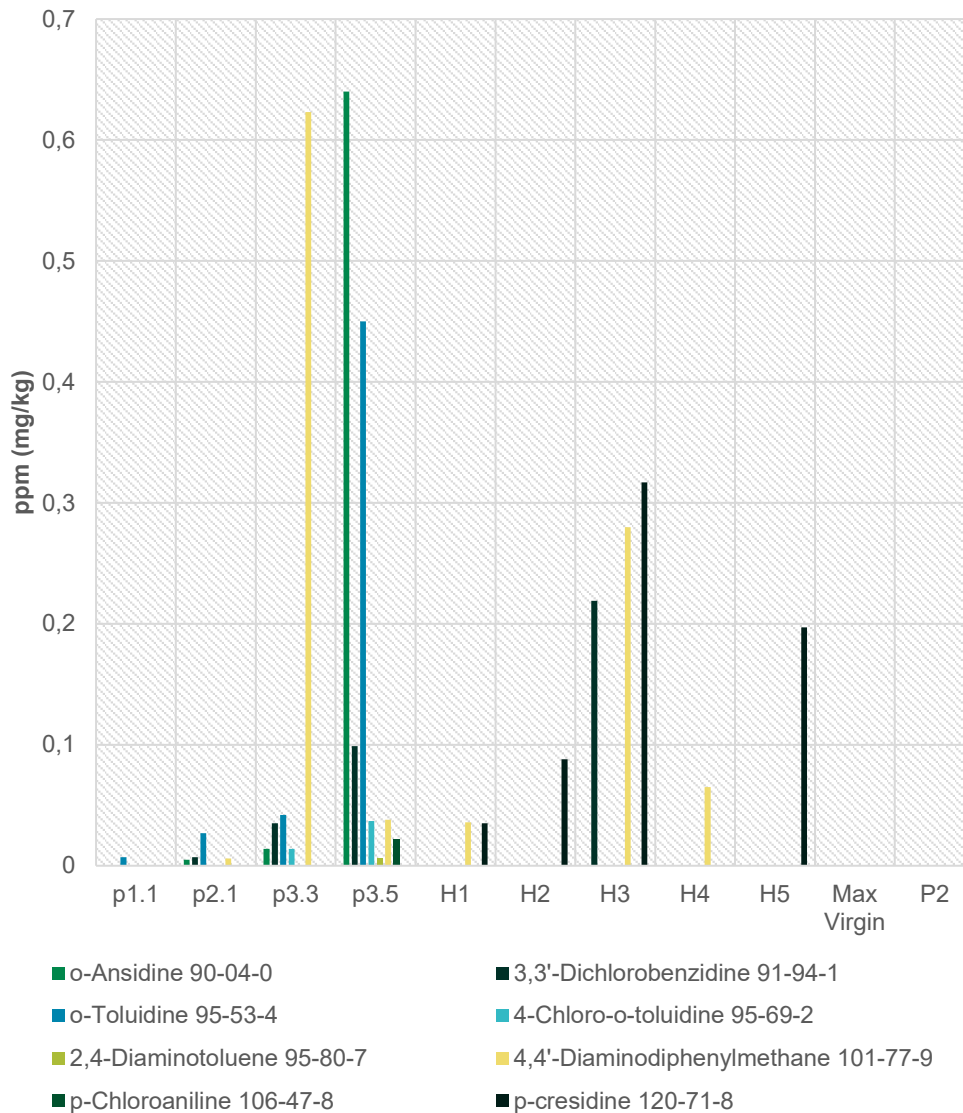


FIGUR 6. Nedbrydning af farvestoffer til PAA.

Prøverne H1-H5 indeholder ligesom prøverne P1.1, P2.1, P3.5 og P3.5 i Miljøprojekt 2174, 2021 en række PAA. Særligt findes det, at prøverne H1-H5 indeholder 4,4'-diaminodiphenylmethan og *p*-cresidine. Begge stoffer er klassificeret som kræftfremkaldende.⁸ Prøverne fra AVL (H1, H2) har forholdsvis lave koncentrationer af PAA. Indholdet af PAA'er er lavere i H1 (hvid) end i H2 (grå). Denne observation er sammenfaldende med prøverne H3 (grå) og H4 (hvid). Dette stemmer overens med formodningen om, at størstedelen af PAA'erne stammer fra nedbrydning af organiske farvestoffer. H3 (grå, EU) og H5 (mørkeblå, Indien) har væsentligt højere indhold af PAA'er, ligesom der også observeres forekomst af 3,3-dichlorobenzidine.

⁸ ECHA substance database.

Primære aminer

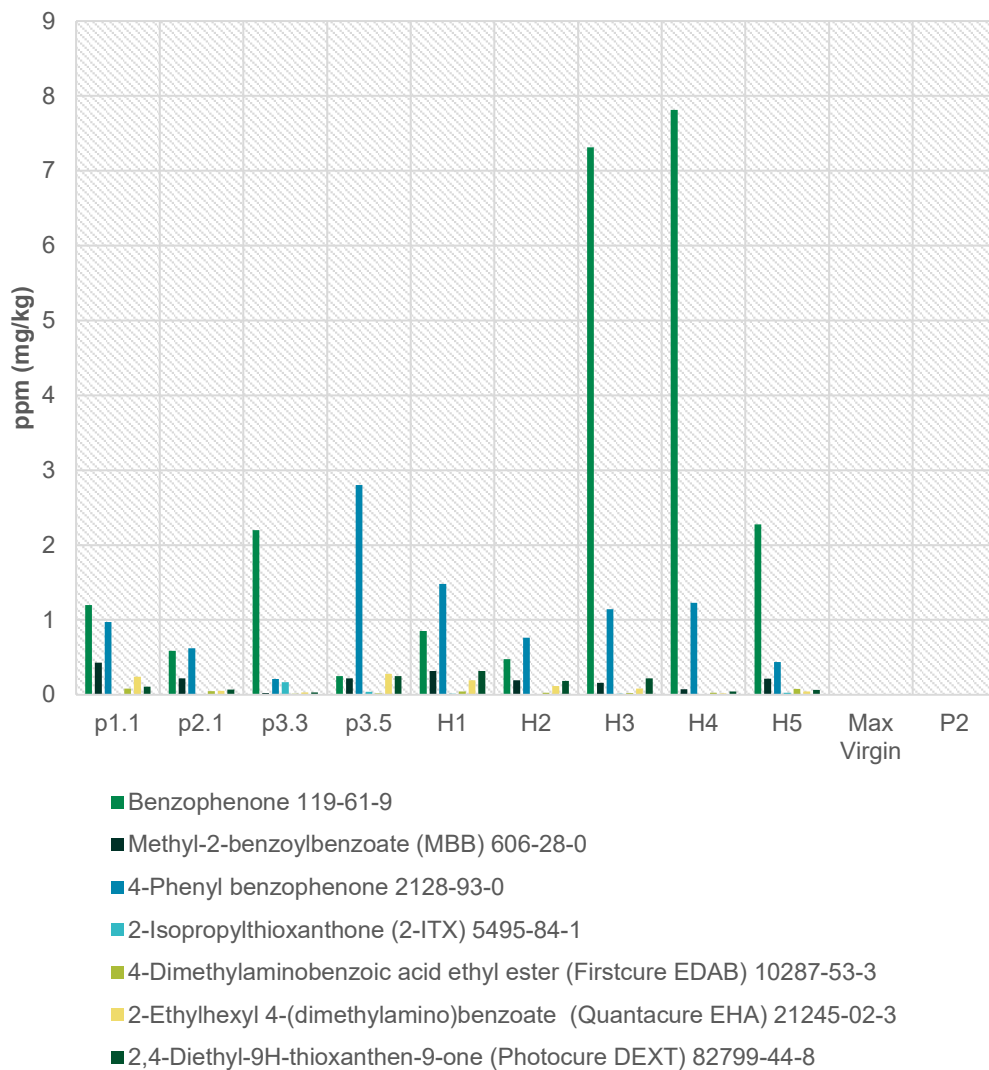


FIGUR 7. Migration af primære aromatiske aminer i udvalgte plastkilder.

5.2.1.4 Indhold af UV-stabilisatorer

UV-stabilisatorer tilsættes for at reducere UV-nedbrydning af plasten ved udsættelse for sollys. For alle undersøgte prøver findes indhold af flere UV-stabilisatorer med undtagelse af PET-prøven (P2). De hyppigst forekommende UV-stabilisatorer er benzophenone (CAS-nr. 119-61-9) og 4-phenyl benzophenone (CAS-nr. 2128-93-0). Selvom benzophenone er klassificeret som kræftfremkaldende, er der ikke regulatoriske krav til indholdet af stoffet i kosmetiske produkter eller emballager. De laveste indhold af UV-stabilisatorer findes for H1 og H2, og P1.1 og P2.1.

UV photoinitiatorer



FIGUR 8. Migration af UV-photoinitiatorer i udvalgte plastkilder.

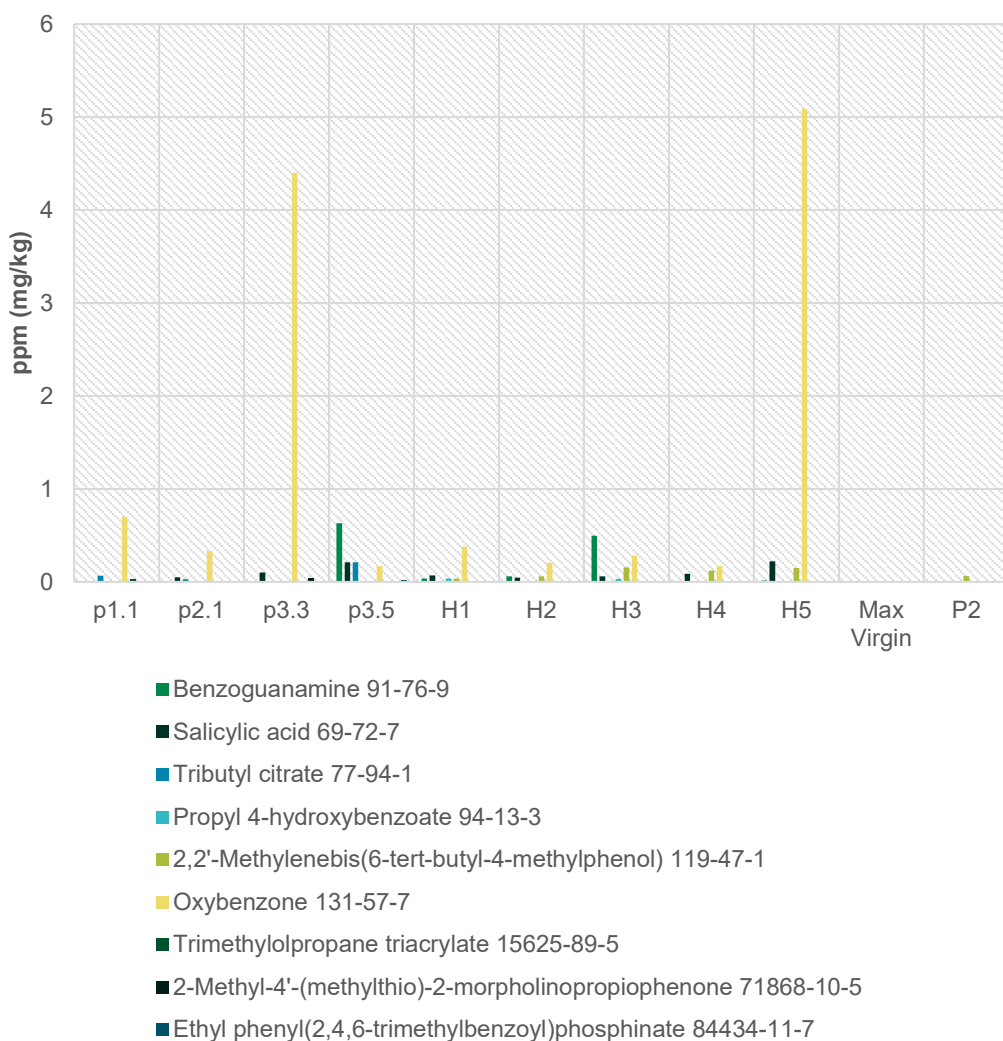
5.2.1.5 Indhold af andre stoffer

Ved migrationsundersøgelserne blev der identificeret en række andre relevante stoffer. Særligt er indhold af oxybenzone gennemgående for alle prøver. Oxybenzone, også kaldet benzophenone-3, er en UV-stabilisator, som tilsættes i plast, men som også anvendes i solcreme som UV-beskytter. Stoffet er under mistanke for at forårsage kræft og for at være hormonforstyrrende, og i visse lande er det forbudt at tilsætte stoffet i solcreme.

Yderligere findes mindre indhold af salicylsyre. Salicylsyre anvendes som et medikament, men anvendes også i visse tilfælde som antioxidant i plast.

Disse stoffer blev kun detekteret i lave koncentrationer for PCR-materialerne H1 og H2 fra AVL og i H3 og H4, men ikke i virgin plast eller PET.

Andre stoffer



FIGUR 9. Migration af andre relevante stoffer i udvalgte prøver.

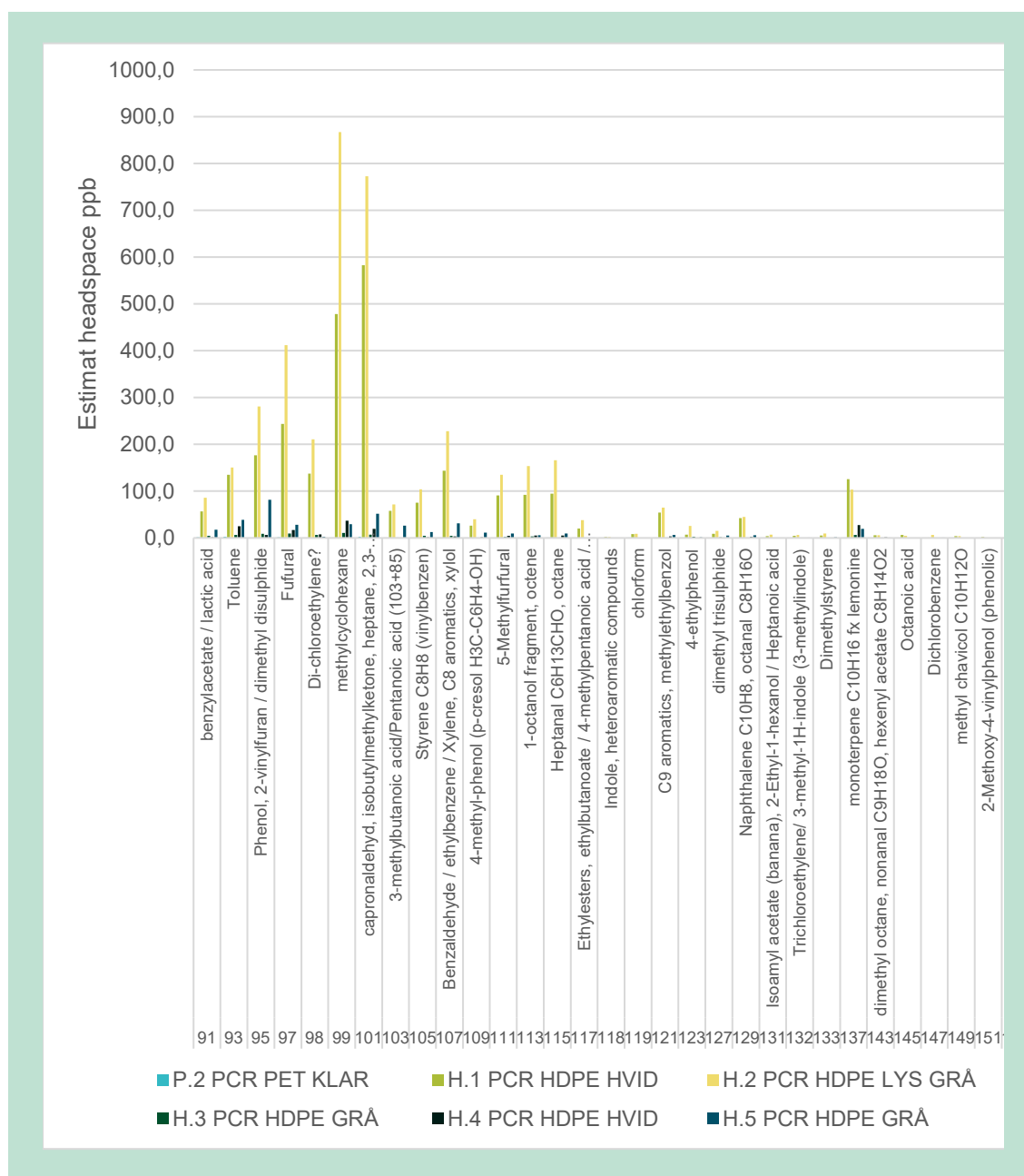
5.2.2 Screening af flygtige stoffer med PTR-MS

Der er udført screeningsanalyser ved brug af en meget følsom PTR-MS-metode (proton transfer reaction mass spectroscopy) ved Teknologisk Institut.

Ved metoden placeres en kendt mængde af granulat/piller i en beholder. Flygtige stoffer vil diffundere ud fra plastgranulatet til luften i beholderen, og en kendt volumen af denne luft suges ind i PTR-MS-apparatet. Her protoneres de analyserede organiske stoffer R ($H_3O^+ + R = RH^+ + H_2O$), så man med en magnet kan påvirke de nu ladede molekyler og adskille dem på baggrund af deres vægt.

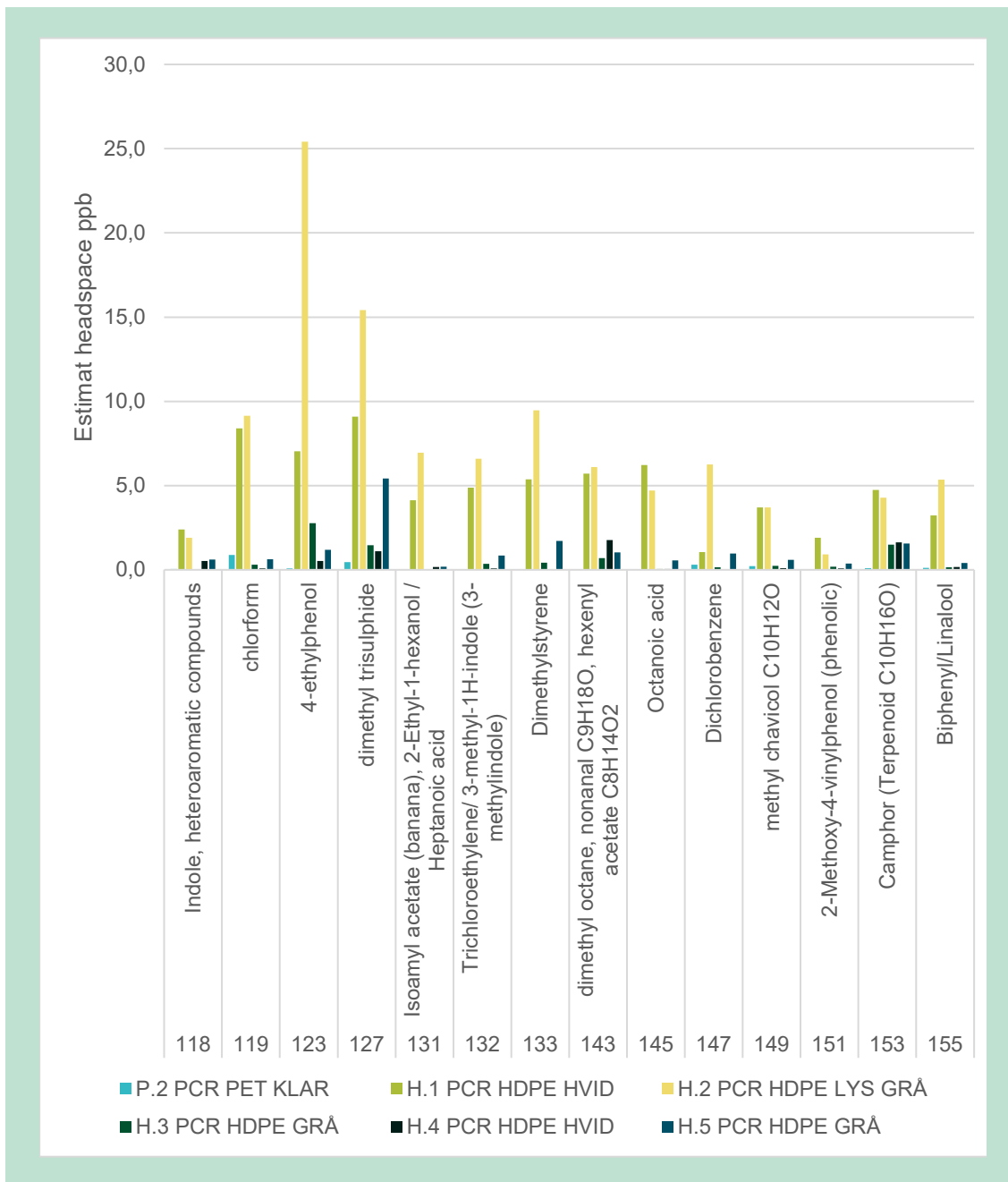
Et massespektrometer kan ikke skelne mellem molekyler, som har den samme molekylmasse. Derfor kræver det yderligere verifikation, hvis man vil identificere de detekterede stoffer (fx ved en GC/MS-analyse efter opkoncentrering). Teknikken anvendes her til kvalitativt at bestemme det relative indhold af flygtige og semi-flygtige organiske forbindelser i prøverne H1-5 og P2.

På nedenstående søjlediagrammer er angivet molmasser inkl. den tilføjede proton. Molmassen af det organiske stof er derfor den angivne værdi minus 1.



FIGUR 10. Headspace-PTR-MS-analyser af udvalgte plastkilder⁹. Resultaterne viser, at H1 og H2 (AVL) generelt har højere koncentration af flygtige stoffer, herunder lugtstoffer.

⁹ Molmasser er inkl. proton, dvs. stofmolvægten er 1 lavere end den angivne molvægt.



FIGUR 11. Headspace-PTR-MS-analyser af udvalgte plastkilder⁹. Resultaterne viser et udsnit af de detekterede højermolekylære stoffer. Igen observeres det, at H1 og H2 (AVL) generelt har højere indhold af flygtige stoffer end de øvrige analyserede prøver.

Yderligere findes det, at PET-prøven P2 har et meget lavt indhold af flygtige stoffer, og der observeres kun lave VOC-koncentrationer (<1 ppb) ved molekylvægten 119, 127, 147 og 149 g/mol.

5.3 Konklusion på indledende vurdering af tilgængelig PCR-plast

Baseret på de gennemførte migrationsanalyser blev følgende fokusområder for udviklingsarbejdet (beskrevet i kapitel 6-8) identificeret:

- Udvikling af vaskeproces til at reducere ikke-flygtige og semi-flygtige stoffer
- Udvikling af VOC-rensningsteknik til at reducere indholdet af flygtige stoffer
- Udvikling af oparbejdningsproces, som nedsætter risikoen for forekomst af PAA.

6. Udvikling af oparbejdningsteknologi

Baseret på de skitserede krav (kapitel 3 og 4) og på den indledende vurdering af PCR-materialernes renhed i kapitel 5 udvikles AVL's oparbejdningsproces til at 1) minimere indholdet af ikke-flygtige og semi-flygtige stoffer, 2) reducere lugt, herunder fra flygtige stoffer (fx parfumestoffer og VOC'er), og 3) minimere risikoen for forekomst af PAA.

De individuelle oparbejdningstrin udvikles uafhængigt af hinanden igennem en række udviklingsforsøg. Til reduktion af ikke-flygtige og semi-flygtige stoffer videreudvikles AVL's eksisterende vaskeproces til at øge renheden af det neddelte husstandsplast. Til fjernelse af lugtstoffer udvikles en proces for termisk rensning. Slutteligt arbejdes der med ekstruderingsprocessen med fokus på dels at reducere risikoen for dannelse af PAA, dels at øge effektiviteten af filtrering for urenheder.

Den udviklede oparbejdningsproces afprøves efterfølgende i stor skala med henblik på senere emballagefremstilling (se kapitel 7).

6.1 Strategi for udviklingsforsøg

Formålet med de nedenstående oparbejdningsforsøg var at undersøge eksisterende og nye behandlingsmetoder for deres effektivitet med hensyn til at øge renheden af PCR-materialet ved varierede procesparametre og at fastslå, hvilke metoder som giver størst effekt i forsøget på at opnå høj kvalitetsgranulat, som er egnet til produktion af emballage til kosmetik- og hygiejneprodukter.

Udgangsmaterialet, som blev anvendt til forsøgene, var helt eller delvist behandlet igennem AVL's anlæg til oparbejdning af husholdningsplast. I nærværende afsnit opsummeres de væsentligste forsøg, som omhandler vaskeproces, termisk behandling og ekstrudering.

Udvikling af metoderne omfatter i korte træk:

- Udvikling af forbedret vaskeproces via ændring i vasketemperatur, behandlingstid og tilsætning af kemikalier
- Udvikling af termisk behandling 1 med undersøgelse af betydningen af variation af behandlingstemperatur og behandlingstid
- Udvikling af termisk behandling 2 med undersøgelse af betydningen af variation af behandlingstemperatur og behandlingstid
- Udvikling af en kombination af termisk behandling 1 og termisk behandling 2.

6.2 Vaskeproces

En central enhedsoperation i størstedelen af processer til oprensning af husstandsindsamlet plast er vaskeprocessen. Vaskeprocessers hovedformål er at reducere mængden af overfladekontamineringer. Sådanne kontamineringer kan bestå af både organisk materiale og andre uønskede stoffer, og vasken udføres typisk på neddelt plast (flakes) for at øge effekten.

I AVL's proces til behandling af polymersorteret plast indgår ligeledes en vaskeproces. Processen blev udviklet i MUDP-projektet 'Udvikling af oparbejdningslinje til optimal genanvendelse af indsamlet plast fra husstande set i et cirkulært perspektiv'.¹⁰ Processen er baseret på en meget effektiv friktionsvask med minimalt forbrug af vand.

Mange kontamineringer af emballager skyldes fedtholdige materialer, fx mayonnaise og olier. For olieholdige stoffer stiger vandopløseligheden med temperaturen af vaskevandet. Brug af base kan desuden forsæbe olierne og herved gøre dem mere vandopløselige. Dette har medført, at varmvask med tilsætning af base benyttes til fx vask af PET, som oprenses til en kvalitet, så det kan omsmeltes til fødevarerkontaktprodukter (se fx Miljøprojekt 1724, 2015, s. 65).¹¹ Samme metode er i nærværende projekt testet til forbedret rensning af polyolefiner i kombination med en effektiv friktionsrensning.

Det er velkendt, at vask med basiske opløsninger kan øge mængden af stoffer, som kan udvaskes og fjernes fra plasten.¹² Dette gælder især organiske kontamineringer og fedtopløselige stoffer, men også flygtige organiske forbindelser (VOC), som fx parfumestoffer.¹³ I AVL's allerede etablerede oprensnings- og sorteringsanlæg indgår vask af plasten.

Nærværende forsøgsserier er udført for at undersøge effekten af at ændre på vasketemperatur, opholdstid og tilstedeværelse af renskemikalier i form af base.

Udgangsmaterialet til forsøgene bestod af neddelt, polymersorteret, friktionsvasket og drænet husstandsindsamlet HDPE fra AVL's eksisterende leverandør. Der blev herefter udført to rækker forsøg. I den første forsøgsserie (forsøg nr. 1-4, TABEL 7) blev plasten behandlet i AVL's pilotvasker (FIGUR 12), som simulerer storskalaproduktion. Forsøgsbetingelserne for de fire udførte forsøg er opsummeret i TABEL 7. I den anden forsøgsserie blev forsøgene udført på laboratorieskala (FIGUR 13) for at teste forlængede opholdstider, højere temperaturer og forskellige koncentrationer af tilsat base (se forsøg nr. 5-7, TABEL 8).

TABEL 7. Betingelser i vaskeforsøg.

Nr.	Friktionsrensning	Varmvask (°C)	Varmvask (min)	Base	Skyl
Pilotvask					
1	√	%	%	%	
2	√	Ca. 65	5	%	
3	√	Ca. 65	5	C ₁	√
4	√	Ca. 65	5	C ₂	√
Laboratorievaske					
5	√	%	%	%	
6	√	75	30	%	
7	√	75	30	C ₃	√

¹⁰ B. R. Jacobsen, A. Riis, I. Leisner, C. Z. Hansen, M. Kristensen, J. V. Hansen, B. Malmgren-Hansen, K. Tønning, *Udvikling af oparbejdningslinje til optimal genanvendelse af indsamlet plast fra husstande set i et cirkulært perspektiv*, marts 2021, Miljøstyrelsen.

¹¹ J. V. Heinzl, C. S. Larsen, K. Tønning, B. Malmgren-Hansen, N. H. Nilsson, *Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger* Miljøprojekt 1724, 2015.

¹² B. Chappell, A. Pramanik, A.K. Basak, P.K. Sarker, C. Prakash, S. Debnath, S. Shankar, *Clean er Matter*, **2022**, *6*, 100158.

¹³ M. Roosen, L. Harinck, S. Ügdüler, T. De Somer, A. G. Hucks, T. G.A. Belé, A. Buettner, K. Ragaert, K. M. Van Geem, A. Dumoulin, S. De Meester, *Sci. Total Environ.* **2022**, *812*, 152467.

* C₁, C₂, C₃ er forskellige koncentrationer af base (NaOH), hvor C₁<C₂<C₃.



FIGUR 12. Pilotvasker anvendt til forsøg med kort vasketid.



FIGUR 13. Laboratorieforsøg med forlænget vasketid.

Effekten af vaskeprocesserne er vurderet ud fra en kontrolmetode udviklet af Teknologisk Institut til test af mængden af organiske stoffer, som kan fjernes i varmt vand ved forsæbning og opløsning. I metoden ekstraheres det organiske materiale ved at vaske PCR-materialet i varmt vand (75 °C) i en time under omrøring med NaOH. Der tilsættes stort overskud af vaskevand - 5 kg vaskevand (demineraliseret og filtreret for organisk stof) per kg plast.

Som mål for renseeffektivitet bestemmes det resterende organiske materiale, som er ekstraheret fra plasten. Metoden er baseret på en analyse af total organisk carbon (TOC). Resultatet opgives som mg ilt/liter og er omregnet til mg kulstof/kg plast, idet det antages, at et mol kulstof reagerer med et mol ilt. Resultaterne af en blindprøve uden plast og analyser af de behandlede prøver er vist i TABEL 8. Desuden viser tabellen en beregnet renseeffektivitet.¹⁴ Resultaterne viser, at renseeffektiviteten øges med temperaturen af vaskevandet (se fald i forurening fra 541 mgC/kg forsøg 1 til 487 mgC/kg plast i forsøg 2) og ligeledes øges ved at øge pH

¹⁴ Renseeffekt = (mgC/kg ubehandlet - mgC/kg målt)/mgC/kg ubehandlet*100 - fx for nr. 2 = (541-487) / 541*100 = 10 %. Det er i denne beregningsmetode antaget, at kontrollen med langtidsvask ved pH 14 opnås en renseeffekt på 100 %.

af vaskevandet (se resultater for forsøg nr. 2, 3 og 4 samt forsøg nr. 6 og 7). Den største renseseffekt opnås for forsøg 7 med en renseseffektivitet på 73,7 %.

TABEL 8. Resultater af vaskeforsøg.

Forsøg nr.	Varm vask pH (målt)	mgC/kg plast	Renseeffektivitet %
Blind		15	
Pilotvask			
1		541	
2	Neutral	487	10
3	C ₁	400	28
4	C ₂	377	30,3
Laboratorievask			
5		730	
6	Neutral		
7	C ₃	192	73,7

6.3 Termisk rensning

Med målet om at reducere flygtige NIAS-stoffer og andre VOC'er fra PCR-HDPE blev en termisk behandling udviklet. Dette afsnit beskriver de udviklingsforsøg med den termiske behandling, som er gennemført på materialerne fra afsnit 6.1.1.

6.3.1 Fastlæggelse af den øvre behandlingstemperatur

Eftersom HDPE typisk har et smeltepunkt imellem 120 °C og 130 °C, er der en naturlig øvre grænse for den termiske behandlingstemperatur, hvis det neddelte materiale skal undgå at klumpe sammen som følge af smeltning. For at bestemme den praktiske øvre behandlingstemperatur, blev en række forsøg gennemført både på 'flakes' og på ekstruderede piller/granulat. Prøver af PCR-HDPE blev opvarmet til forskellige temperaturer op til 120 °C i en 'laboratorietørrer' vist på FIGUR 14. Materialet blev i hvert forsøg behandlet i 1 time.

I forsøgene blev den øvre behandlingstemperatur bestemt til 115 °C – 120 °C, hvor mindre dele af plasten var smeltet og klæbrigt.



FIGUR 14. Test af behandlingstemperatur i laborietørrer.

6.3.2 Termisk rensning i laboratorieskala

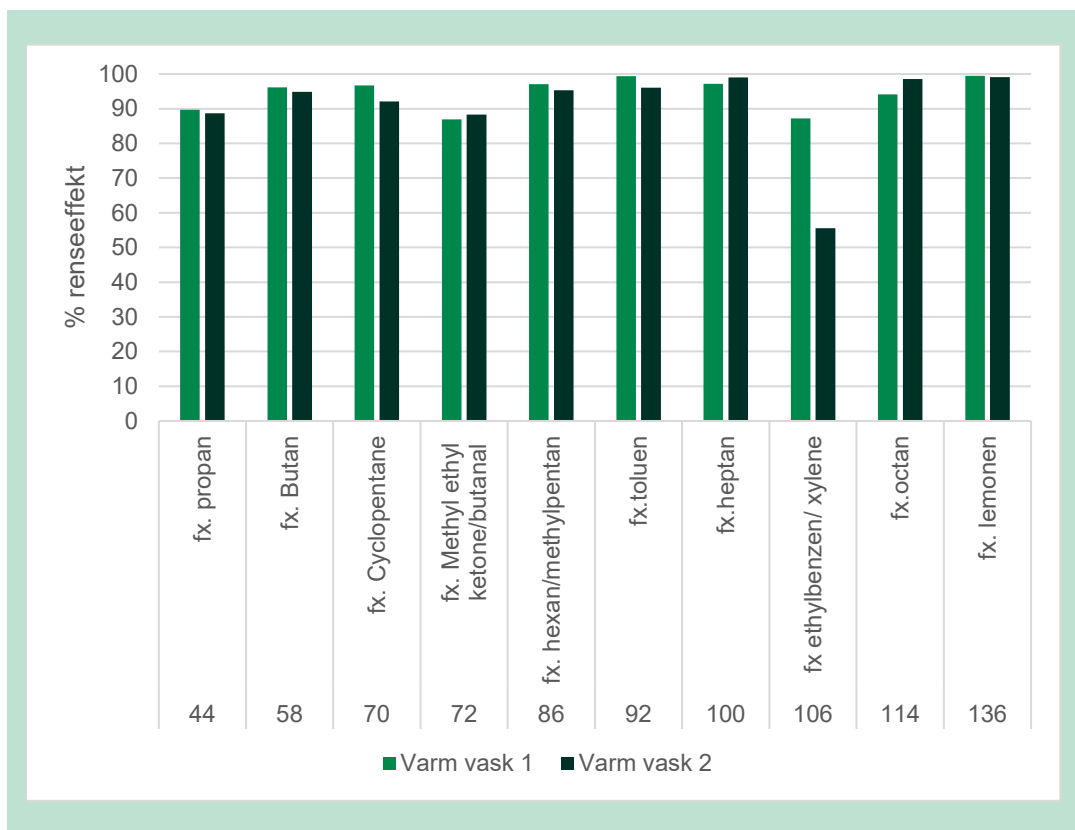
Beskrivelse af udvalgte udviklingsforsøg med termisk rensning er vist i TABEL 9. Den samlede behandling består af ekstra vask af flakes i varmvask 1 eller varmvask 2 efterfulgt af tørring og ekstrudering til piller. Som led i processerne indgår to termiske rensninger (benævnt hhv. termisk behandling 1 og termisk behandling 2) implementeret forskellige steder i produktionskæden. Effekten af disse tiltag blev undersøgt enkeltvis og i kombination.

TABEL 9. Udvalgte forsøg med termisk rensning.

Betingelser	vask 75° C, t ₂	Base (C ₂)	Tørring 60 °C til 0,2 % fugt	Termisk behandling 1	Termisk behandling 2
Reference	%	%	✓	%	%
Varm vask 1	✓	%	✓	✓	%
Varm vask 1	✓	%	✓	✓	✓
Varm vask 2	✓	✓	✓	✓	%
Varm vask 2	✓	✓	✓	✓	✓

Forsøgene med termisk rensning blev foretaget med materialerne nr. 5, 6 og 7 fra TABEL 7. Referencen er de normalt vaskede flakes, som benyttes til alle forsøg (materiale nr. 5 i TABEL 7). Laborieforsøg blev udført på udstyr ved AVL og Teknologisk Institut. Flakeprøver af referencen og de færdigbehandlede piller blev analyseret af Teknologisk Institut med PTR-MS-metoden beskrevet i afsnit 4.2.2.

På FIGUR 15 er vist den estimerede renseseffekt ved brug af termisk rensning 1 og termisk rensning 2 i kombination i forhold til varmvask 1 (neutral pH) og varmvask 2 (basisk pH).



FIGUR 15. Estimeret renseseffektivitet¹⁵ ved brug af termisk behandling 1 og termisk behandling 2 i forhold til anvendt vaskeproces. På figuren er angivet molmasse af analyseret stof.

Det findes, at kombinationen af termisk behandling 1 og termisk behandling 2 resulterer i en høj renseseffektivitet. Det fremgår dog også, at indholdet af flygtige stoffer ikke umiddelbart er påvirket af, om vaskeprocessen driftes ved neutral (varm vask 1) eller basisk pH (varm vask 2).

PTR-MS-analyse af flygtige stoffer fra fremstillede piller, hvor kun termisk rensning 1 blev anvendt, resulterede i en dårligere renseseffekt for mange af de detekterede stoffer sammenlignet med kombinationen af termisk rensning 1 og termisk rensning 2 (data ikke vist).

6.3.3 Fastlæggelse af termisk behandlingstid

Til at fastlægge, hvorledes opholdstiden i de termiske rensningsprocesser påvirker reduktionen af flygtige forbindelser, blev der gennemført en række eksperimenter i større skala med mængder på 200-300 kg.

En silo (th. i FIGUR 16) blev anvendt til tørreforsøget. Materialet føres til siloen, hvorefter varm luft ledes ind i bunden og op gennem materialet i en given periode.

I det følgende vises resultater for termisk rensning af flakes med to forskellige behandlingstider, t_1 og t_2 , hvor t_2 er behandlet 7 gange så længe som t_1 .

¹⁵ Den estimerede renseseffekt = $(1 - \text{headspacekoncentration efter rensning} / \text{headspacekoncentration for reference}) * 100$.

TABEL 10. Forsøg med forskellig opholdstid.

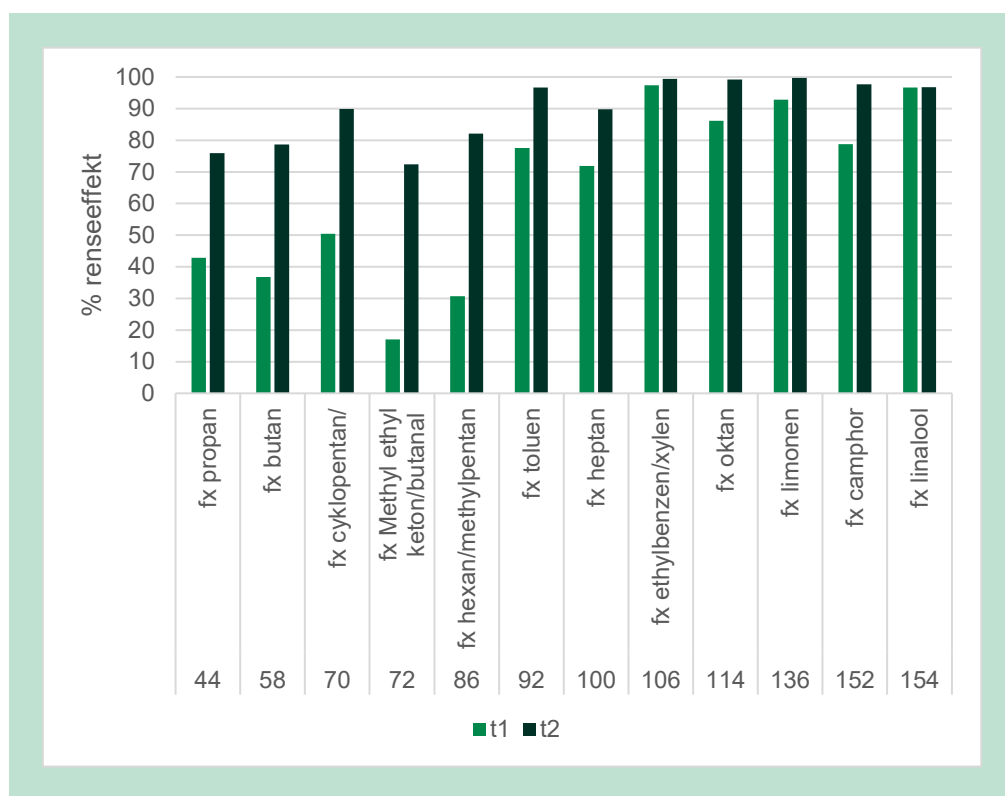
Betingelser	Tid - t_1	Tid - t_2
Reference	%	%
Behandling 1	√	%
Behandling 2	%	√

Flakeprøver af referencen og de termisk behandlede flakes blev analyseret af Teknologisk Institut med PTR-MS-metoden beskrevet i afsnit 5.2.2.



FIGUR 16. Silo benyttet til termisk rensning.

På FIGUR 17 ses den estimerede renseeffekt ved brug af termisk behandling med behandlingstiden t_1 og t_2 .



FIGUR 17. Estimeret renseeffektivitet ved brug af termisk rensning t_1 og t_2 på flakes. På figuren er angivet molmasse af analyseret stof uden proton.

Resultatet viser en god effekt på stoffer med molmasse over 92 (over 70 % reduktion af VOC'er med t_1 og over 90 % reduktion med t_2). Parfumestoffer såsom limonen, camphor og linalol er reduceret med over 79 % med behandlingstid t_1 og med mere end 97 % med behandlingstid t_2 . De lavmolekylære stoffer fjernes bedst med den længste behandlingstid t_2 .

6.4 Ekstruderingsproces

Ekstrudering er en essentiel del af oparbejdning af plastaffald. I ekstruderingsprocessen opvarmes plasten, til den overgår til en smeltefase, og transporteres igennem ekstruderen ved hjælp af et snekkesystem. Processen medfører, at der opnås ensartet kvalitet ved at sikre homogen dispergering af materialet og eventuelt tilsatte additiver. Under ekstruderingen vil der samtidig ske afgasning af især flygtige stoffer. Kemiske reaktioner kan ligeledes finde sted, fx nedbrydning af farvestoffer, som vist på FIGUR 6.

Ekstruderingsprocessen blev derfor undersøgt med henblik på at finde den optimale ekstruderingsstemperatur, hvor flest mulige flygtige stoffer fjernes uden at danne nye uønskede stoffer og uden at forringe plastens egenskaber i forhold til videre processering.

6.4.1 Ekstruderingsstemperatur

For at finde den optimale ekstruderingsstemperatur blev PCR-HDPE (vasket og tørret) ekstruderet ved en række forskellige temperaturer, og prøverne blev efterfølgende analyseret hos Teknologisk Institut og AVL for hhv. flygtige stoffer og egenskaber i forhold til videre processering. I det følgende benævnes den laveste ekstruderingsstemperatur T_1 .

Forsøget baserede sig på erfaring om, at høje ekstruderings temperaturer vil bibringe et højere materialeudbytte og rent procesteknisk være fordelagtigt grundet mindre vedligehold på filtre og mekaniske dele i ekstruderen. Dog forventes en højere grad af nedbrydning af materialet ved de højere ekstruderings temperaturer, hvilket er u hensigtsmæssigt for den efterfølgende anvendelse til emballage til kosmetik og hygiejneprodukter. Altså formodes det, at ekstrudering ved lavere temperaturer vil føre til en mindre grad af nedbrydning, men en mulig negativ påvirkning på udbyttet af processen.

Under ekstruderings testen blev relevante parametre såsom ampereforbrug, tryk, urenheder i filter og udbytte målt. Filtrene blev undersøgt visuelt (FIGUR 18) for at vurdere, om lavere ekstruderings temperatur ledte til flere urenheder i filteret, men ingen væsentlige forskelle kunne observeres. Udbyttet af materiale over et bestemt tidsinterval blev målt ved den laveste og højeste temperatur, hvilket også viste resultater uden væsentlige forskelle. Desuden blev materialeprøver fra den højeste og den laveste temperatur karakteriseret i forhold til MFI, trækstyrke, slagstyrke og termiske egenskaber for at vurdere, om materialeegenskaberne var godkendt iht. materialespecifikationerne. Alle prøver blev sendt til Teknologisk Institut for vurdering af indhold af uønskede flygtige stoffer og deres variation som følge af ændringerne i ekstruderings temperaturen.



FIGUR 18. Inspektion af smeltefiltre ved lav ekstruderings temperatur (venstre) og høj ekstruderings temperatur (højre) viser sammenlignelige mængder urenheder.

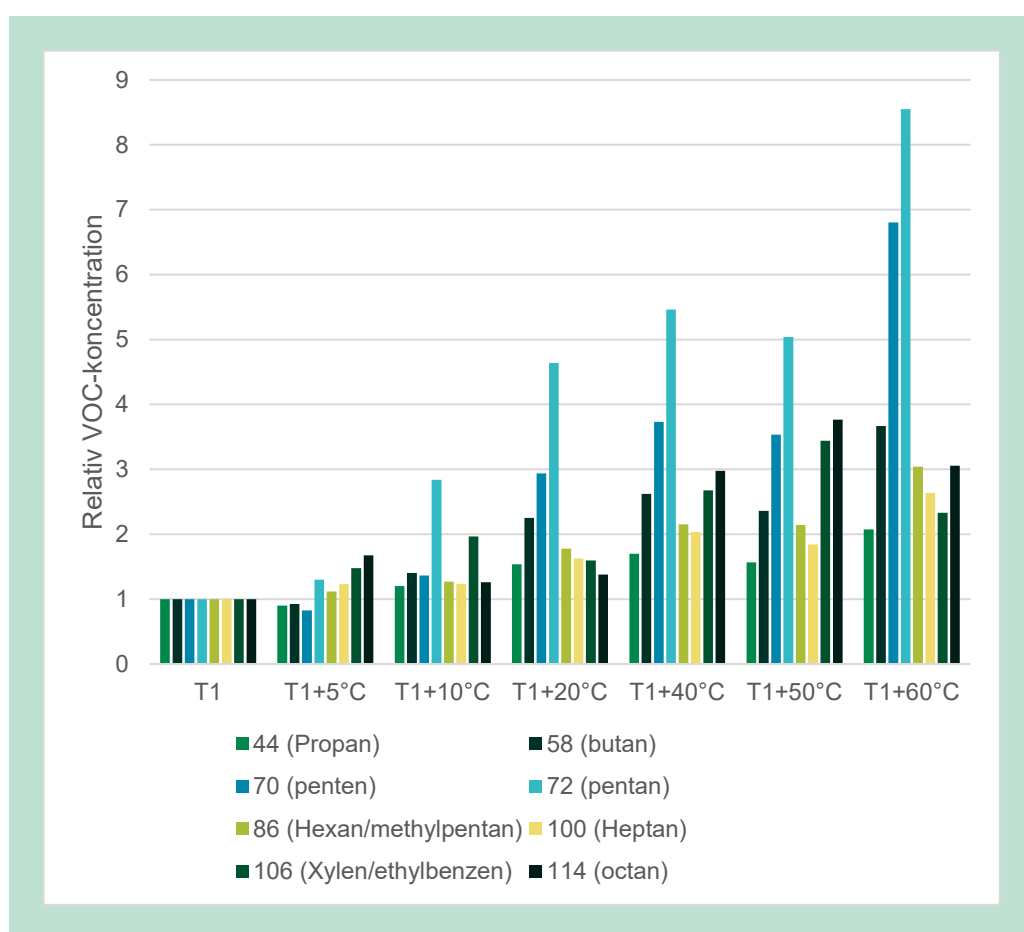
Forsøgene viste, at de procesrelevante parametre, der blev undersøgt i testen (ampereforbrug, tryk, mængder på filter og udbytte), varierede meget lidt mellem den højeste og den laveste ekstruderings temperatur (se fx ampereforbrug TABEL 11). Resultater for test af de tekniske egenskaber for materialerne ekstruderet ved T_1 og $T_1 + 50$ °C kan ses i TABEL 11 og viser, at der ved $T_1 + 50$ °C, er sket en ca. 20 % forøgelse af MFI sammenlignet med materialet ekstruderet ved T_1 . Begge materials egenskaber er dog inden for de opstillede kravspecifikationer.

TABEL 11. Materialeegenskaberne fra plast ekstruderet ved T1 og T1 + 50 °C.

Temperatur	Strømforsbrug (A)	MFI (g/10min)	Tensile strength (Mpa)	E-mod (Mpa)	Elongation yield (%)	Impact strength	DSC, TM	DSC, DH
T1	44-52	1,16	25,01	722	10,22	23,37	135,2	167,1
T1 + 50 °C	44	1,38	24,39	693	10,35	24,18	133,6	162,2

Analyser af kemiske stoffer bestemt med en PTR-MS headspaceanalyse ved Teknologisk Institut viste, at der dannes færrest stoffer ved de laveste ekstruderings temperaturer.

På FIGUR 19 er vist en relativ stofkoncentration¹⁶ for eksempler med angivne molmasser samt et bud på det detekterede stof (kvalitativ bestemmelse af stoffer kræver brug af andre analysemetoder, da PTR-MS kun kan identificere molmassen af stoffet, hvor flere organiske stoffer kan have den samme molmasse).



FIGUR 19. Eksempler på afgangne stoffer som funktion af ekstruderings temperatur.

T₁ = laveste ekstruderings temperatur. På figuren er angivet molmasse af analyseret stof uden proton.

¹⁶ Den relative stofkoncentration er koncentrationen for en given temperatur divideret med stofkoncentrationen ved temperaturen T₁. Ved at benytte relative koncentrationer kan data vises på en graf, idet niveauerne af headspacekoncentrationerne af stofferne varierer en faktor 5000 (stoffer med lave molmasser har de højeste headspacekoncentrationer, formentlig grundet større damptryk).

Figuren viser, at der i stigende grad afgives stoffer, når der ekstruderes ved øget temperatur (i testen blev anvendt temperaturer til op til 60 °C over starttemperaturen T_1). Stofferne vurderes at blive dannet ved nedbrydning af polyethylen, farvestoffer eller ikke-bortrenset organisk materiale. Det ses, at nogle af stoffernes koncentration stiger op til en faktor 8 ved at øge ekstruderingstemperaturen med 60 °C. Det er derfor vigtigt at holde en så lav ekstruderingsstemperatur, som det er teknisk muligt, hvis man vil begrænse lugtafgivelsen og nedbrydning af polymeren.

6.5 Konklusion på udviklingsforsøg

Målet med udviklingsforsøgene har været at identificere den kombination af produktionsmetoder og procesparametre, der er mest optimal til oparbejdning af PCR-HDPE til kosmetik- og hygiejneprodukter.

Vaskeprocessen: Med udgangspunkt i udviklingsforsøgene findes, at der opnås en højere renseseffektivitet ved basisk varmvask sammenlignet med en varmvask med neutral pH. Dog blev det fundet, at den forhøjede pH havde en relativt lille effekt på reduktionen af uønskede stoffer. I betragtning af den relativt lille forbedring af PCR-materialets renhed blev det vurderet, at brugen af almindeligt vand med en given temperatur i vaskeprocessen proces teknisk – i forhold til rensning og genbrug af vaskevandet samt rent økonomisk - er en bedre løsning.

Termiske behandlinger: Udviklingsforsøgene med den termiske behandling til fjernelse af lugtstoffer og VOC'er viste, at behandlingstemperaturen ikke bør overstige temperaturen, hvor materialet begynder at klistre sammen, hvis procesrelaterede problemer (sammenklæbning) skal undgås. Desuden bemærkedes, at både termisk behandling 1 og termisk behandling 2 effektivt reducerede indholdet af uønskede stoffer, og at reduktionen blev større ved længere behandlingstider, samt at kombinationen af termisk behandling 1 og termisk behandling 2 gav det bedste resultat.

For termisk behandling 1 var reduktionen af flygtige stoffer allerede god med behandlingstid t_1 . Efter $7 * t_1$ var flere karakteristiske VOC-stoffer reduceret med 80-99 % i forhold til referencematerialet (ubehandlet).

Selvom den mest optimale behandling fra et renhedsperspektiv er at anvende en lang behandlingstid til at reducere indholdet af de fleste uønskede stoffer, skal behandlingen også optimeres energi- og procesmæssigt. Lange behandlingstider vil betyde, at processen bliver for dyr og kan udgøre en produktionsmæssig flaskehals. Der er derfor beregnet et optimum for behandlingstiden ud fra et produktionsmæssigt, proces teknisk og miljømæssigt perspektiv.

Til storskalatesten i afsnit 7 fremstilles en række kvaliteter for at vurdere effekten af termiske behandlinger i et procesmæssigt helhedsbillede. Ved fremstillingen benyttes 4 behandlinger:

- Ingen termisk behandling
- Kun termisk behandling 1
- Kun termisk behandling 2
- Kombination af termisk behandling 1 og 2

Ekstrudering: Udviklingsforsøgene med ekstruderingsprocessen viste, at lavere ekstruderingsstemperaturer bidrog til færre uønskede flygtige nedbrydningsstoffer, og mindre påvirkning af plastens mekaniske egenskaber uden betydelig reduktion af masseudbyttet. Der blev til storskalatesten udvalgt to ekstruderingsstemperaturer, T_1 og T_2 , hvor T_1 var den lavest mulige ekstruderingsstemperatur i forhold til procesrelevante egenskaber/krav, og T_2 er højere end T_1 og vanligtvis anvendes til fremstilling af PCR-HDPE-granulat hos AVL.

7. Udvikling af plastemballager i højkvalitets-PCR-HDPE

Nærværende kapitel omhandler udviklingen af produktspecifik emballage med udgangspunkt i højkvalitetsplastgranulater fremstillet i produktionsrelevant skala hos AVL samt den gennemførte sikkerhedsvurdering af den færdige emballage i forhold til anvendelse til kosmetik. Afsnittene beskriver valg af kosmetikemballage med maksimal kontaktflade mellem emballage og produkt, som repræsenterer et worst case-scenarie i forhold til migration af skadelige stoffer, oparbejdningsforsøg i storskala med forskellige behandlingsgrader, fremstilling af emballager i storskala og fuld sikkerhedsvurdering af en udvalgt emballage.

7.1 Valg af emballageformat til storskalatest

Til storskalaforsøgene og den efterfølgende sikkerhedsvurdering af den endelige emballage til kosmetik udvælges et emballageformat, som anvendes til leave-on og rinse-off produkter, og som repræsenterer et worst case-scenarie i forhold til eksponeringen af produktet til emballagen.

For Nopa Nordics eksisterende emballageformater til kosmetik og personlig pleje blev der foretaget en vurdering af kontaktforholdet mellem volumen af produktet og kontaktfladearealet med emballagen (FIGUR 20). Ud fra princippet om en worst-case evaluering blev en rund 100 mL flaske valgt som udgangspunkt for videre storskalatest og sikkerhedsvurdering af emballagen til kosmetikprodukt. Årsagen til at fravælge en oval 100 mL flaske var en bedre tilgængelighed til produktionsværktøjet til den runde 100 mL flaske.

7.2 Oparbejdningsforsøg i storskala

Forud for emballagefremstillingen af den udvalgte 100 mL flaske i storskala skaleredes oparbejdningsprocessen. Med udgangspunkt i de indledende udviklingsforsøg beskrevet i kapitel 6 var formålet med oparbejdningsforsøgene i storskala at fastslå det optimale kompromis mellem behandlingsgrad, procesproduktivitet og renhed af det producerede materiale i en relevant skala. Da hvert yderligere behandlingstrin er behæftet med en økonomisk og miljømæssig omkostning, afsøges der i storskalatesten:

1. Hvilke behandlingstrin bibringer de største kvalitets- og renhedsforbedringer.
2. Den bedste renhed, der kan opnås med færrest mulige behandlingstrin.

I storskalatesten undersøges kvaliteten og renheden af PCR-materialet fra den samlede oparbejdningsproces. Hertil benyttes resultaterne fra de foregående udviklingsforsøg.

Følgende behandlingstrin, procesparametre og behandlingskombinationer blev undersøgt i storskalatesten:

1. NIR-sortering: Med farvesortering (Lys) og uden farvesortering (Mørk)
2. Termisk behandling: Kombinatorisk termisk behandling i to forskellige led af oparbejdningsprocessen, herefter benævnt hhv. termisk behandling 1 og termisk behandling 2. Med termisk behandling (Ja) og uden termisk behandling (Nej)
3. Ekstrudering: Lav ekstruderingsstemperatur (Lav) og høj ekstruderingsstemperatur (Høj).



FIGUR 20. Beregning af kontaktarealforholdet mellem produkt og forskellige flaskeemballager anvendt til kosmetiske produkter.

TABEL 12. Oversigt over af storskala oparbejdningsforsøg.

Nr.	Farvesorteret	Termisk behandling 1	Termisk behandling 2	Ekstruderings temperatur
1	Mørk Grå	Ja	Nej	Lav
2	Mørk Grå	Ja	Ja	Lav
3	Mørk Grå	Ja	Nej	Høj
4	Mørk Grå	Ja	Ja	Høj
5	Mørk Grå	Nej	Ja	Lav
6	Lys	Ja	Nej	Lav
7	Lys	Ja	Ja	Lav
8	Lys	Ja	Nej	Høj
9	Lys	Ja	Ja	Høj

De behandlingskombinationer, som blev gennemført i storskalaforsøget, er vist i TABEL 12. Planen blev udarbejdet med henblik på at fremstille forskellige kvaliteter med sigte på, at én eller flere af kvaliteterne var egnet til emballering af kosmetik- og hygiejneprodukter.

Målet med NIR-farvesortering var dels at øge polymerrenheden af PCR-HDPE-materialet med særligt fokus på at reducere PP-indholdet, dels at sortere lys/hvid-farvede flakes fra farvede flakes. Den farveblandede fraktion resulterer i et mørkegråt granulat. Ved at udsortere og anvende overvejende hvid plast kan der opnås en fraktion med lavere risiko for indhold af PAA, eftersom disse blandt andet dannes som nedbrydningsprodukter af farvestoffer.

Der blev endvidere gennemført kombinationer med den termiske behandling i to forskellige led af oparbejdningsprocessen med målsætningen om at sikre færrest og kortest mulige behandlingstider med maksimal renseseffekt. Temperaturerne, som blev anvendt i de to termiske behandlingstrin, blev baseret på resultaterne fra de indledende udviklingsforsøg.

Slutteligt blev der gennemført produktionsforsøg med kombinationer af forskellige ekstruderingsstemperaturer, hvor forskellen på lav og høj temperatur var 30 °C.

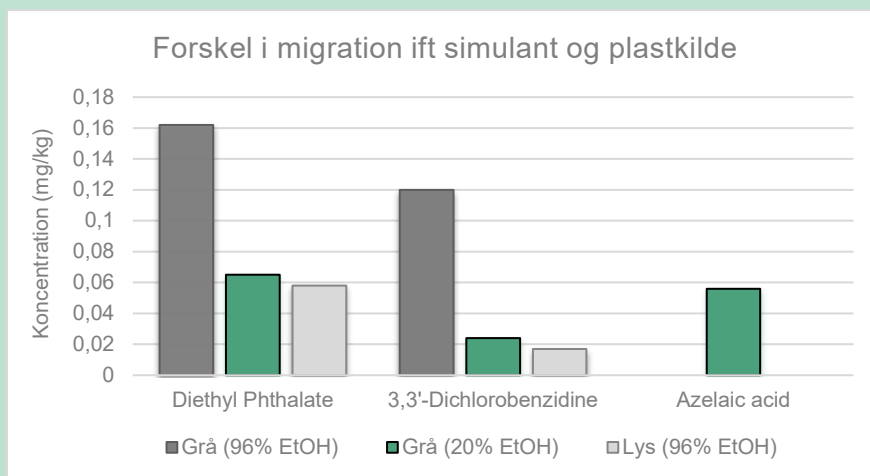
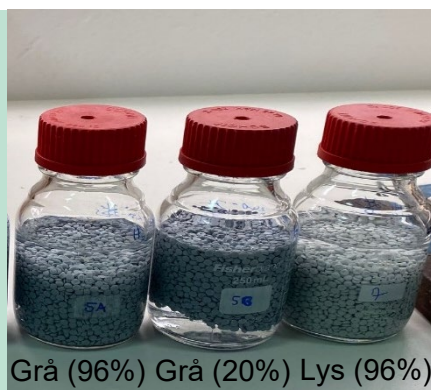
I alt blev der produceret 9 forskellige granulater af hver 100 kg til emballagefremstilling i stor skala.

7.3 Effekt af migrationsbetingelser

På en udvalgt række af de producerede granulater blev der udført yderligere migrationsanalyser (sideløbende med analyser på de producerede emballageflasker – se afsnit 8.5). I forbindelse med migrationsanalyserne blev migrationen fra worst case-scenariet med 95 % ethanol som simulant sammenlignet med migrationen i 20 % ethanol som simulant, hvilket er tættere på sammensætningen af mange kosmetikformuleringer, som er emulsioner af olie i vand. Desuden ønskedes yderligere indblik i betydningen af farvesortering af plastkilden på migrationsniveauerne.

I FIGUR 21 er vist migrationen af tre forskellige udvalgte stoffer (diethyl phthalate, 3,3'-dichlorobenzidine og azelaic acid), som repræsenterer tre forskellige stofklasser; henholdsvis blødgørere, primære aromatiske aminer og polære organiske forbindelser (carboxylsyre). Migrationerne er foretaget ved 60 °C i 3 dage i enten 95 % ethanol eller 20 % ethanol. De beskrevne resultater stammer fra granulaterne nr. 2 og 7 (TABEL 12), som er termisk dobbeltbehandlet og ekstruderet ved lav temperatur.

For langt størstedelen af de detekterede stoffer observeredes en stor reduktion i de målte koncentrationer, når migrationen udføres i 20 % ethanol i forhold til 95 % ethanol. Dette resultat er som forventet og i overensstemmelse med valget af 95 % ethanol som et worst case-scenarie til at simulere kosmetiske formuleringer. For nogle stoffer, som fx primære aromatiske aminer, ses dog endnu større effekt af at anvende en farvesorteret plastkilde, hvor migrationen flere steder er lavere fra den lyse plast i 95 % ethanol sammenlignet med den mørke plast i 20 % ethanol. For enkelte meget polære stoffer (såsom carboxylsyren azelaic acid) observeres desuden større migration i 20 % ethanol end i 95 % ethanol. Denne observation er ligeledes velkendt og anses ikke som problematisk, eftersom mange af de vandopløselige forbindelser ikke er sundhedsskadelige, men understreger dog vigtigheden i at foretage migrationsanalyser i forskellige produktsimulanter.



FIGUR 21. Billede øverst: Udvalgte analyserede granulater. Mørk grå plast i 95 % EtOH (venstre), mørk grå plast i 20 % EtOH (midt), og lys plast i 95 % EtOH (højre). Diagram nederst: migrationsniveau i forhold til simulatant og plastkilde.

7.4 Udvikling af fremstillingsproces for emballager

I efteråret 2022 blev der gennemført emballagefremstilling i storskala på to forskellige flasker (FIGUR 22) med de ni forskellige materialekvaliteter fremstillet hos AVL og almindelig virgin plast som reference.



FIGUR 22. Produceret 100 ml flaske (venstre) og 300 mL flaske (højre).

De fremstillede flasker gennemgik standardiserede kvalitetskontrolproducerer, herunder lækagetest og visuel kontrol. Schela Plast oplevede ikke nogen væsentlig forskel i processerbarhed og mekanisk kvalitet på flaskerne på tværs af de 9 forskellige granulater fra AVL.

Yderligere blev det bemærket af produktionsmedarbejderne i forbindelse med storskalatesten, at der ikke opstod lugtgener, hvilke ellers har været bemærket for særligt de grå og mørkegrå PCR-materialer fra andre udenlandske leverandører.

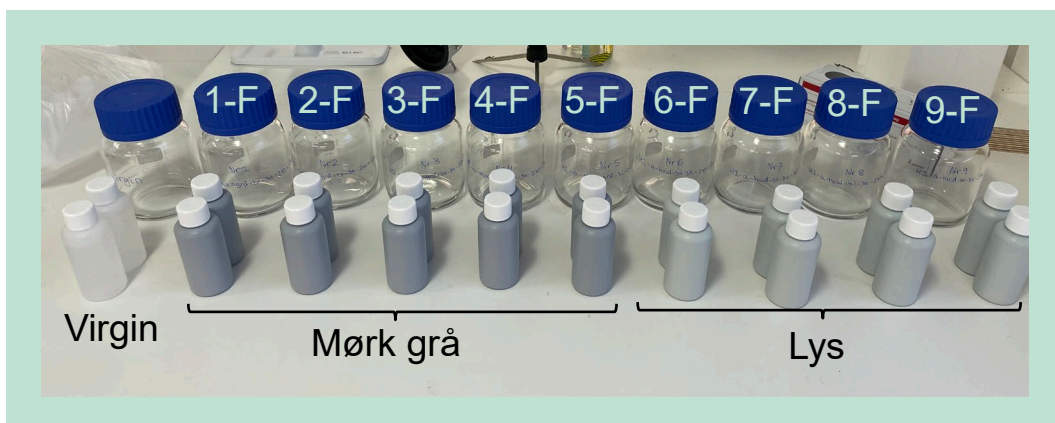
De fremstillede flasker blev efterfølgende undersøgt på Teknologisk Institut for migration af uønskede stoffer.

7.5 Migrationsanalyser på støbte flasker

Effekten af de forskellige behandlingstrin og kombinationen af disse på PCR-materialernes renhed blev vurderet baseret på samme migrationsundersøgelser som foretaget på de identificerede plastkilder i kapitel 5. Migrationsanalyserne foretages med henblik på at fastslå den maksimale forventelige migration af stoffer fra emballagen til det kosmetiske produkt.

Jævnfør en teststrategi med fokus på et worst-case scenarie for de udviklede emballager foretages migrationen ved 95 % ethanol ved 60 °C i tre dage, hvilket simulerer, at formuleringen er opbevaret i emballagen i et år ved stuetemperatur. Migrationsundersøgelserne blev kun udført på den runde 100 mL flaske, idet kontaktoverfladen mellem emballage og formulering her er maksimal.

Med henblik på at opnå det bedst mulige sammenligningsgrundlag og samtidig skabe det mest retvisende billede på effekten af de forskellige behandlinger blev det besluttet at udføre migrationsanalyser på alle de udviklede emballager. Migrationsvæskerne (produktsimulanterne) fra hver af de 10 flasker (inklusive virgint materiale, FIGUR 23) blev analyseret ved en LC-HRMS-screening for mere end 100 stoffer samt en NIAS-screening baseret på GC-MS.



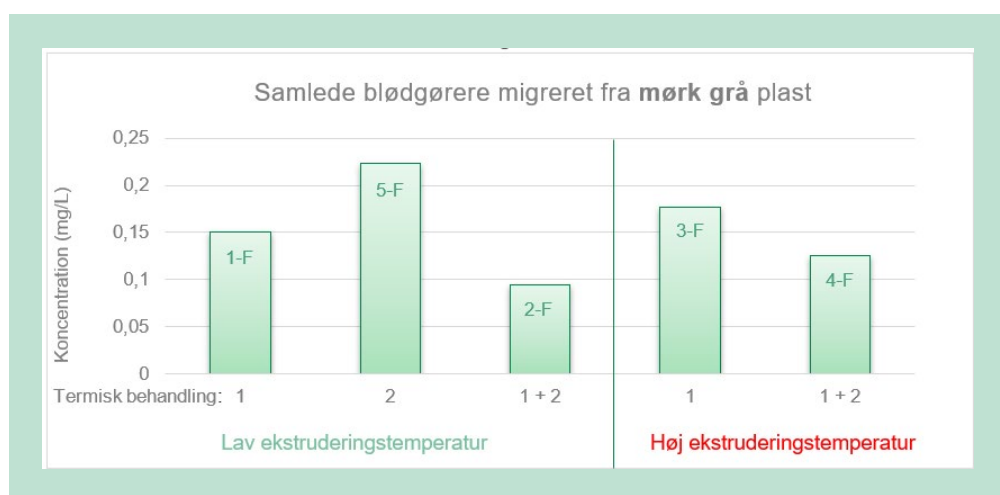
FIGUR 23. Støbte flasker til migrationsanalyse.

Analyserne indeholdt test for blødgørere, parfumestoffer, antioxidanter, primære aromatiske aminer, photoinitiatorer, photostabilisatorer, kosmetik ingredienser, nedbrydningsprodukter af polymer m.fl.

TABEL 13. Oparbejdningdetaljer for de forskellige emballager.

Flaske	Migrationsbetingelser	Overflade-areal (cm ²)	Kilde	Termisk behandling 1	Termisk behandling 2	Ekstruderings-temperatur
1-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Mørk	Ja	Nej	Lav
2-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Mørk	Ja	Ja	Lav
3-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Mørk	Ja	Nej	Høj
4-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Mørk	Ja	Ja	Høj
5-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Mørk	Nej	Ja	Lav
6-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Lys	Ja	Nej	Lav
7-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Lys	Ja	Ja	Lav
8-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Lys	Ja	Nej	Høj
9-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Lys	Ja	Ja	Høj
11-F	95% EtOH (100 mL), 60 °C, 3 d	109,5	Virgin	-	-	Høj

Konklusionerne fra migrationsanalyserne på alle flasker af PCR-plast viste, at koncentrationerne for alle detekterede stoffer lå under grænseværdierne for brug som fødevarekontaktemballage. Selvom koncentrationen af migrerede stoffer gennemgående var meget lav, kunne der observeres visse tendenser i migrationsniveauerne. På FIGUR 24 vises summen af de detekterede blødgørere i de fem prøver, som stammer fra PCR-plastkilden, der ikke er farvesorteret.



FIGUR 24. Summen af de detekterede blødgørere, som er migreret fra de forskellige emballager produceret fra den ikke-farvesorterede kilde.

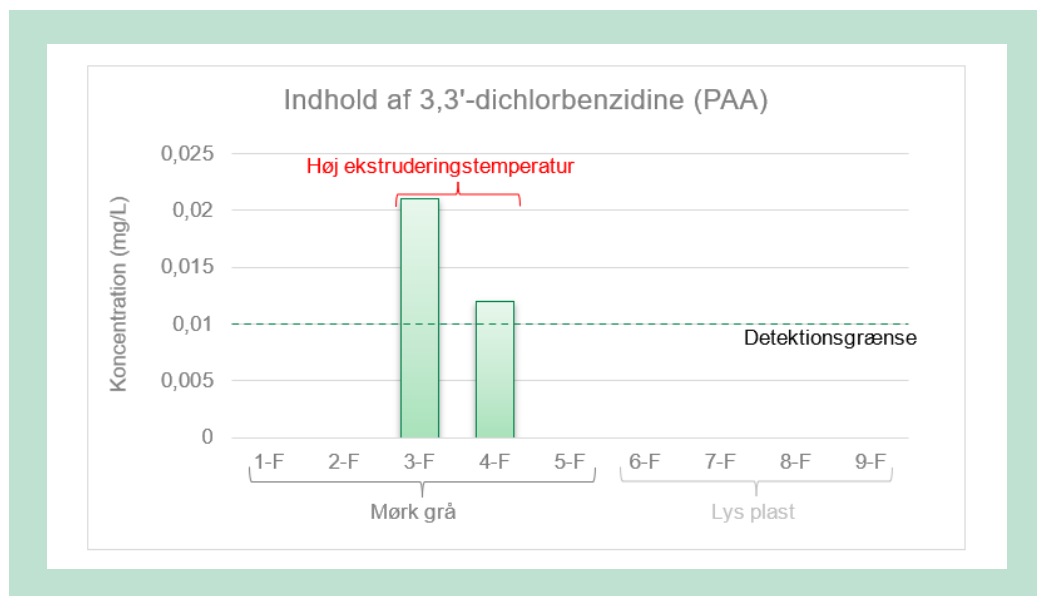
Koncentrationen af blødgørerne følger de generelle tendenser for størstedelen af stofferne i migrationsanalyserne:

- Koncentrationerne af detekterede stoffer er meget lave (tæt på detektionsgrænsen)
- Termisk behandling 1 er mere effektiv end termisk behandling 2
- Kombineres de to termiske behandlinger, opnås det bedste resultat (størst renseeffekt)
- Koncentrationen af særligt problematiske stoffer er generelt lavere i plasten, som er ekstruderet ved den lave temperatur i forhold til den høje temperatur
- Mængden af detekterede stoffer er generelt lavere for den lyse plast i forhold til den mørkegrå plast.

Særlig opmærksomhed bør gives til tilstedeværelsen af kræftfremkaldende, mutagene og reproduktionstoksiske stoffer (CMR). Sammenlignet med migrationerne foretaget på granulater,

er koncentrationen af detekterede stoffer væsentligt reduceret i migrationen fra den endelige emballage.

En interessant konklusion fra sammenligningen af de 10 flasker er, at primære aromatiske aminer udelukkende kunne detekteres i de to flasker, som stammer fra en blandet farvefraktion, og som havde været udsat for en højere ekstruderingsstemperatur (F-3 og F-4 se FIGUR 25).



FIGUR 25. Migrationsniveau af en specifik primær aromatisk amin (3,3'-dichlorobenzidine) fra emballagetyperne.

Denne observation kan forklares ved, at indholdet af farvestoffer naturligvis er højere i fraktionen, som ikke er farvesorteret, og at disse farvestoffer i højere grad nedbrydes til de skadelige primære aromatiske aminer ved højere temperatur. Det skal dog nævnes, at selv i de to emballager, hvor der kunne detekteres 3,3'-dichlorobenzidine, er koncentrationerne så lave, at de ikke udgør en sundhedsmæssig risiko.

På baggrund af de udførte analyser blev det konkluderet, at alle de genanvendte emballager tilmed lå under grænseværdierne for migration af stoffer fra fødevarekontaktmateriale med hensyn til de detekterede stoffer. Det er nævneværdigt, at der i den undersøgte virgine HDPE (reference) blev detekteret 0,58 mg/kg 1-dodecene samt 3,84 mg/kg 1-tetradecene. De respektive grænseværdier for disse to stoffer er 0,05 mg/kg fødevarer i henhold til (EU) No. 10/2011. Ud fra de fundne NIAS-stoffer blev det altså konkluderet, at den virgine plast ikke levede op til fødevarekvalitetskravene, mens ingen overtrædelser blev fundet i emballagerne af genanvendt plast i de udførte screeninger.

På baggrund de samlede migrationsresultater og nævnte trends blev emballage 2-F udvalgt til at gennemgå en fuld toksikologisk evaluering og sikkerhedsvurdering. Emballage 2-F er både udsat for termisk behandling 1 og termisk behandling 2, som tilsammen fjerner flest mulige stoffer, og er ekstruderet ved den lave temperatur, hvor der dannes færrest primære aromatiske aminer. I det migrationsniveau generelt er lavere for den lyse plast i forhold til den mørkegrå plast, vil emballage 7-F, som har været udsat for samme oparbejdning, ligeledes leve op til kravene, hvis 2-F vurderes sikker til brug i kosmetik.

7.6 Toksikologisk evaluering og sikkerhedsvurdering af udviklede emballage

Eftersom der ikke er etableret metoder og procedurer for procesgodkendelse af genanvendelsesprocesser til non- eller near-food applikation tilsvarende EFSA's challenge-test til genanvendelse af fødevareplast, skal de udviklede emballager i højkvalitets-PCR-materialer godkendes fra produkt til produkt.

Selvom det ikke er obligatorisk, at kosmetikemballage skal overholde bestemmelserne om fødevarekontakt, blev der fastlagt en analysestrategi på baggrund af de analysemetoder, der er anvendt til at teste fødevarekontaktmateriale, for at evaluere og sikre sikkerheden af de udviklede emballager så grundigt som muligt. Den omfattende analysestrategi blev fastlagt i samarbejde med en underleverandør, som blev udvalgt til at forestå analyserne på grund af stor erfaring med at evaluere genanvendt plast til specifikke formål.

Strategien bestod i at udføre grundlæggende test og vurdering af den generelle migration samt specifik bestemmelse af stoffer, der kunne forventes at være til stede i PCR-materialet. De grundlæggende migrationstest suppleres med analytiske screeningtest af ikke-flygtige, semi-flygtige og flygtige NIAS-stoffer, CMR-stoffer og SVHC-stoffer samt intakte tilsætningsstoffer, som stammer fra udgangsmaterialet.

I alt gennemførtes syv forskellige analytiske undersøgelser, som danner grundlag for den efterfølgende sikkerhedsvurdering af emballagen.

1. Overall migration level (samlet migration): Der udførtes en generel migrationstest for at evaluere den samlede grad af migration fra det genanvendte materiale. For at dække de mange potentielle anvendelser og forskellige kosmetiske formuleringer blev migration foretaget i både 3 % eddikesyre, 10 % ethanol, 50 % ethanol, 95 % ethanol og isookatan som simulant. Testene blev udført i 10 dage ved 40 °C, hvilket anses for at være tilstrækkeligt til at simulere langtidsopbevaring ved stuetemperatur.

2. Migration af ftalater: Ftalater er stoffer, der giver anledning til sikkerhedsmæssige betænkeligheder, og som ofte påvises i polyolefin-materialer. Derfor udførtes migrationstest for disse stoffer i 95 % ethanol som worst case-simulant.

3. Migration af polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH): Der blev ligeledes foretaget specifik migrationstest for sundhedsskadelige PAH'er i isooktan som worst case-simulant.

4. Metaller i henhold til direktivet om emballage og emballageaffald: I henhold til direktiv 94/62/EF om emballageaffald skal det samlede indhold af cadmium, bly, krom(VI) og kviksølv i emballage bestemmes. Der blev derfor foretaget test af disse metaller.

5. Specifik migration af udvalgte metaller: Udover de mest problematiske metaller bør emballagen testes for metaller, som ofte anvendes i plastmaterialer, og som er omfattet af en regulering i henhold til bilag II til forordning (EU) 10/2011 om plastmaterialer til kontakt med fødevarer. De pågældende 19 metaller, der er tildelt en migrationsgrænse i dette bilag, blev testet i forhold til deres respektive grænseværdier i 3 % eddikesyre som worst case-simulant.

6. PAA-migration: En specifik migrationsscreening for almindelige PAA'er foretages i 3 % eddikesyre som worst case-simulant.

7. NIAS-screening: For at påvise potentielle yderligere stoffer, der er omfattet af en specifik migrationsgrænse i lovgivningen om fødevarekontakt, eller forurenende stoffer og nedbrydningsprodukter, der kan være sundhedsskadelige, blev der udført en omfattende NIAS-screening. Flere forskellige analyseteknikker blev anvendt til at bestemme mængderne af flygtige,

semi-flygtige og ikke-flygtige stoffer efter en migrationstest på 10 dage ved 60 °C i 95 % ethanol. Pga. stoffernes forskellige egenskaber blev de flygtige stoffer bestemt med Thermal Desorption GC-MS, de semi-flygtige stoffer blev bestemt med PTV GC-MS, og de ikke-flygtige stoffer blev bestemt med LC-MS.

Overensstemmelsesvurdering samt sikkerhedsvurdering

På baggrund af ovenstående analyser blev de detekterede stoffer sammenholdt med ramme- forordningen (EU-direktiv 1935/2004/EC), kosmetikforordningen (EU-direktiv 1223/2009), forordningen for fødevareremateriale (EU-direktiv 10/2023) og forordningen for genanvendt plast i kontakt med fødevarer (EU-direktiv 2022/1616/EC) i forhold til regulatoriske krav til forbudte stoffer og grænseværdier. En toksikologisk evaluering af de detekterede NIAS-stoffer blev slutteligt foretaget for at fastslå sikkerheden af den udviklede emballage. Denne evaluering blev foretaget på baggrund af hvert NIAS-stofs toksikologiske profil (toksicitet ved gentagne dosis, sensibilisering, genotoksicitet, carcinogenicitet, reproduktions- og udviklingstoksicitet) og stoffernes eksponering for forbrugeren, afhængigt af typen af kosmetisk produkt (leave-on produkt, rinse-off produkt eller makeupprodukt).

7.7 Migrationsresultater – Lovgivningsmæssig vurdering

TABEL 14. Opsummering af resultaterne fra analyse 1-6 beskrevet i afsnit 7.6.

Test	Migrationsbetingelser	Forordning / grænseværdi	Konklusion
Samlet migration	Forskellige simulanter 10 dage ved 40 °C og 48 timer ved 20 °C	(EU) 10/2011 / 10 mg/dm ²	Den påviste samlede migration i alle testede simulanter var <1 mg/dm ² .
Ftalater	95 % EtOH, 10 dage ved 60 °C	(EU) 10/2011	Ingen af de påviste ftalater overskred deres respektive grænseværdi.
Polyaromatiske hydrocarboner (PAH)	100 % isooktan, 3 dage ved 20 °C	(EU) nr. 10/2011	Ingen af de undersøgte PAH'er kunne påvises.
Metaller jf. emballage- og emballageaf-faldsdirektivet	-	Direktiv 94/62/EF	Der blev ikke konstateret nogen overskridelse af disse metaller i forhold til deres begrænsning.
Migration af specifikke metaller	3 % eddikesyre 10 dage ved 60 °C	(EU) nr. 10/2011 Packaging Directive (Pb, Cd, Cr(VI), Hg)	Ingen af metallerne blev observeret at overskride deres respektive grænseværdi.
Primære aromatiske aminer (PAA)	3 % eddikesyre 10 dage ved 60 °C	(EU) 10/2011	Ingen PAA'er blev påvist.

7.7.1 Resultater fra NIAS-screeninger

Flygtige stoffer

De flygtige stoffer blev analyseret direkte på flaskerne. Her blev 142 signaler detekteret, hvoraf 71 unikke stoffer kunne identificeres. Summen af ukendte stoffer blev beregnet til 42,94 mg/kg simulant. Af de identificerede stoffer var hexadekan (12,94 mg/kg simulant) dominerende. Af de stoffer, som er begrænset i henhold til forordning (EU) 10/2011, var migrationsniveauerne under de respektive grænser med undtagelse af 1-tetradecene (2,78 mg/kg) og 1-dodecene (1,54 mg/kg), for hvilke den specifikke migrationsgrænse til fødevareremateriale er 0,05 mg/kg.

Semi-flygtige stoffer

For de semi-flygtige stoffer blev 18 unikke stoffer detekteret, hvoraf hexadecansyre (0,43 mg/kg) var den højeste målte koncentration. Alle migrationsniveauer lå under de fastsatte grænseværdier.

Ikke-flygtige stoffer

For de ikke-flygtige stoffer blev migration for 16 forskellige stoffer undersøgt. I denne test blev koncentrationen af hexadecansyre bestemt til 1,87 mg/kg. Hexadecansyre er også kendt som palmitinsyre og tilsættes i store mængder til kosmetik og i mange fødevarer. På trods af forskellen i de to målinger er den detekterede mængde ikke bekymrende.

Af samtlige evaluerede stoffer, som alle blev sammenlignet med gældende grænseværdier, var kun tilstedeværelsen af 1-dodecene og 1-tetradecene over grænseværdien for fødevarer-kontaktmaterialer. Baseret på referenceanalysen af virgin HDPE, som viste, at indholdet af disse to stoffer også lå væsentligt over den angivne grænseværdi for FKM-materialer, vurderes det som teknisk uundgåeligt, at disse monomerer også detekteres i det genanvendte materiale.

7.8 Toksikologisk sikkerhedsvurdering og konklusion

7.8.1 Metode

Baseret på de gennemførte migrationsundersøgelser er der foretaget en toksikologisk sikkerhedsvurdering af emballagen ud fra et leave-on hhv. rinse-off scenarie. Heri er antaget en anvendelse af den kosmetiske formulering på hele kroppen af en voksen person, svarende til 18 g/dag, eller en estimeret daglig eksponering på 300 mg/kg/dag.

Den systemiske eksponeringsdosis (SED) for et kosmetisk produkt er den mængde, som forventes at tilgå blodbanen (og dermed være systemisk tilgængelig) pr. kg kropsvægt pr. dag. PoD-værdier (Point of Departure), som er den dosis, hvor en biologisk respons først observeres, er fundet i toksikologiske studier i litteraturen eller estimeret med softwaren ToxTree®, der kan bestemme en *Threshold Toxicity Concern* (TTC), som er et eksponeringsniveau, der er uden risiko for menneskers sundhed selv ved daglig, livslang eksponering.

For at evaluere den systemiske toksicitet, er en *margin of safety* (MoS), beregnet som:

$$\text{MoS} = \frac{\text{PoD}}{\text{SED}}$$

De beregnede MoS-værdier samt sensibiliseringsværdier er samlet i Bilag 1.

7.8.2 Resultat af toksikologisk sikkerhedsvurdering

For alle detekterede stoffer undtagen ét er den udregnede sikkerhedsmargin (MoS) større end 1, hvilket antyder, at ingen sundhedsrisiko forefindes. For det enkelte stof 1-Propene-1,2,3-tricarboxylic acid tributyl ester, hvor MoS er beregnet til 0,64, er den anvendte SED (0,20 µg/dag) meget lav og ligger kun lidt højere end TTC-værdien for mutagene stoffer på 0,15 µg/dag. TTC-grænsen for mutagene stoffer i medicin er dog meget højere og ligger på 1,5 µg/dag. Baseret på denne yderligere begrundelse og vurderet med en risikoorienteret tilgang er tilstedeværelsen af dette stof i formuleringen således acceptabel.

7.9 Konklusion på kvalitetstest for PCR-emballager

Den udvikling proces til oparbejdning af højkvalitetsgranulat af HDPE er blevet succesfuldt opskalaret og de fremstillede PCR-HDPE-materialer er anvendt til storskala-fremstilling af to udvalgte emballageformater som repræsentanter for kosmetikemballager: Runde plastflasker á hhv. 100 mL og 300 mL. Disse flasker blev fremstillet med ni forskellige HDPE-materialekvaliteter fremstillet hos AVL og med virgin HDPE-plast som reference.

De fremstillede emballager gennemgik diverse tests og migrationsanalyser, hvor det blev observeret, at koncentrationen af migrerede stoffer generelt var meget lav og at alle genanvendte emballager overholdt grænseværdierne for migration af stoffer fra fødevarekontaktmaterialer.

I den efterfølgende toksikologisk sikkerhedsvurdering blev ingen sundhedsrisiko identificeret. Selvom der er taget udgangspunkt i bedste praksis med tilhørende state-of-the-art analysemetoder kombineret med en risikoorienteret tilgang viser NIAS-undersøgelsen, som nævnt, at der stadig kan detekteres stoffer, som det ikke har været muligt at identificere. Dette understreger vigtigheden i fortsat udvikling af kemiske analyser og løbende kvalitetssikring med det bedste tilgængelige udstyr. Desuden fremhæves det, at den gennemførte toksikologiske vurdering ikke omfatter spædbørns og gravide kvinders eksponering.

Således kan det på baggrund af det omfattende analyseprogram og den toksikologiske vurdering af de detekterede stoffer konkluderes, *at den udviklede emballage i PCR HDPE er sikker at anvende til kosmetikemballage både til leave-on og rinse-off produkter.*

8. Kvalitetssikringsprocedurer

I dette kapitel opsummeres overvejelser om og forslag til kvalitetssikringsprocedurer, der vil være nødvendige for fremtidig implementering af projektresultaterne i form af anvendelsen af de nye PCR-materialer til emballering af kosmetikprodukter.

8.1 Krav til kvalitetssikringsprocedurer

En af nøglebetingelserne for implementeringen af PCR-materialer til emballering af kosmetikprodukter er at kunne sikre og dokumentere, at det udviklede højkvalitetsgranulat er sikkert at anvende både i dag og i takt med, at affaldsstrømme ændrer sig. Med de rette kvalitetssikringsprocedurer er det målet at bevæge sig væk fra nutidens dominerende paradigme, hvor producenter ud fra et forsigtighedsprincip kun anvender genanvendt plast, der opfylder kravene til fødevarekontaktmaterialer, på trods af at fødevarekvalitet ikke er nødvendig for at kunne anvende en specifik PCR-plast til fx kosmetikemballager.

Som led i udviklingen af projektets højkvalitets-PCR-HDPE er adskillige analysemetoder og test blevet udviklet og anvendt til at evaluere indholdet af stoffer i materialet og på baggrund af resultaterne foretage den sikkerhedsvurdering, som muliggør markedsføring af materialet til emballering af kosmetik- og hygiejneprodukter.

Det anbefales, at et tilsvarende testprogram og toksikologisk vurdering, beskrevet i afsnit 7.6, gennemføres ved:

- Markedsføring af nye kosmetikemballager i PCR-plastmaterialer
- Væsentlig ændring/modifikation af oparbejdningsprocessen
- Væsentlig ændring af kilden til det oparbejdede plastaffald.

Yderligere bør nye emballager til kosmetik og hygiejneprodukter fremstillet i PCR-materiale testes for indhold af de 26 deklarationspligtige, allergifremkaldende parfumestoffer. Denne liste forventes at blive udvidet til at inkludere 56 'nye' stoffer, hvilket vil bringe listen af deklarationspligtige allergene stoffer, som der bør testes for, op på 82.

For at give det mest retvisende billede af emballagens sikkerhed anbefales det, at test foretages på støbte flasker, og - ud fra et princip om *worst-case* scenarie som praktiseret i nærværende projekt – at der til analysetest udvælges en mindre flaskestørrelse end den flaskestørrelse, der forventes valgt til det tilsigtede brug, idet kontaktfladen mellem formulering og emballage således maksimeres.

8.1.1 Løbende kvalitetssikring

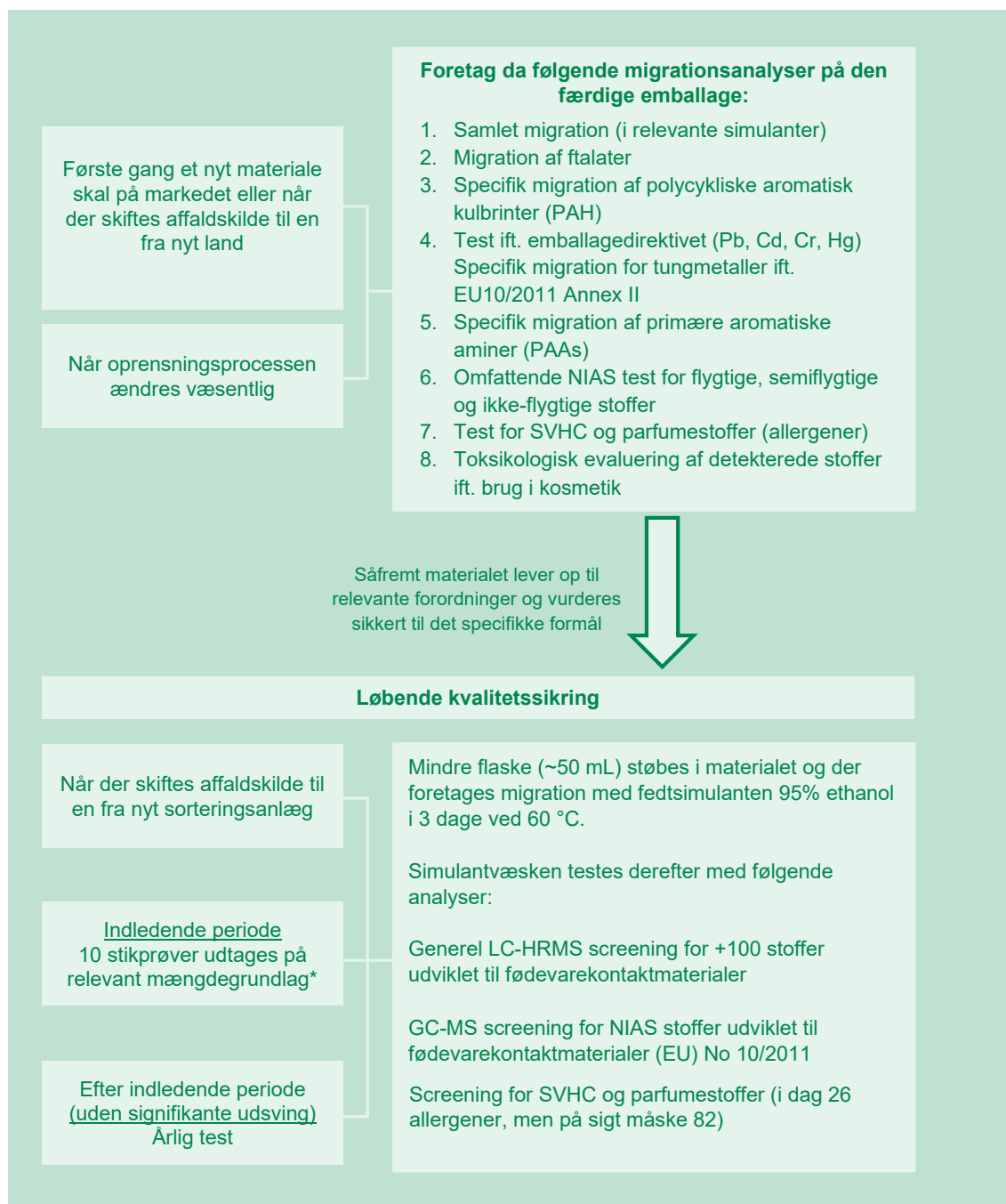
Efter indledende godkendelse af et nyt PCR-plastmateriale anbefales en periode med hyppige test af materialet for at påvise kontinuerlighed i kvaliteten. Det foreslås i den forbindelse, at den indledende periode kan bestå af 10 tests over en bestemt periode, hvor prøverne udtages på et relevant og repræsentativt mængdegrundlag. Det foreslås at støbe 50 mL flasker hos genanvendelsesvirksomheden, hvorpå der kan udføres migrationsanalyser (95 % ethanol i 3 dage ved 60 °C) hos et eksternt, certificeret institut. Det vurderes, at en generel LC/MS-screening for +100 stoffer (udviklet til fødevarekontaktmaterialer) samt en GC-MS-screening for NIAS-stoffer (udviklet til fødevarekontaktmaterialer (EU) No 10/2011) er fyldestgørende for at sammenligne migrationsniveauer med den omfattende analyse, som allerede er foretaget i forbindelse med sikkerhedsvurderingen, og dermed vurdere, om emballagen endnu er forsvarlig at anvende. Eftersom kosmetikemballage generelt skal overholde grænseværdier for allergener, bør test for disse stoffer ligeledes foretages.

Når det igennem den indledende godkendelsesperiode er dokumenteret, at plastmaterialet ikke har signifikante udsving i kvalitet og fortsat er godkendt til brug i kosmetik, foreslås et skifte til årlige stikprøveanalyser.

Ændres affaldskilde til en kilde fra et andet sorteringsanlæg, skal omfanget af ændringen vurderes partnerne imellem. Det anbefales dog, at der ved ændring af plastkilde bør gennemføres en ny sikkerhedsvurdering baseret på nye analysetests.

8.2 Opsummering af kvalitetssikringsprocedurer

De foreslåede retningslinjer for kvalitetssikring af emballager til kosmetik- og hygiejneprodukter i PCR-materiale er opsummeret i FIGUR 26.



FIGUR 26. Beslutningstræ for kvalitetssikring af nye emballager kosmetik- og hygiejneprodukter i PCR-materialer. * I den indledende periode skal materiale ikke udleveres til forbrug hos

den plastproducerende virksomhed, før stikprøve for det relevante parti/parti-interval er godkendt. Bliver materialet ikke godkendt, kan materialet i stedet bruges til produkter med lavere sikkerhedskrav såsom detergenter.

9. Miljøeffekter, businesscases og implementering

I dette kapitel samles beregninger og overvejelser angående det miljømæssige og økonomiske potentiale for implementering af den udviklede oparbejdningsproces samt anvendelsen af de nye PCR HDPE-plastmaterialer til emballagefremstilling.

9.1 Genanvendelses- og miljøeffekter

Der er opstillet en forsimplet beregningsmodel for plastens livscyklus til estimering af CO₂-emissionen. Modellen tager udgangspunkt i tre scenarier:

1. Produktion af blæste flasker med virgin HDPE (virgin).
2. Produktion af blæste flasker med genanvendt HDPE fra husstandsindsamling med den i projektet udviklede metode med ekstra effektiv termisk rensning (scenarie 1).
3. Produktion af blæste flasker med genanvendt HDPE fra husstandsindsamling med den i projektet udviklede metode med normal termisk rensning (scenarie 2).

I beregningerne er anvendt en række data omfattende de væsentligste led i forsyningskæden:

- Sortering af indsamlet plast fra husstande på centralt sorteringsanlæg.
- Transport af HDPE fra sorteringsanlæg til AVL.
- Oparbejdning ved AVL.
- Transport fra AVL til Schela Plast.
- Blæsning af flasker ved Schela Plast.

Sorteringstrin

Energiforbrug til sortering af HDPE-plast fra blandet, husstandsindsamlet plast er sat til 116 kWh/ton udsorteret HDPE.¹⁷

Oparbejdning ved AVL

- Der indgår data for samlet energiforbrug til oparbejdning pr. ton input
- Endvidere indgår data for tab af materiale i oparbejdningsproces i beregningerne
- Energiforbrug til materialer og udstyr ved AVL negligeres, da overslagsberegninger viser, at energiforbruget til fremstilling af stål- og kobbermaterialerne i anlægget udgør <0,7 % af det samlede energiforbrug, under antagelse af at oparbejdningsanlægget har en levetid på 10 år.

Transport

- Transport til sortering hos AVL er beregnet for en afstand på 100 km med en emission på 90 g CO₂/km baseret på beregninger i Tema 2015.¹⁸
- Transport af produkt er beregnet for en afstand på 200 km med en emission på 90 g CO₂/km baseret på beregninger i Tema 2015.¹⁸

Flaskeblæsning ved Schela Plast

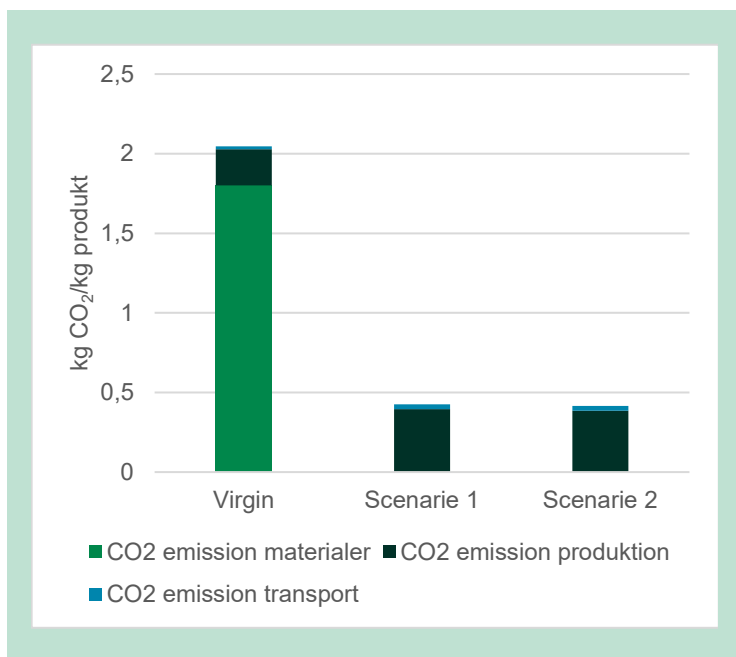
- Der indgår samlet energiforbrug til flaskeblæsning i beregningerne inkl. drift af fabrik.

¹⁷ P.N.Presley, J.W.Lewis, A.Damgaard, M.A.Barlaz, J.F.DeCarolis Waste Management, **2015**, 35, 307.

¹⁸ Transportministeriets beregningsmodel TEMA **2015**.

- Der medregnes et øget tab på 2,5 %, når der flaskeblæses med oparbejdet PCR-HDPE i forhold til brug af virgin HDPE.
- For virgin HDPE er medregnet en CO₂-emission 1,8 kg CO₂/kg i forbindelse med produktion.¹⁹
- CO₂-emission som følge af elektricitetsproduktion er sat til 130 g CO₂/kWh produceret (2021).²⁰

Resultat af beregningerne er vist på FIGUR 27.



FIGUR 27. Emission fra produktion af blæste flasker i tre scenarier.

CO₂-besparelsen ved fremstilling af blæste flasker i PCR-HDPE i forhold til fremstilling i virgin HDPE er beregnet til 1,62 kg CO₂/kg plast for scenarie 1 og 1,63 kg CO₂/kg plast for scenarie 2. CO₂-besparelserne for scenarie 1 og 2 svarer til ca. 76 % CO₂-reduktion i forhold til produktion baseret på virgin plast. CO₂-udledningen fra implementering af den mere omfattende og effektive behandling i scenarie 1 er kun marginalt højere (0,01 kg CO₂/kg plast) end for scenarie 2. Det ses endvidere, at udledning fra transport af plast fra sorteringsanlæg og fra transport af materiale fra AVL er neglignabel. Det skal bemærkes, at CO₂-emission fra indsamling ikke er inkluderet i beregningerne.

¹⁹ Plastics Europe Eco-profiles and Environmental Declarations for European Plastic Manufacturers HDPE, LDPE, LLDPE April 2014.

²⁰ EEA https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-12/#tab-chart_2.

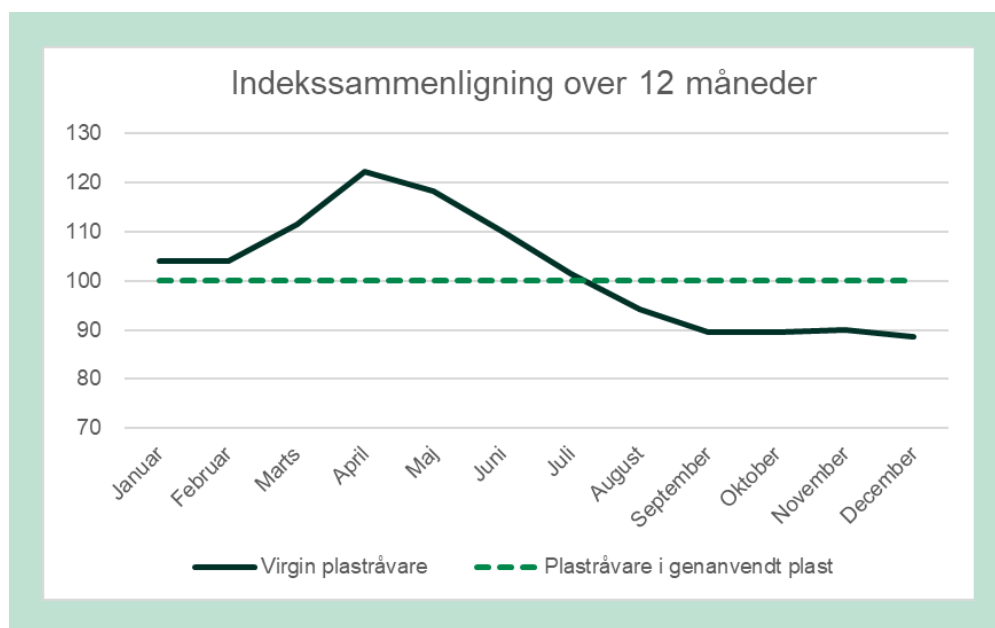
9.2 Businesscase AVL

Businesscasen er udarbejdet med vægt på at kunne sammenligne salgsprisen på den genanvendte plastråvare med salgsprisen på virgin plastråvare. Sammenligningen er opgjort i såvel kr./kg som i CO₂-besparelse/kg.

9.2.1 Kostpris plastopbejdning

For at beregne kostprisen er der taget udgangspunkt i indkøbsprisen på råvaren, råvarens kostpris efter færdig oprensning, bortskaffelse af affald fra oprensningsprocessen, pelleteringen, interne håndteringsprocesser, kvalitetsarbejde samt brug af emballage. Beregningen er baseret på et specifikt parti på 25.000 kg.

Prisen på den virgine råvare er hentet fra et internationalt prisindeks som en gennemsnitspris over en periode på 1 år, mens råvareprisen på genanvendt plast afspejler en aftalt fast årspris i samme tidsinterval, som prisen på den virgine råvare er indsamlet.



FIGUR 28. Indekssammenligning.

Der er store vækstmuligheder inden for salg af råvare i genanvendt plast til både den danske og den europæiske plastindustri. For danske genanvendelsesvirksomheder er potentialet særlig stort, hvis det kan dokumenteres, at råvaren af genanvendt plast opfylder kvalitetskravene til near-food produkter, som fx bruges i kosmetik- og hygiejnebranchen. Det udviklede høj kvalitetsmateriale fra nærværende projekt vil kunne imødekomme de opstillede krav fra disse brancher. Det økonomiske potentiale ved 100 pct. plastgenanvendelse estimeres i en rapport fra 2019 som værende mindst 1,6 mia. kr. pr. år alene i Danmark²¹. Danmark kan høste store økonomiske gevinster, hvis det lykkes at blive bedre til at genanvende plastaffald.

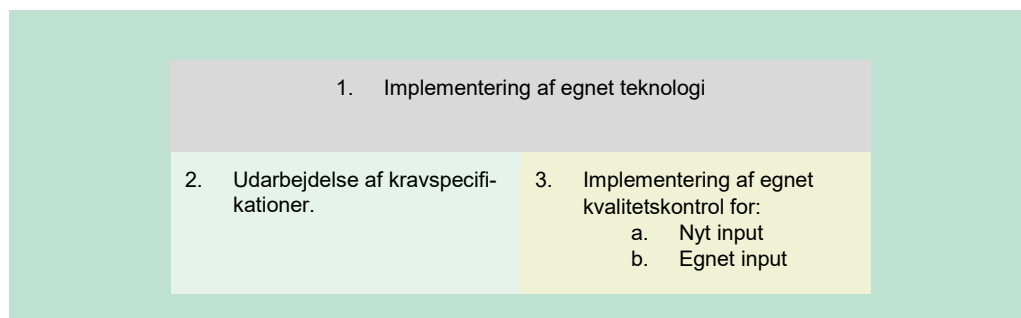
En bedre plastgenanvendelse i Danmark vil derudover betyde mindre CO₂-udledning, mindre plast i naturen og havene samt oprettelse af nye specialiserede arbejdspladser.

Udfordringerne er, at der p.t. ikke findes tilgængelige mængder sorteret plastaffald fra de danske husstande. Denne udfordring søges løst ved at importere sorteret plastaffald fra vores nabolande

²¹ McKinsey & company: "THE NEW PLASTICS ECONOMY - A research, innovation, and business opportunity for Denmark", Innovationsfonden, 2019

9.2.2 Implementering

Formålet med implementeringsstrategien er at opnå en tryk og kontrolleret anvendelse af dansk husholdningsplastaffald som emballage til kosmetik- og hygiejneprodukter.



FIGUR 29. Skitsering af Implementeringsstrategi hos AVL.

Implementeringsstrategien bygger på tre fokuspunkter:

1. Implementering af egnet teknologi går ud på, at den teknologi, som er udviklet, først og fremmest er dokumenteret i henhold til effekt af procestrin og de tilhørende procesparametre på den endelige kvalitet. Teknologien implementeres i produktionssystemet i form af faste procedurer og arbejdsprocesser.
2. Kravspecifikationer udarbejdes med fokus på udformnings- og brugsrelaterede egenskaber. Krav til materialets fysiske egenskaber, som relateres til materialets egnethed til den relevante støbeprocess, blæsestøbning, udarbejdes med fokus på flydeegenskaber og polymerrenhed. Krav til materialets indhold af uønskede stoffer samt migrationsegenskaber udarbejdes i henhold til eksisterende lovgivning for emballage til kosmetik- og hygiejneprodukter.
3. Implementering af egnet kvalitetskontrol udarbejdes ifølge de etablerede kravspecifikationer for at sikre tryk anvendelse af materialet til det tilsigtede formål. Der udarbejdes to modeller for kvalitetskontrol baseret på kilden til inputmateriale, med hensyn til om det er et nyt input, eller om det er et eget input.
 - a. Nyt input: Datablad på granulat udarbejdes og vurderes i henhold til relevante materialeegenskaber. Dersom materialet opfylder de tekniske egenskaber, skal det nye inputmateriale sikkerhedsgodkendes via en fuld toksikologisk evaluering på flaskeniveau fra eksternt, auditerbar kilde. En positiv vurdering giver materialet en ny status som eget input.
 - b. Eget input: Eget input kan markedsføres, men vil rutinemæssigt skulle testes iht. kravspecifikationerne. Materialets fysiske egenskaber dokumenteres gennem produktionsforløbet med aftalte mellemrum og registreres som partier. Partier, der ikke opfylder kravene, spærres. Toksikologisk sikkerhedsvurdering af eget input på flaskeniveau udføres periodisk på baggrund af udvalgte uønskede stoffer, der betragtes med større sandsynlighed at kunne forekomme i plasten. De udvalgte stoffer, som plasten testes for, er baseret på den indledende toksikologiske sikkerhedsevaluering.

9.3 Businesscase og implementering hos Schela Plast

Prisaftaler med Nopa Nordic på både virgin plast og genbrugsplast er baseret på råvareindeks, så salgsprisen justeres i forhold til gramvægt på flasken i både op- og nedadgående retning.

I selve produktionsprocessen er der konstateret et svind, som er ca. 2,5 % højere for det genanvendte materiale sammenlignet med virgine materialer, og cyklostiden er ca. 5 % langsommere. Denne meromkostning er indregnet i kostprisen til Nopa Nordic.

Vækstmulighederne anses for betydelige. Over halvdelen af Schela Plasts samlede produktionsvolumen udgøres allerede i dag af PCR-materiale, hvoraf langt det meste kommer fra udlandet. Der vil således være et væsentligt potentiale, hvis det udenlandske materiale i et vist omfang kan konverteres til dansk PCR-plast. Det kræver dog en endnu højere kvalitet, både hvad angår farvesortering (hvid eller natur) og minimering af urenheder i materialet. Derudover åbner dansk PCR-materiale for yderligere konvertering af eksisterende virgin volumen og for helt nye kunder og produkter. Ovenstående kræver naturligvis også en større tilgængelighed af dansk PCR-materiale.

Implementering i produktionen er allerede gennemført på en stor del af volumen til Nopa Nordic. Da Schela Plast har mange års erfaring med produktion af udenlandsk PCR-plast, betragtes implementeringen af det nye højkvalitetsmateriale ikke som nogen større udfordring.

9.4 Businesscase og implementering hos Nopa Nordic

I et private label-marked med megatrends som klimabevidsthed, bæredygtighed, ressourceknaphed og desuden stor økonomisk usikkerhed, har Nopa Nordic som virksomhed et ansvar i at kunne tilbyde bæredygtige og sikre produkter til en overkommelig pris. Med en strategi om at få nedbragt brugen af virgine plastmaterialer i produktionen er det et vigtigt skridt at få kortlagt de risici, der kan være forbundet med at anvende genanvendte plastmaterialer til near-food produkter. Med et øget, kontinuerligt fokus på produktsikkerheden kan Nopa Nordic med de udviklede kvalitetsprocedurer og et nyt højkvalitetsmateriale, nu åbne op for afsætning til et bredere near-food marked og dermed skabe grundlag for yderligere vækst.

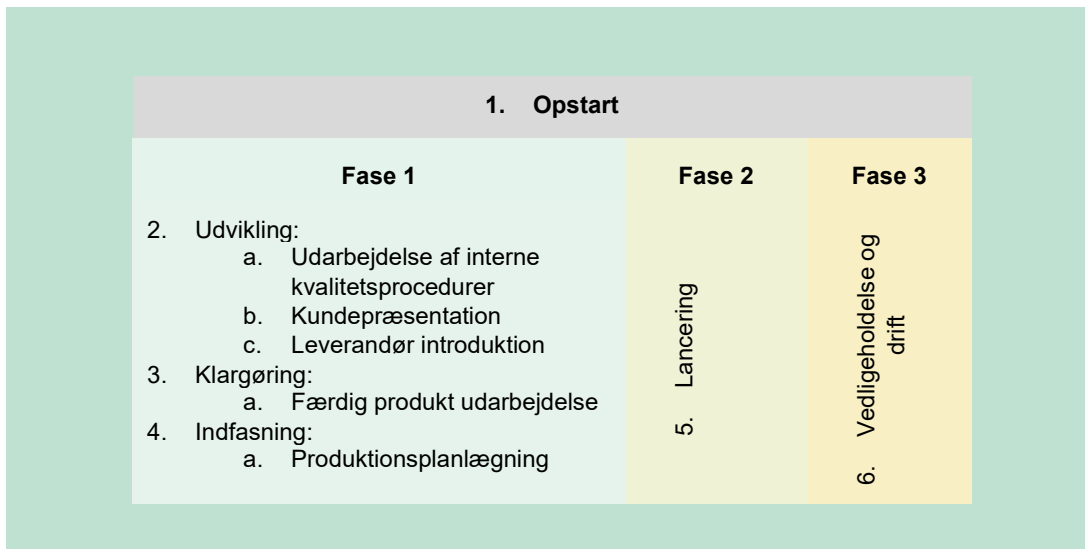
Der opleves en stigende efterspørgsel på emballager i genanvendt plast til sensitive *near-food* produkter inden for kosmetik og personlig pleje. Dog opleves der stadig en designbarriere i forhold til farver på genanvendt plast. I en branche, hvor udtryk og branding er væsentlige faktorer, kan en radikal ændring til mørkere plasttyper have indvirkning på forbrugernes købsbeslutning.

Ved brugen af genanvendt plast ses der en større variation i materialet sammenlignet med virgine plastemballager. Set ud fra et produktionsperspektiv anses denne forskel at være så forsvindende lille, at den ikke er målbar. Derfor skelnes der ikke mellem brugen af genanvendt plast og virgin plast, hvormed produktionsomkostningerne anses som værende ens for de to typer plast.

9.4.1 Implementering

Implementeringsplanen følger de interne procedurer for projektgennemførelse:

- Opstartsmøde med deltagelse af relevante interessenter.
- Færdigudvikling af projektet med udarbejdelse af interne kvalitetsprocedurer.
- Opdatering af beskrivelser i eksisterende kvalitetsledelsessystem.
- Igangsættelse af kundedialog og materialetest ved leverandører.
- Klargøring af produkter til salg samt lancering i butik.
- Løbende vedligeholdelse og drift af eksisterende varer.
- Fokus på udvidelse og vækst inden for kosmetik og personlig pleje.



FIGUR 30. Skitsering af Implementeringsstrategi hos Nopa Nordic.

9.5 Konklusion på miljøeffekter og implementering

Dette afsluttende kapitel har beskrevet de miljømæssige og økonomiske effekter af implementeringen af den udviklede oparbejdningsproces og brugen af nye PCR HDPE-plastmaterialer til emballagefremstilling.

For at forstå de miljømæssige konsekvenser blev der oprettet en simpel beregningsmodel for plastens livscyklus til estimering af CO₂-udledning. Modellen blev anvendt på tre scenarier, der viste, at ved anvendelse af PCR HDPE i stedet for virgin HDPE, kan CO₂-udledningen reduceres med omkring 76%.

På det økonomiske aspekt blev der udformet en business case med fokus på at sammenligne salgsprisen på det genanvendte plastmateriale med prisen på virgin plast. Resultaterne viste et betydeligt potentiale for vækst, hvis det lykkes at blive bedre til at genanvende plastaffald.

Implementeringsstrategien blev designet til at sikre en sikker og kontrolleret anvendelse af dansk husholdningsplastaffald som emballage til kosmetikprodukter. Implementeringsplanen for AVL inkluderede implementering af passende teknologi, udarbejdelse af kravspecifikationer, og implementering af passende løbende kvalitetskontrol. Hos emballageproducenten Schela Plast blev der observeret et svind på omkring 2,5 % højere for det genanvendte materiale sammenlignet med virgin materialer, og cyklostiden var omkring 5 % langsommere, så disse ekstraomkostninger bør indregnes i kostprisen. Implementering i produktionen forventes ikke at blive særligt udfordrende, da Schela Plast allerede har mange års erfaring med produktion udenlandsk regranulat.

Konklusionen er dermed, at der er betydelige miljømæssige og økonomiske fordele ved at implementere den udviklede oparbejdningsproces og bruge nye PCR HDPE-plastmaterialer til emballagefremstilling. Overgangen til genanvendt plast kan resultere i betydelige CO₂-reduktioner, og der er et betydeligt økonomisk potentiale for vækst med implementering af nærværende MUDP-projekts teknologiudvikling.

10. Konklusion

I MUDP-projektet 'Udvikling af plastemballager i en cirkulær økonomi – Rette kvalitet til rette anvendelse' er der blevet udviklet oparbejdningsmetoder til kvalitetsforøgelse af husstandsindsamlet HDPE-plast, som muliggør brugen af denne plastressource til emballering af personlig pleje- og kosmetikprodukter.

Udviklingen af oparbejdningssteknologien har fokuseret på at optimere enhedsoperationerne vaskproces, termisk behandling og ekstrudering med henblik på at nedbringe indholdet af flygtige og semi-flygtige NIAS-stoffer, VOC'er og PAA'er. Udviklingsforsøgene på vaskprocessen viste, at basisk vask havde en højere renseseffekt sammenlignet med almindelig varmvask, men basisk vask blev fravalgt, fordi det procesteknisk er mere kompliceret at implementere og fordi oparbejdningens økonomiske rentabilitet påvirkes negativt ved brug af kemikalier. Kombinationen af termisk behandling af plasten to forskellige steder i oparbejdningslinjen gav den største reduktion af uønskede stoffer med en høj reduktion af fx parfumestoffer som limonen i det første termiske behandlingstrin. Den optimale termiske behandlingstid blev beregnet ud fra et miljømæssigt, økonomisk og procesteknisk perspektiv. Forsøgene med ekstruderingsprocessen viste desuden, at lavere ekstruderingsstemperatur forårsagede færre uønskede nedbrydningsstoffer, herunder særligt PAA, og mindre påvirkning af plastens mekaniske egenskaber uden at forårsage nævneværdig reduktion af masseudbyttet.

Kosmetikforordningen bekendtgør, at kosmetiske produkter skal være sikre for menneskers sundhed ved normal og rimelig forudseelig brug. Derudover skal den ansvarlige sørge for, at der for det kosmetiske produkt udføres en sikkerhedsvurdering og udarbejdes en sikkerhedsrapport, som blandt andet skal indeholde informationer om emballeringsmaterialet og en vurdering af materialets kontakt med det kosmetiske produkt. Med henblik på at efterleve disse retningslinjer blev der for den udviklede emballage udvalgt og gennemført omfattende analyseprogrammer, inklusiv migrationsanalyser.

De indledende migrationsanalyser på de udviklede emballager viste generelt lave niveauer af migrerede stoffer, mens der kunne detekteres forskelle i koncentrationerne som følge af de forskellige rensbehandlinger. På dette grundlag blev emballagen med det største potentiale udvalgt, og en fuld toksikologisk undersøgelse blev foretaget i samarbejde med en underleverandør.

Det omfattende testprogram indbefattede analyse af den samlede migration af stoffer, migration af fthalater, PAH, metaller, tungmetaller og PAA samt en omfattende NIAS-screening. Migrationsniveauerne for de detekterede stoffer blev herefter sammenholdt med relevant lovgivning og eksisterende grænseværdier. Slutteligt blev tilstedeværelsen af de migrerede stoffer ud fra en sikkerhedsorienteret tilgang toksikologisk evalueret for at afgøre om den udviklede emballage var sundhedsmæssigt forsvarlig at anvende til formuleringer til personlig pleje og kosmetik.

Samlet set fastslog undersøgelseerne at den udvalgte emballage, som er fremstillet af 100 % genanvendt husstandsindsamlet plastaffald er sikker at anvende til emballering af kosmetikprodukter af typen rinse-off såvel som leave-on (ikke vurderet for børn og gravide kvinder).

Med henblik på løbende at sikre en sundhedsmæssigt forsvarlig brug af 100 % PCR-plast til kosmetikemballage blev der i projektet også udviklet forslag til kvalitetssikringsprocedurer. Det foreslås, at der, når et nyt plastmateriale med en tilsvarende nyudviklet oparbejdningsproces skal godkendes til brug som kosmetikemballage, udføres det fulde migrationsanalyseprogram

og efterfølgende toksikologisk evaluering af detekterede stoffer som beskrevet i nærværende slutrapport. Herefter implementeres løbende systematisk kvalitetssikring gennem migrationsanalyser, som er udviklet til fødevarekontaktmaterialer.

11. Summary

A circular plastic economy presupposes the recycling of plastic materials from one product to a new product with the same quality and purity requirements. Such requirements on plastic purity (and traceability) are obvious for food packaging and medical products, but today, the quality requirements in other industries are not yet well-defined. This means that manufacturers, out of precaution, only use recycled plastic that meets the requirements of food contact materials, even though other grades of post-consumer-recycled (PCR) plastic might be suitable for, e.g., cosmetic packaging. The amount of food-grade quality PCR HDPE is, however, insufficient to meet the entire demand for recycled HDPE PCR plastic for personal care products or cleaning.

To tackle these challenges, the current MUDP project *Development of Plastic Packaging in a Circular Economy - Proper Quality for proper application* has focused on developing and demonstrating new environmental technological solutions that enable the use of recycled household-collected HDPE for cosmetic packaging for both leave-on and rinse-off products. This project builds on the conclusions from the Danish Environmental Protection Agency's preliminary investigation *Initial Safety Assessment of Recycled Plastic for Packaging of Cosmetic Products* (2021, Environmental Project No. 2174).

After an initial selection of a promising source of polymer-sorted household-collected (post-consumer) plastic waste, the significance of key unit operations in the purification process were tested, evaluated, and further developed. Development of an effective washing process, thermal treatments, and optimization of extrusion temperature made it possible to reduce the content of unwanted chemical contaminants in the produced plastic granulate. Subsequently, the processed recyclate was used for molding bottles.

The EU Cosmetic Products Regulation stipulates that cosmetic products must be safe for human health under normal and reasonably foreseeable use, which in practice means that a safety assessment must be conducted. This assessment must include information about the packaging material and an evaluation of any risks associated with the material's contact with the cosmetic product. In order to comply with these guidelines, extensive analysis programs, including migration analyses, were selected and carried out for the manufactured plastic packaging in PCR HDPE.

The initial migration analyses generally showed low levels of migrated substances, while differences in concentrations could be detected as a result of the different cleaning treatments. The most promising packaging was selected for a comprehensive toxicological evaluation and safety assessment.

The comprehensive test program included analysis of the total migration of substances, migration of phthalates, PAH, metals, heavy metals and PAA, and an extensive NIAS screening. The migration levels of the detected substances were then compared with relevant legislation and existing limits. Finally, the presence of the migrated substances was toxicologically evaluated from a safety-oriented approach to determine if the developed packaging was health-safe to use for personal care and cosmetic formulations.

Overall, the investigations concluded that the selected packaging, which is made from 100% recycled household-collected plastic waste, is safe to use for packaging cosmetic products of the rinse-off as well as leave-on type (not evaluated for children and pregnant women).

In addition, based on the high safety requirements for cosmetic and hygiene products, a proposal for quality assurance procedures has been established. The purpose of this procedure is to compensate for the lack of traceability and lower uniformity, which are characteristic of recycled PE and PP from households, by suggesting a tailored test program and with well-defined frequency intervals of material tests. Based on the project's results, a thorough initial approval process as well as ongoing quality assurance procedures are proposed, which in combination are intended to ensure the health safety when using the developed PCR materials for cosmetic plastic packaging.

Bilag 1 – Toksikologisk evaluering af migrerbare stoffer

Substance	CAS Number	Concentration in formula (mg/kg cosmetic)	Dap (%)	Human POD systemic value (mg/kg bw/day)	POD sensitisation value (µg/cm ²)	Systemic (MOS = POD/SED) < 1: risk > 1: no risk	Sensitisation (ratio AEL/CEL) < 1: risk > 1: no risk
1-Docosene	1599-67-3	0,0567	100	1,2	/	70588,24	/
1-Dodecanamine, N,N-dimethyl-	112-18-5	0,2037	100	0,5	/	8181,82	/
1-Dodecanol	112-53-8	1,0926	100	1	/	3050,85	/
1-Dodecene	112-41-4	1,5370	100	0,00083	/	1,80	/
1-Propene-1,2,3-tricarboxylic acid, tributyl ester	7568-58-3	0,1296	10	0,0000025	64	0,64	54254,32
1-Tetradecene	1120-36-1	2,7778	10	0,00083	/	9,96	/
2-(Decanoyloxy)propane-1,3-diyl dioctanoate	33368-87-5	0,0100	100	0,03	64	10000,00	703296,70
2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	1,2900	100	1,5	/	3875,97	/
2-Undecanone	112-12-9	0,1667	100	10	/	200000,00	/
3,5-di-tert-Butyl-4-hydroxybenzaldehyde	1620-98-0	0,7407	100	0,03	18,5	135,00	2744,51
4,7-Methano-1H-inden-6-ol, 3a,4,5,6,7,7a-hexahydro-, acetate + unknown (m/z 69, 151, 221)	5413-60-5	0,2407	100	0,167	/	2312,31	/
4-tert-Butylcyclohexyl acetate	32210-23-4	2,2963	100	1	67,5	1451,61	3230,24
7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	82304-66-3	2,7200	100	0,0015	64	1,84	2585,65
Amberonne isomer	54464-57-2	3,2800	100	IFRA (1.6%)	IFRA (1.6%) ¹	/	/
Atmer 163	97925-95-6	0,0200	100	0,02	64	3333,33	351648,35
Benzene, (1-butylheptyl)-	4537-15-9	2,5185	100	0,03	64	39,71	2792,50
Benzene, (1-butylhexyl)-	4537-11-5	1,1667	100	0,03	64	85,71	6028,26
Benzene, (1-butylnonyl)-	4534-50-3	1,0000	100	0,03	64	100,00	7032,97
Benzene, (1-ethyldecyl)-	2400-00-2	1,9444	100	0,03	64	51,43	3616,95
Benzene, (1-ethylnonyl)-	4536-87-2	1,2407	100	0,03	64	80,60	5668,36
Benzene, (1-ethylundecyl)-	4534-52-5	0,9259	100	0,03	64	108,00	7595,60
Benzene, (1-methyldecyl)-	4536-88-3	1,2963	100	0,03	64	77,14	5425,43
Benzene, (1-methylnonyl)-	4537-13-7	0,4444	100	0,03	64	225,00	15824,18

¹ Amberonne isomer (CAS 54464-57-2) is below the lowest IFRA restriction. Therefore, their presences in the formula are considered as safe.

Benzene, (1-methylundecyl)-	2719-61-1	1,6667	100	0,03	64	60,00	4219,78
Benzene, (1-pentylheptyl)-	2719-62-2	1,2500	100	0,03	64	80,00	5626,37
Benzene, (1-pentylloctyl)-	4534-49-0	0,8889	100	0,03	64	112,50	7912,09
Benzene, (1-propyldecyl)-	4534-51-4	0,3519	100	0,03	64	284,21	19988,43
Benzene, (1-propylheptyl)-	4537-12-6	0,4815	100	0,03	64	207,69	14606,93
Benzene, (1-propylnonyl)-	2719-64-4	1,2778	100	0,03	64	78,26	5504,06
Benzene, (1-propylloctyl)-	4536-86-1	1,0370	100	0,03	64	96,43	6781,79
Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-	644-30-4	0,1667	100	0,03	64	600,00	42197,80
Benzenepropanoic acid, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-, octadecyl ester [Irganox 1076]	2082-79-3	0,6500	100	0,1	/	512,82	/
Benzoic acid, 2-hydroxy-, phenylmethyl ester	118-58-1	0,7963	100	0,1	/	418,60	/
Benzoic acid, hexyl ester	6789-88-4	0,0926	100	2,6	/	93600,00	/
Benzophenone	119-61-9	0,0400	100	0,01	/	833,33	/
Benzyl Benzoate	120-51-4	0,5741	100	IFRA (0.07%) ²	IFRA (0.07%)	/	/
Bumetizole [Tinuin 326]	3896-11-5	0,0867	100	6,37	/	245000,00	/
Cyclopenta[g]-2-benzopyran, 1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethyl- [Galaxolide]	1222-05-5	0,0667	100	0,2	/	10000,00	/
Cyclopentaneacetic acid, 3-oxo-2-pentyl- methyl ester	24851-98-7	1,2963	100	1,2	/	3085,71	/
Decanal	112-31-2	0,5926	100	14	/	78750,00	/
Decane	124-18-5	0,0741	100	10	/	450000,00	/
Diphenyl ether	101-84-8	0,1111	100	0,5	/	15000,00	/
D-Limonene	5989-27-5	0,1852	100	0,3	33,3	5400,00	19760,44
Dodecanal	112-54-9	0,5926	100	14	5,666666667	78750,00	1050,82
Dodecane	112-40-3	0,8889	100	10	/	37500,00	/
Dodecanoic acid	143-07-7	0,0600	100	1	/	55555,56	/
Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	0,4444	100	1	/	7500,00	/
Dodecanoic acid, ethyl ester	106-33-2	0,3200	100	1	/	10416,67	/
Dodecanoic acid, methyl ester	111-82-0	0,4444	100	1	/	7500,00	/
Erucamide	112-84-5	0,1833	100	1	/	18181,82	/

² Benzyl Benzoate (CAS 120-51-4) is below the lowest IFRA restriction. Therefore, its presence in the formula is considered as safe.

Ethanol	64-17-5	0,1481	100	17,3	/	389250,00	/
Ethylene brassylate	105-95-3	0,4630	100	3	/	21600,00	/
Eucalyptol	470-82-6	0,1111	100	0,2	/	6000,00	/
Heptadecane	629-78-7	2,8333	100	20	/	23529,41	/
Hexadecane	544-76-3	12,9444	100	20	/	5150,21	/
Hexadecanoic acid	57-11-4	1,8667	100	1	/	1785,71	/
Hexadecanoic acid, ethyl ester	628-97-7	0,7778	100	1	/	4285,71	/
Hexadecanoic acid, methyl ester + C18H26O	112-39-0	3,0700	100	1	/	1085,78	/
Indan-1,3-diol monoacetate	Indan-1,3-diol monoacetate	0,8704	100	0,03	64	114,89	8080,43
Irgacure 184	947-19-3	0,8000	100	3	/	12500,00	/
Irgafos 168	31570-04-4	0,0200	100	1	/	166666,67	/
Irgafos 168 ox	36443-68-2	0,7333	100	0,15	/	681,82	/
Irganox 1010	27676-62-6	0,0533	100	0,083	/	5187,50	/
Irganox 245	6683-19-8	0,0800	100	1	/	41666,67	/
Irganox PS800	53571-83-8	0,0200	100	3,5	/	583333,33	/
Irganox PS802	693-36-7	0,0200	100	0,083	/	13833,33	/
Isopropyl myristate	110-27-0	4,9200	100	1	/	677,51	/
Isopropyl palmitate	142-91-6	3,6100	100	1	/	923,36	/
Lilial	80-54-6	0,1296	100	0,045	2,4	1157,14	2034,54
Methyl stearate	112-61-8	0,2222	100	1	/	15000,00	/
n-Hexadecanoic acid	57-10-3	0,4500	100	1	/	7407,41	/
n-Hexyl salicylate	6259-76-3	7,7800	100	0,5	118	214,22	1666,71
Nonanal	124-19-6	0,5000	100	0,03	/	200,00	/
Octadecane	593-45-3	12,1667	100	20	/	5479,45	/
Octadecanoic acid	1709-70-2	2,0900	100	1	/	1594,90	/
Octadecanoic acid, ethyl ester	111-61-5	0,0741	100	1	/	45000,00	/
Octan-2-yl palmitate	55194-81-5	0,1111	100	0,03	64	900,00	63296,70
Octanal	124-13-0	0,1111	100	0,37	/	11100,00	/
Octanal, 2-(phenylmethylene)-isomer	101-86-0	1,9600	100	1,25	4,4	2125,85	246,69
Octane, 1,1'-oxybis-	629-82-3	2,0926	100	10	/	15929,20	/
Octocrylene	6197-30-4	0,0133	100	0,00083	6,4	207,50	52747,25
Oleamide	301-02-0	0,6367	100	1	/	5235,60	/
Pentadecane	629-62-9	1,7593	100	20	/	37894,74	/
Phenol	108-95-2	0,0833	10	0,0000025	/	1,00	/

Tetradecane	629-59-4	4,7778	100	10	/	6976,74	/
Tetradecanoic acid, ethyl ester	124-06-1	0,7407	100	1	/	4500,00	/
Tridecane	629-50-5	0,5741	100	10	/	58064,52	/
Tris(2,4-di-tert-butylphenyl) phosphate [Irgafos 168 ox]	95906-11-9	0,1900	100	1	/	17543,86	/
Undecanal, 2-methyl-	110-41-8	0,4444	100	10,46	8,333333333	78450,00	2060,44
Undecane	1120-21-4	0,1111	100	20	/	600000,00	/

Udvikling af plastemballage i en cirkulær økonomi

Formålet med projektet har været at forbedre forsyningen af 'post-consumer-recycled' (PCR) plast til emballering af forbrugerprodukter til personlig pleje, kosmetik og rengøringsmidler. Det indebærer udvikling af nødvendige kvalitetssikringsprocedurer, som muliggør sikker anvendelse af genanvendt husstandsindsamlet HDPE til brug som kosmetikemballage for både leave-on og rinse-off produkter.

Konkret er der arbejdet med udvikling af en effektiv vaskeproces, termiske behandlinger og optimering af ekstruderingstemperaturen, hvorved det lykkedes at nedbringe indholdet af uønskede kemiske kontaminanter i det fremstillede plastgranulat. Det oparbejdede granulat blev herefter anvendt til støbning af flasker.

Samlet set fastslog undersøgelse, at den udvalgte emballage, som er fremstillet af 100 % genanvendt husstandsindsamlet plastaffald, er sikker at anvende til emballering af kosmetikprodukter af typen rinse-off såvel som leave-on (dog ikke vurderet for børn og gravide).

Projektdeltagerne var Aage Vestergaard Larsen A/S, Schela Plast A/S, Nopa Nordic A/S og Teknologisk Institut.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk