



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Nyt liv til post- consumer isolering og emballager i EPS



Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 33

August 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Michael Lei, Teknologisk Institut

Lars Steffensen, EPS Recycle A/S

Rune Steffensen, EPS Recycle A/S

Linda Rebien, I/S Amager Ressourcecenter

John Thesmer, I/S Amager Ressourcecenter

Franz Cuculiza, Aage Vestergaard Larsen A/S

Martin Scholdan, Aage Vestergaard Larsen A/S

ISBN: 978-87-7038-094-2

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

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	5
2.	Konklusion og sammenfatning	6
3.	Conclusion and summary	8
4.	Projektets problemstilling	9
5.	Afrapportering af projektets arbejdsopgaver	11
5.1	Arbejdsopgave 1: Design af model for effektiv indsamling og sortering af EPS fra genbrugspladser	12
5.1.1	Aktivitet 1.1: Opstilling af scenarier og procedurer for indsamling og sortering af EPS affald	12
5.1.2	Aktivitet 1.2: Gennemførelse af indsamlingsforsøg på udvalgt genbrugsplads	13
5.2	Arbejdsopgave 2: Udvikling af metoder til kompaktering af EPS-fraktioner	14
5.2.1	Aktivitet 2.1: Screening og evaluering af tilgængelige tekno-logier til kompaktering af EPS-fraktioner	14
5.2.2	Aktivitet 2.1b: Udvikling, design og fremstilling af komprimatorcontainer	15
5.2.3	Aktivitet 2.2: Design af procesforhold til termisk kompaktering af EPS-fraktioner i bulk ekstruder	21
5.2.4	Aktivitet 2.3: Kompaktering og oprensning af EPS-fraktioner med CreaSolv teknologi	24
5.3	Arbejdsopgave 3: Udvikling af compounds af PS recyklater	25
5.3.1	Aktivitet 3.1: Udvikling af compounds af PS recyklater i pilotskala efter hhv. termisk kompaktering og CreaSolv-metoden	25
5.3.2	Aktivitet 3.2: Undersøgelse af kompatibilitet af compounds af PS recyklater ifht. til traditionelle PS-recyklater	28
5.3.3	Aktivitet 3.3: Procesoptimering til industriel oparbejdning af compounds af PS-recyklater efter hhv. termisk kompaktering og CreaSolv-metoden	29
5.4	Vurdering af fit-for-purpose-kvalitet i forhold til afsætningsmuligheder samt etablering af demonstrationscase hos slutbruger	32
5.4.1	Aktivitet 4.1: Bestemmelse af kvalitetskrav til PS recyklater og udvikling af metoder for kvalitetssikring	32
5.4.2	Aktivitet 4.2: Afklaring af dokumentationskrav til PS recyklater i form af tekniske datablade, MSDS etc.	34
5.4.3	Aktivitet 4.3: Etablering af demonstrationscase hos slutbruger/e af PS recyklater	35
5.5	Arbejdsopgave 5: Analyse af business case	36
5.5.1	Aktivitet 5.1: Opstilling af business case for fremstilling af PS recyklater ud fra EPS-affald, baseret på værdikædestruktur og markedsforhold i Danmark	36
5.6	Arbejdsopgave 6: Analyse af miljøeffekt samt etablering af roadmap for skalering af teknologi og videnformidling	37
5.6.1	Aktivitet 6.1: Vurdering af miljøeffekt for udvalgt scenarie for genanvendelse af EPS fra genbrugspladser i Danmark	38
5.6.2	Aktivitet 6.2: Etablering af roadmap for skalering af teknologi og videnformidling	39

6.	Evaluering af projektets succeskriterier	40
	Bilag 1. Teknologi- og komprimatorløsninger	43
Bilag 1.1	Komprimering af Airpop/EPS - dokument udarbejdet af Amager Ressourcercenter	43
Bilag 1.2	Komprimeringsløsning fra PRESTO GmbH & Co. KG	53
	Bilag 2. Testkørsler hos Aage Vestergaard Larsen	55
Bilag 2.1	Testrapport udarbejdet af Aage Vestergaard Larsen	55

1. Forord

Projektet "Nyt liv til post-consumer isolering og emballager i EPS" er støttet af Miljø- og Fødevarerministeriets Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP), som har til formål at styrke danske virksomheder i en grøn omstilling - til demonstration, udvikling og test af nye innovative miljøteknologiske løsninger.

Hovedformålet med projektet har været at afsøge og demonstrere teknologier for ressourceeffektiv og miljørigtig genanvendelse af ekspanderet polystyren (EPS) indsamlet fra genbrugspladser. Der produceres årligt cirka 4.000 tons EPS affald i Danmark, som i dag primært afskaffes ved forbrænding. Projektets mål har desuden været at udvikle en samlet valideret løsningsmodel for indsamling, sortering og reprocessering af udtjente EPS materialer for efterfølgende anvendelse i nye produkter.

Projektet har været et samarbejde mellem Amager Ressourcecenter I/S, EPS Recycle A/S (Hawfisk), Aage Vestergaard Larsen A/S, Shark Service Center ApS og Teknologisk Institut.

I løbet af projektperioden overtog Hawfisk (benævnt EPS Recycle i afreporteringen) partnerrollen fra Shark Service Center ApS i projektet.

2. Konklusion og sammenfatning

Formålet med projektet "Nyt liv til post-consumer isolering og emballager i EPS" var at udvikle og demonstrere en cirkulær resurseøkonomi for udtjente EPS-materialer indsamlet på genbrugspladser.

I projektet er det lykkedes for EPS Recycle at udvikle en container, som kan neddele/shredde EPS materialer og efterfølgende komprimere EPS materialerne til EPS-blokke direkte ude på genbrugspladserne i en container. Løsningen fungerer ved, at kunderne på genbrugspladsen ligger deres EPS materialer i et kammer, ligesom ved f.eks. en papcontainer. Når kammeret er fyldt med EPS, kan genbrugsvejlederen aktivere den automatiserede neddelings- og komprimeringscontainer, hvilket resulterer i at EPS-blokke produceres og presses ud i et kar bagest i containeren. Ved implementering af EPS containeren på genbrugspladser kan 46 lastbils-kørsler årligt, hver med en last på 130 kg EPS, erstattes af én kørsel med 6 tons.

Der er kørt demonstrations- og indsamlingsforsøg med en EPS prototype container på en udvalgt genbrugsplads hos Amager Ressourcecenter, nærmere bestemt Kirstinehøj Genbrugsplads i Tårnby. I indsamlingsforsøget er det eftervist at kunderne meget gerne vil aflevere deres EPS materialer til genanvendelse, ligesom renheden af EPS materialerne, som kunderne har lagt i EPS containeren, har været i en tilfredsstillende renhed og kvalitet. EPS containeren har neddelt og komprimeret de indsamlede EPS materialer til EPS-blokke, når genbrugsvejlederne har aktiveret den automatiserede neddeling og komprimeringsløsning i henhold til vejledningen. Undervejs i indsamlingsforsøget er der modtaget værdifulde input og erfaringer fra genbrugsvejlederne i forhold til både ønskede og påkrævede tilretninger til fremtidige EPS containerløsninger. Det drejer sig især om tilretning af indkastet, således at kunderne får mulighed for at aflevere EPS i containeren, selvom neddeling/shredding pågår.

Der er produceret nye materialer ud fra den indsamlede EPS på Kirstinehøj genbrugsplads ved termisk neddeling og ekstrudering, samt ved solventbaseret genanvendelse til polystyren regranulater. De opnåede kvaliteter af polystyren regranulaterne har været tilfredsstillende i forhold til afsætningsmuligheder, og hermed også i forhold til at muliggøre et cirkulært resursekredsløb for udtjente EPS materialer indsamlet på genbrugspladser.

I forhold til indhold af uønskede stoffer i de indsamlede EPS materialer, f.eks. i form af bromerede flammehæmmere, så har det ikke været et problem i forhold til den indsamlede EPS i projektet, hvorfor termisk smeltning og ekstrudering til regranulat hos EPS Recycle har været en tilfredsstillende løsning.

Såfremt der indsamles EPS fraktioner med for høje værdier af uønskede stoffer, f.eks. fra byggepladser, så er den kemiske solventbaserede genanvendelse, også demonstreret i projektet, en mulighed for sikring af den rette renhed og kvalitet af polystyren regranulaterne.

Projektet har demonstreret en værdikæde for genanvendelse af EPS materialer, som ved implementering på genbrugspladser kan give store CO₂-reduktioner. En genbrugsplads som indsamler 15 tons EPS om året, svarende til Kirstinehøj Genbrugsplads anvendt i indsamlingsforsøget i projektet, vil kunne bidrage til en estimeret CO₂-reduktion på 27 tons om året i forhold til fremstilling af jomfruelige polystyren råvarer.

Undersøgelser foretaget for Amager Ressourcecenter viser, at der i Danmark eksisterer et potentiale for genanvendelse af EPS på op til 4.000 ton pr. år. Dette svarer til en mulig CO₂ reduktion på \approx 7.000 tons om året i forhold til fremstilling af jomfrueligt EPS/PS råvare. Dette store potentiale kan den udviklede EPS container altså være med til at realisere.

I forhold til økonomien i implementering af en EPS container på en genbrugsplads, så er det nødvendigt at udarbejde en business case specifik fra case til case (genbrugsplads til genbrugsplads). Udregninger i projektet viser, at implementering af den udviklede EPS container i flere tilfælde vil være tæt på omkostningsneutral i forhold til nuværende set up på flere danske genbrugspladser, hvor EPS i flere tilfælde indsamles og forbrændes.

3. Conclusion and summary

The purpose of the project "New life for post-consumer insulation and packaging in EPS" was to develop and demonstrate a circular resource economy for end-of-life EPS materials collected at waste stations.

In the project, EPS Recycle has succeeded in developing a container that can shred EPS materials and subsequently compress the EPS materials into EPS blocks directly in a container. With implementation of the EPS container at Danish waste stations, 46 truck transports per year, each with a load of 130 kg EPS, can be replaced by one truck transport with 6 tons compressed EPS.

Demonstration and collection experiments have been carried out with an EPS prototype container at a Danish waste station, more specifically Kirstinehøj waste station site in Tårnby/Copenhagen. In the project it has been demonstrated that customers likely deliver their EPS materials for recycling in the container. In addition the collected EPS materials, which the customers have placed in the EPS container, has been in a satisfactory purity and quality.

New polystyrene materials have been produced from the collected EPS blocks both by thermal decomposition and extrusion, as well as by solvent-based recycling to pure polystyrene regranulates. The obtained quality of the polystyrene regranulates have been satisfactory in relation to sales opportunities, and thus also satisfactory in relation to enabling a circular resource economy for waste EPS materials collected at Danish Waste stations.

In relation to the possible content of undesirable substances in the collected EPS materials, for example brominated flame retardants, it has not been a problem in relation to the collected EPS materials in the project, why thermal melting and extrusion for regranulates at EPS Recycle has been a satisfactory solution.

If EPS fractions are collected with too high values of undesirable substances, for example from construction sites, the chemical solvent-based recycling, also demonstrated in the project, is an opportunity for ensuring the correct purity and quality of the polystyrene regranulates.

The project has demonstrated a value chain for the recycling of EPS materials, when implemented at waste stations can result in large CO₂ reductions. A recycling site that collects 15 tons of EPS a year, corresponding to Kirstinehøj Recycling site used in the collection tests in the project, will contribute to an estimated CO₂ reduction of 27 tons per year compared to the production of virgin polystyrene raw materials.

Studies done for Amager Resource Center indicates that Denmark has a potential of up to 4,000 tonnes per year for recycling of EPS materials. This corresponds to a possible CO₂ reduction of ≈ 7,000 tons per year compared to the production of virgin EPS / PS raw material.

In relation to the business case for implementation of an EPS container on a waste station, then it is necessary to prepare a business case specific from case to case. Calculations in the project indicates that implementation of the developed EPS container in several cases will be close to cost neutral compared to the current set up at several Danish waste stations.

4. Projektets problemstilling

Ekspanderet polystyren (EPS) – også kaldet flamingo – repræsenterer en materialegruppe med en række interessante tekniske egenskaber, som er velegnet til eksempelvis isoleringsmaterialer inden for byggeri, samt til transportbeskyttelse af elektronik, møbler, pletter samt opbevaring og transport af afkølede fødevarer. De gode isoleringsmæssige egenskaber skyldes materialets cellestruktur som nedsætter varmetransporten gennem cellerne og betyder, at densitet af det samlede materiale er meget lav.

I forhold til nyttiggørelse og genanvendelse giver de selvsamme egenskaber en række udfordringer i forhold til lønsom og effektiv transport, samt oparbejdning ved brug af traditionelle teknikker til forarbejdning af termoplast. Den nuværende situation i Danmark, i forhold til behandling af EPS-affald er som følge heraf, at langt størstedelen af post-consumer EPS-fraktioner bortskaffes ved forbrænding, hvad enten indsamlingen sker sammen med restaffald fra husholdninger eller via offentlige genbrugsstationer. Undersøgelser foretaget for Amager Resourcecenter viser, at der i Danmark eksisterer et potentiale for genanvendelse af EPS på op til 4.000 ton pr. år. Disse tal understøttes af affaldsstatistikker fra Consultic¹, som estimerer, at der i 2013 blev produceret ca. 3.800 ton EPS-affald, hvoraf en meget lille andel på ≈100 tons blev genanvendt mekanisk.

Der eksisterer altså et stort potentiale for nyttiggørelse af EPS-affald, hvis der kan udvikles indsamlingsmodeller med højt udbytte, effektive sorterings- og logistikløsninger samt teknologiske metoder til oprensning, kompaktering og forarbejdning af den ekspanderede polystyren til nye råvarer i form af polystyren regranulater.

I projektet fokuseres på indsamling af EPS på de genbrugspladser, som ARC driver for deres ejerkommuner, på grund af mulighed for en mere central og omkostningseffektiv indsamling sammenlignet med indsamling fra husholdninger. Dette giver projektets værdikæde adgang til potentielle volumener af EPS på 100-300 ton, og hermed en mulig reduktion i CO₂-udledningen på ≈ 430-1290 ton CO₂/år. Ved efterfølgende udvikling til nationale (og evt. globale) løsninger vil dette potentiale være meget større (> 15.000 ton CO₂/år)².

Projektets kerneudfordringer og opgaver er således følgende:

- Udvikling af valideret model for effektiv indsamling og kildesortering af EPS fra genbrugspladser.
- Identificering og udvikling af løsninger/processer/udstyr til effektiv håndtering, forbehandling og logistik af EPS-fraktioner.
- Udvikling og test af teknologiske løsninger til kompaktering, oprensning og reprocessing af EPS-fraktioner.
- Udvikling af skræddersyet materialesystem for PS-recyklat, som er kompatibelt med traditionelle anvendte PS granulater/recyklater.
- Opbygning og udvikling af model for kvalitetskontrol/sikring, som via demonstration hos slutbruger/e, sikrer best fit i forhold til mulige kvaliteter af PS-recyklater, samt giver sikkerhed for, at eventuelle risici forbundet med indhold af farlige kemiske stoffer, f.eks. bromerede flammehæmmere, er elimineret.

¹ Consultic GmbH, www.consultic.com

² Udregnet ud fra tal oplyst i MST Miljøprojekt nr. 798, 2003.

- Udvikling af samlet koncept og forretningsmodel, som er optimeret til en dansk værdikæde, for et cirkulært resursekredsløb af EPS-affald i Danmark.

5. Afrapportering af projektets arbejdsplaner

Denne rapport redegør for aktiviteter i projektet fordelt på arbejdsplaner. Projektet har været opdelt i seks arbejdsplaner med tilhørende aktiviteter:

Arbejdsplan 1: Design af model for effektiv indsamling og sortering af EPS fra genbrugspladser

Det overordnede formål med arbejdsplan 1 er at udvikle en effektiv løsning for indsamling og sortering af EPS-affald, så de indsamlede EPS-fraktioner er klargjort og har en egnet kvalitet til videre forarbejdning. Der arbejdes på scenarier og procedurer, samt med teknologiske løsninger/containere/udstyr som kan løse opgaven. I princippet kan EPS-affald fra både EPS-produktionsvirksomheder, byggeri, andet industri og private, som afleverer emballage mm. på genbrugspladserne, anvendes.

Arbejdsplan 2: Udvikling af metoder til kompaktering af EPS-fraktioner

Som følge af det store volumen af EPS-affald (98% luft) haves en stor logistisk udfordring. Der skal udvikles en optimal forbehandling til EPS-affald, samt et logistisk set up som kan håndtere det store EPS-volumen, f.eks. gennem volumenreduktion af EPS-affald tidligt i værdikæden. Arbejdsplan 2 udføres sideløbende med arbejdsplan 1, da de enkelte løsninger/modeller i både arbejdsplan 1 og 2 er indbyrdes afhængige af hinanden og kun kan fungere, såfremt de er tænkt ind i en samlet overordnet model.

Arbejdsplan 3: Udvikling af compounds af PS recyklater

For eftervisning af produktion/oparbejdning og compounding af EPS-affald til PS recyklater udføres pilotproduktioner med 2 mulige oparbejdningsprocesser, hhv. oparbejdning af PS recyklater ud fra termisk kompakteret EPS-affald hos Aage Vestergaard Larsen, samt oparbejdning af PS recyklater ud fra CreaSolv metoden hos Fraunhofer IVV (opløst EPS materiale i solventformulering).

Arbejdsplan 4: Vurdering af fit-for-purpose-kvalitet i forhold til afsætningsmuligheder samt etablering af demonstrationscase hos slutbruger

For anvendelse af de oparbejdede PS recyklater i nye produkter, er det afgørende, at materialegenskaberne er i overensstemmelse med kravene hos producenterne/slutbrugerne af PS-recyklater. Der skal derfor udvikles og bestemmes en kvalitetskontrol, som efterviser og dokumenterer, at materialegenskaberne er i overensstemmelse med kundekravene, herunder sikring af en løbende ensartet kvalitet. Efterfølgende udføres egentlig produktion hos producenter/slutbrugere for eftervisning/demonstration af anvendelsen i slutprodukt/er.

Arbejdsplan 5: Analyse af business case

Oparbejdning og produktion af PS recyklater ud fra EPS-affald er en mulighed, såfremt der haves et marked, som efterspørger materialet, en forretningsmodel som muliggør en rentabel produktion.

Arbejdsplan 6: Analyse af miljøeffekt samt etablering af roadmap for skalering af teknologi og videnformidling

Der skal sikres et miljøpakt som skaber en rentabel cirkulær resurseøkonomi for EPS. Det er vigtigt at designe og udvælge et koncept for genanvendelse af EPS-affald, som opfylder alle krav gennem hele værdikæden, så løsningen kan opskaleres til egentlig serieproduktion, samt

giver mulighed for yderligere opskalering på længere sigt ved anvendelse af EPS-affald fra bl.a. industri og byggeri, samt ved implementering af nationale løsninger (og evt. globale). I nedenstående afsnit er de væsentligste aktiviteter i de enkelte arbejdsplaner beskrevet. Det er disse aktiviteter som danner basis for konklusionen og sammenfatningen.

5.1 Arbejdsplan 1: Design af model for effektiv indsamling og sortering af EPS fra genbrugspladser

5.1.1 Aktivitet 1.1: Opstilling af scenarier og procedurer for indsamling og sortering af EPS affald

Som udgangspunkt for opstillingen af scenarie og procedure er taget udgangspunkt i et tidligere forsøg hos Amager Ressourcecenter (ARC). ARC udførte i perioden 1. april til 1. oktober 2016 et forsøg på Kirstinehøj Genbrugsplads, hvor der blev indsamlet ren, hvid EPS til genanvendelse. Da der endnu ikke fandtes en komprimeringscontainer på markedet, som var egnet til at stå udendørs på en genbrugsplads, blev EPS'en indsamlet løst. Under forsøget foretog ARC tømning af forsøgscontaineren i en separat hal. De trange pladsforhold på genbrugspladsen gjorde det ikke muligt at omlaste her. ARC havde lejet en Miltek komprimator (model EPS 1800), hvori EPS blev indfødt manuelt. Komprimatoren havde en kapacitet på 70 kg/time og resulterede i en volumenreduktion på 40:1.

Indsamlingsforsøget viste nedenstående fordele og ulemper:

Fordele:

- Der blev indsamlet tilfredsstillende mængder: 4,6 ton på 6 måneder fra én genbrugsplads.
- Kun 3 % var fejlsorteringer; den resterende del var af god nok kvalitet til at blive genanvendt til stive emballager, bakker, kasser mv.
- EPS'en blev solgt til en forholdsvis god pris på 435 €/ton (~3200 kr./ton).

Ulemper:

- Logistisk set var EPS forsøget uhensigtsmæssigt. EPS'ens lave massefylde forårsagede en transport fra genbrugspladsen til omlastehallen med containere indeholdende megen luft og meget få kg EPS. I gennemsnit blev der indsamlet 130 kg EPS pr. container.
- Håndteringen af EPS'en i omlastehallen, hvor den blev komprimeret, var heller ikke optimal, idet komprimatoren blev indfødt manuel. Det tog en medarbejder 4-5 timer at komprimere et containerlæs.
- Udgifterne ved forsøget oversteg klart indtægterne. Der var især udgifter i forbindelse med leje af komprimator, tidsforbrug med komprimering samt transporten fra genbrugspladsen til omlastehallen. Sammenholdes indtægter og udgifter, bliver den samlede håndteringspris for EPS'en 8.300 kr./ton.

Ud fra erfaringerne fra det tidligere indsamlingsforsøg blev nedenstående krav til en EPS container opstillet af ARC i forhold til et fremtidig løsning, som kan anvendes til indsamling af EPS på genbrugspladser:

- Containeren skal kunne stå udendørs og uden tag over
- Containeren må ikke fylde væsentlig mere end en 20 fods container
- Containeren skal være sikkerhedsmæssig ansvarlig i forhold til kunder, dvs. den skal kun kunne aktiveres af pladsmedarbejdere

- Containeren skal være forsynet med en slags forkasse, hvori kunderne kan aflevere deres EPS, og hvor pladsmedarbejdere kan opsamle evt. fejlsorteringer
- Shredder-/komprimeringsaggregat skal kunne tåle mindre fejlsorteringer, såsom mindre skruer
- Containeren skal være arbejdsmiljøgodkendt
- Containeren skal reducere densiteten af EPS'en, så den bliver egnet til transport og ekstrudering
- Shredder-/komprimeringsaggregat skal kunne adskilles fra selve containeren, så kun den fyldte container skal transporteres (dette blev senere ændret til, at EPS-blokkene skulle kunne transporteres i 1 m³ stabelbare opbevaringsbokse, som kunne flyttes og læsses på lastbil med gaffeltruck).
- Containeren skal kunne transporteres med alm. lastbil – og helst med wiretræk
- Containeren skal være automatiseret på tilsvarende vis som ved en pap-container.

Ved udvikling af en EPS container i henhold til disse krav haves et fremtidigt scenarie, hvor EPS kan indsamles, sorteres og allerede ud på genbrugspladserne komprimeres til EPS-blokke til en kvalitet, som kan sælges til næste led i værdikæden (og samtidig opnå en stor reduktion i CO₂ i forhold til transport af ikke-komprimeret EPS fra genbrugspladserne med henblik på efterfølgende forbrænding).

Hos ARC er det desuden et ønske og krav, at der kan stå en EPS container på hver enkelt genbrugsplads, som det i dag kendes fra pap-containerne.

I forhold til genbrugspladser med mindre EPS mængder vil det ellers også være muligt at indtænke et scenarie, hvor flere genbrugspladser deles om enten en mobil EPS-container eller har en automatiseret EPS container stående på en central placering.

5.1.2 Aktivitet 1.2: Gennemførelse af indsamlingsforsøg på udvalgt genbrugsplads

Der er gennemført indsamlingsforsøg med den i projektet udviklede EPS container på Kirstine Genbrugsplads i Tårnby, som hører under Amager Ressourcecenter I/S.

Indsamlingsforsøget blev opstartet den 17. januar 2019 og har efterfølgende kørt i 1. kvartal af 2019. Indsamlingsforsøget blev afsluttet i forbindelse med fremvisning af EPS containeren til et åbent hus arrangement den 2. april 2019.

Indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads har vist og demonstreret følgende:

- Kunderne på genbrugspladsen er meget interesserede og villige til at aflevere deres EPS affald (flamingo) i EPS containeren.
- Der er indsamlet antal ≈ 3000 kg på 2,5 måned
- Indsamlingsforsøget har demonstreret, at EPS komprimatoren er egnet til indsamling og automatiseret komprimering til EPS-blokke i den specialudviklede containerløsning med indbygget komprimator.
- Containerløsningen kan anvendes til indsamling af EPS affald på danske genbrugspladser, samt andre lokationer med store mængder EPS affald.
- Løsningen er sammenlignelig med de kendte papcontainere, hvor kun genbrugsvejlederen kan aktivere komprimatoren indbygget i EPS containeren, når kammeret/tragten er fyldt med materiale (hvilket også er et krav i forhold til sikkerhed).
- Efterfølgende forarbejdning af de komprimerede EPS blokke fra Kirstinehøj Genbrugsplads, hos EPS Recycle, har vist en godkendt kvalitet i forhold til mulig produktion af PS regranulat ud fra det indsamlede EPS affald på genbrugspladsen.

Indsamlingsforsøget i projektet har tilføjet værdifuld viden, erfaring og yderligere krav til specifikationen for en EPS komprimator/container fremadrettet. Mange af disse inputs er kommet fra genbrugsvejlederne på Kirstinehøj Genbrugsplads i forbindelse med indsamlingsforsøget.

I henhold til udarbejdet log-bog fra ARC i forbindelse med indsamlingsforsøget, så er der tale om ønskede justeringer og tilretninger, som det også ville kunne forventes af en prototype løsning. I den sammenhæng er det værd at bemærke, at der er tale om justeringer, som kan løses i fremadrettede modeller, når den enkelte EPS komprimator/container skal målrettes de forskellige typer af genbrugspladser i Danmark. Således er det tydeligt, ud fra indsamlingsforsøget, at EPS containeren skal findes i flere versioner, som hver især er målrettet de forskellige typer af genbrugspladser (i forhold til plads, mængde, adgang til strøm, etc.).

Konklusionen fra projektgruppen er, i henhold til ovenstående, at det er lykkedes at udvikle en egnet prototype af en automatiseret EPS container, som fremadrettet ved mulige og lettilgængelige tilretninger kan anvendes på danske genbrugspladser. Dette understreges også af, at der allerede også er interesse i prototype-løsningen fra andre danske genbrugspladser, samt international interesse i løsningen.

5.2 Arbejdspakke 2: Udvikling af metoder til kompaktering af EPS-fraktioner

5.2.1 Aktivitet 2.1: Screening og evaluering af tilgængelige teknologier til kompaktering af EPS-fraktioner

Der er screenet for tilgængelige teknologier på markedet, som i hovedtræk er beskrevet med nedenstående 4 forskellige typer af komprimeringsteknologier:

- 1) Sneglekomprimatorer (snekkeprincip) har en integreret opriver som efterfølgende bruger en snekke til at skubbe EPS-materialet gennem et kammer med en bestemt hastighed og tryk for at komprimere EPS materialet til solide EPS-blokke.
- 2) Hydrauliske komprimatorer bruger hydraulisk tryk til at komprimere EPS materialet. EPS materialet oprives/makuleres til mindre stykker og presses i en kontinuerlig proces gennem en kanal til tætte EPS-blokke/briketter ved tryk og opvarmning (uden smeltning).
- 3) Termiske komprimatorer udnytter opvarmning til at smelte EPS materialet og hermed fjerne luften. Det smeltede EPS materialet ekstruderes ud i lange baner ("pølser").
- 4) Hybridkomprimatorer som kombinerer hydraulik og snegle/snekke komprimator principperne.

Leverandører af de forskellige teknologier, eksempler på komprimatorer og tilhørende beskrivelser fremgår af bilag 1, som er udarbejdet af Amager Ressourcecenter.

EPS Recycle anvender allerede i dag manuelle komprimatorer efter "snekkeprincippet" i forbindelse med komprimering af EPS fiskekasser. Ligeledes er det også snekkekomprimator-teknologien, som anvendes de steder i Danmark, hvor der indsamles og komprimeres EPS affald. Teknologien er således allerede eftervist at være en effektiv, sikker og driftsstabil teknologi til komprimering af EPS materialer. Udviklingen af en container-løsning, med en indbygget sneglekomprimator, er derfor valgt i forhold til sikring af driftsstabil containerløsning, hvor erfaring, synergier og viden fra eksisterende løsninger med sneglekomprimatorer hos EPS Recycle, med fordel kan anvendes.

5.2.2 Aktivitet 2.1b: Udvikling, design og fremstilling af komprimatorcontainer

Udvikling, design og fremstilling af en EPS container, som samtidig har inkorporeret funktion til komprimering, blev i første del af projektet forsøgt udviklet af Shark Service Center ApS, som har stor erfaring og ekspertise i udvikling af container-løsninger til genbrugspladser. Det lykkedes ikke Shark Service Center ApS af fremstille en containerløsning med en acceptabel komprimeringsgrad af EPS materialerne i forhold til en rentabel løsning både økonomisk og miljømæssigt. Undervejs i projektet blev Shark Service Center ApS derfor erstattet af Hawfisk (EPS Recycle A/S). Med implementering af EPS Recycle er det efterfølgende i projektet lykkedes at udvikle, designe og fremstille en prototype af EPS-container, som opfylder kravspecifikation fra ARC, og derfor også var egnet til indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads i Tårnby, beskrevet i afsnit 5.1.2.

Kort beskrevet er den designede og fremstillede EPS container en kombination, udvikling og tilretning af eksisterende EPS komprimeringsteknologier og container-løsninger, som allerede findes kommercielt på markedet, og således udgør byggestenene i løsningen fra EPS Recycle.

Nedenstående er 2 billeder af EPS containeren opstillet på Kirstinehøj Genbrugsplads, samt tilhørende anvisning/skiltning af container til modtagelse af flamingo (EPS materialer):





EPS containeren har et kammer/tragt, hvor kunden på genbrugspladsen kan aflevere sine EPS-materialer (flamingo). Når kammeret er fyldt kan genbrugsvejlederen lukke kammeret og på et kontrolpanel på siden af containeren igangsætte en automatisk neddeling og komprimering af EPS materialerne med en indbygget snekkekomprimator. I forlængelse af komprimatoren transporteres EPS-blokkene automatisk ud i kar, som haves inde i container-løsningen.

EPS containeren er således udviklet og designet til at fungere efter nedenstående fremgangsmåde/procedure:

- 1) Forbrugeren/kunden på genbrugspladsen påfylder EPS materialet (flamingo) i tragtten/kammeret (som set på billedet).



- 2) Når kammeret til containeren er fyldt med EPS materiale lukkes lågen af en genbrugsvejleder (som set på billedet).



- 3) Funktionen "Reset låge" trykkes ind på kontrolpanelet af genbrugsvejlederen på siden af containeren. Knappen vil lyse og hvis den ikke lyser, så er lågen ikke lukket korrekt (som set på billedet)



- 4) Der trykkes på start af genbrugsvejlederen på kontrolpanelet på siden af containeren (som set på billedet)



- 5) Maskinen neddel og komprimerer nu EPS materialerne i EPS containeren. De 2 tændte lamper indikerer at maskinen kører (som set på billedet)



- 6) Når maskinen har kørt i 10 min, vil lamperne gå ud (som set på billedet), og EPS materialet påfyldt af kunden på genbrugspladsen er neddelte og komprimeret inde i containeren.



- 7) Nu kan lågen til tragtten/kammeret åbnes igen og kunder kan påfylde EPS materiale i container-løsningen igen (som set på billedet) og processen kan starte forfra.



- 8) I den lukkede container bagved neddelers- og komprimeringsdelen transporteres og opsamles EPS-blokkene automatisk i kar. Genbrugsvejlederen sikrer komprimeringen er i orden og fjerner løbende fyldte kar, som indeholder EPS-blokke (som set på billedet).



Ved implementering af EPS containeren på genbrugspladser kan 46 lastbilskørsler årligt, hver med en last på 130 kg EPS, erstattes af én lastbilskørsel med 6 tons.

EPS containeren er udviklet og designet så den opfylder alle relevante bestemmelser i Maskindirektivet 2006/42/EF og løsningen er i overensstemmelse med den europæiske standard

EN ISO 12100:2011: Maskinsikkerhed - Generelle principper for konstruktion - Risikovurdering og risikonedsettelse.

5.2.3 Aktivitet 2.2: Design af procesforhold til termisk kompaktering af EPS-fraktioner i bulk ekstruder

Der er udført testkørsler i forhold til mulig ekstrudering til polystyren regranulat med både EPS-blokke produceret af indsamlet EPS affald fra Silkeborg Forsyning, samt fra EPS blokke fra indsamlingsforsøget udført med den udviklede EPS container på Kirstinehøj Genbrugsplads i Tårnby.

I en første testkørsel er anvendt EPS blokke fra Silkeborg forsyning, som er indsamlet og komprimeret på en snekkekomprimator. EPS-materialet indsamles her i løs tilstand på genbrugspladsen (uden indbygget automatisk komprimering) og fragtes efterfølgende hen til snekkekomprimatoren, hvor personale betjener snekkekomprimatoren og producerer EPS blokke. Forsøg med disse EPS blokke blev udført hos Aage Vestergaard Larsen i april 2017, mens den automatiserede EPS container stadig ikke var udviklet i projektet til indsamlingsforsøg på Kirstinehøj Genbrugsplads.

Testkørslen hos Aage Vestergaard Larsen viste, at det var muligt at termisk kompaktere og ekstrudere EPS blokkene til polystyren regranulat ved anvendelse af en af deres eksisterende produktionslinjer, afbilledet i det efterfølgende.



Billede 5.2.3.1: Produktionslinje anvendt hos Aage Vestergaard Larsen til produktion af polystyren regranulat

De enkelte produktionsstep fra modtagelse af EPS-blokke til fremstilling af Polystyren regranulat fremgår af nedenstående punkter.

- 1) Inputmateriale (EPS-blokke) ved testene hos Aage Vestergaard Larsen



- 2) Neddeling/shredding af EPS-blokkene i anlægget hos Aage Vestergaard Larsen



- 3) Afgasning i processen hos Aage Vestergaard Larsen



4) Produktion af polystyren regranulat ved ekstrudering hos Aage Vestergaard Larsen



En rapport over testkørslen hos Aage Vestergaard Larsen fremgår af bilag 2.

I en anden testkørsel i forlængelse af indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads i 1. kvartal 2019 med den specialeudviklede EPS container med indbygget komprimering, er der kørt tilsvarende testkørsler og ekstruderingsforsøg med EPS-blokkene produceret ud fra det indsamlede EPS affald på Kirstinehøj Genbrugsplads (placeret direkte i containeren af kunden/forbrugeren på genbrugspladsen). Disse testkørsler er udført hos EPS Recycle, som har en produktionslinje som udelukkede anvendes til at producere polystyren regranulat ud fra EPS-blokke.

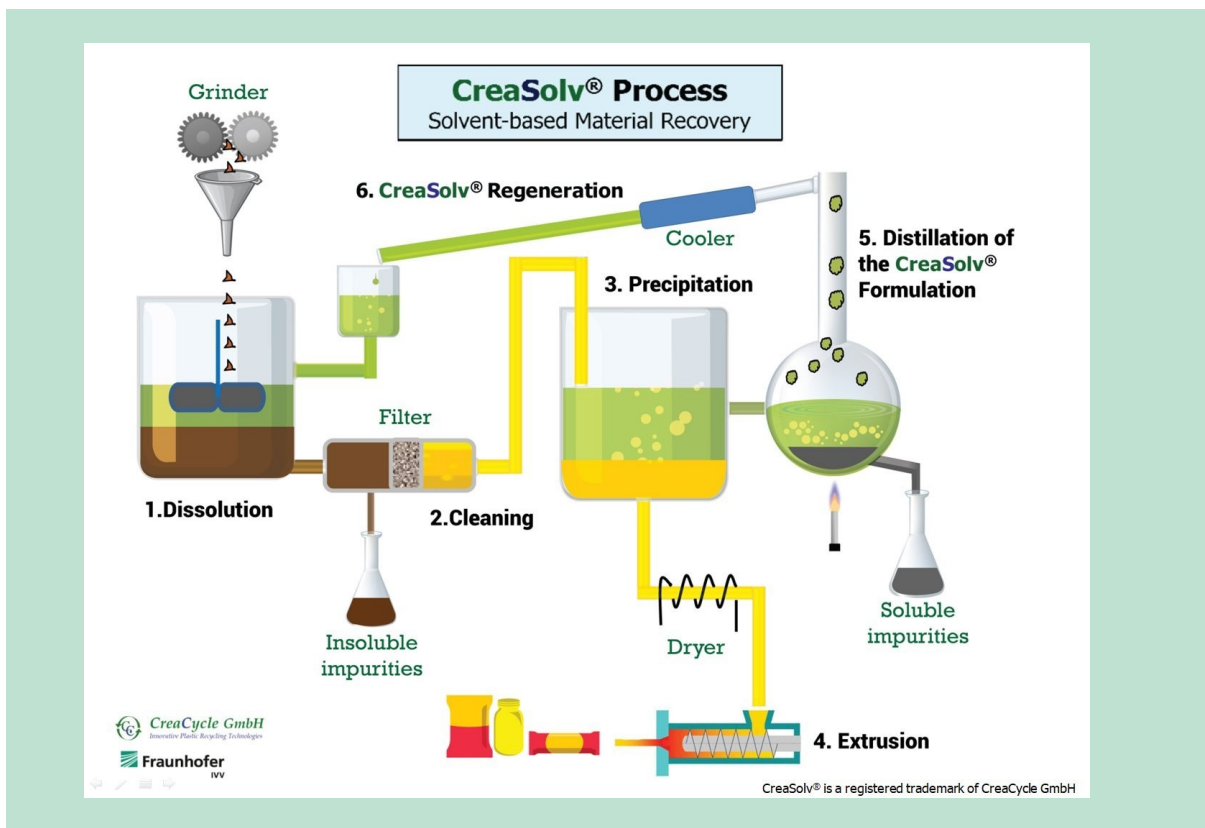
Testkørslerne hos EPS Recycle var sammenlignelige og i overensstemmelse med resultaterne fra Aage Vestergaard Larsen, og viste/demonstrerede igen, at der kan ekstruderes Polystyren regranulat ud fra indsamlet og komprimeret EPS affald indsamlet på danske genbrugspladser.

5.2.4 Aktivitet 2.3: Kompaktering og oprensning af EPS-fraktioner med CreaSolv teknologi

I forhold til EPS-blokke med uønskede indholdsstoffer, som f.eks. den bromerede brandhæmmer, HBCD, tidligere anvendt blandt andet i EPS isoleringsmaterialer, så er en solventbaseret genanvendelsesteknologi en mulighed. Denne genanvendelsesteknologi findes meget begrænset i kommerciel og industriel skala i dag, men kan i fremtiden blive en egnet og mulig teknologi, når der påkræves eller ønskes helt rene fraktioner af polystyren regranulaterne. Dette kan være tilfældet både ved indhold af uønskede kemikalier i affaldsmængderne og/eller i forbindelse med adskillelse af sammensatte plastmaterialer i genanvendelsesprocessen. I dette projekt er der udført testkørsler på et pilot-anlæg hos Fraunhofer i Tyskland. Sammen med firmaet CreaCycle GmbH har de udviklet en solventbaseret genanvendelsesteknologi, kaldet "CreaSolv®-processen", som fungerer i henhold til det efterfølgende diagram³:

FIGUR 5.2.4.1: Processen hos Fraunhofer, udført i projektet, i forbindelse med solventbaseret genanvendelse af EPS materialer.

<https://www.creacycle.de/en/the-process.html>



Genanvendelsesteknologien foregår gennem følgende trin:

³ <https://www.creacycle.de/en/the-process.html>

1. Opløsning - Efter en første indledende sortering i forhold til plasttype neddeles og opløses plastmaterialet, som ønskes genanvendt, i et målrettet solvent udviklet til specifikt kun at opløse den ønskede plasttype.
2. Oprensning - Ikke-opløselige urenheder frafiltreres solventet. Disse urenheder kan behandles som affald eller genanvendes, hvis der er tale om værdifulde substanser.
3. Udfældning - Ved at ændre opløsningssegenskaberne af solventet udfældes udelukkende den specifikke og ønskede plasttype, som hermed kan genvindes.
4. Ekstrudering - Den tørre og genvundne plasttype ekstruderes til nye plastgranulater med egenskaber sammenlignelig med jomfruelige plastmateriale af samme plasttype.
5. Destillation - Det anvendte solvent opsamles og destilleres med henblik på at blive oprenset igen. De resterende uopløselige urenheder opsamles og behandles som affald eller genanvendes, hvis der er tale om værdifulde substanser.
6. Regenerering - Det oprensede solvent til opløsning af den specifikke plasttype anvendes igen som solvent i genanvendelsesprocessen.

I projektet er indsamlede EPS-blokke fra Kirstinehøj Genbrugsplads blevet processeret på pilot-anlægget hos Fraunhofer i Tyskland med et solvent udviklet og målrettet til at genanvende polystyren materialer i henhold til ovenstående solventbaserede genanvendelsesproces.

I forsøget på pilot-anlægget i Tyskland er det demonstreret at de indsamlede EPS-blokke kan oprensnes og processeres til nyt polystyren granulat ud fra "CreaSolv®-processen", og hermed anvendes til at fjerne eventuelle uønskede kemikalier i indsamlet EPS affald.

Resultaterne af materialegenskaberne på polystyren regranulatet fremgår af afsnit 5.3.2.

Hele testrapporten fra Fraunhofer i Tyskland indeholdende beskrivelse af forsøget med EPS-blokke fra Amager Ressourcecenter kan udleveres ved forespørgsel til Teknologisk Institut og efterfølgende accept fra Fraunhofer.

I forhold til CreaSolv®-processen, samt oprensning og netop genanvendelse af EPS, er der ved at blive bygget et pilotanlæg i Terneuzen i Holland, som kan modtage 3000 tons forurenede EPS om året. Plastindustrien i Danmark er også med indover dette projekt⁴.

Den solventbaserede genanvendelsesteknologi vil være en mulig fremtidig løsning for genanvendelse af forurenede og sammensatte plastmaterialer. I projektet er eftervist at metoden er egnet til EPS materialer indsamlet på danske genbrugspladser, hvorfor EPS blokke fra danske genbrugspladser altså også vil kunne genanvendes ved denne teknik, såfremt store industrielle anlæg, som kan modtage store mængder EPS, etableres i fremtiden.

5.3 Arbejdspakke 3: Udvikling af compounds af PS recyklater

5.3.1 Aktivitet 3.1: Udvikling af compounds af PS recyklater i pilotskala efter hhv. termisk kompaktering og CreaSolv-metoden

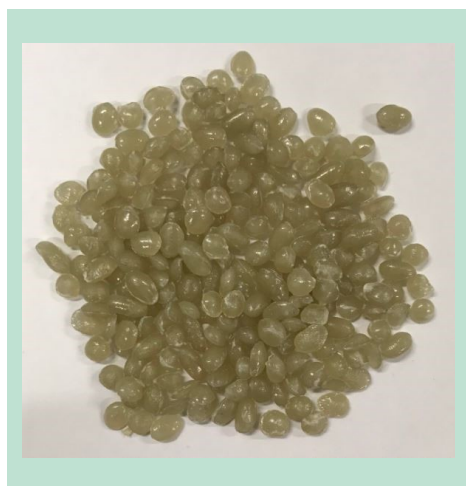
Der er i projektet produceret polystyren regranulater ved termisk kompaktering af indsamlet og komprimeret EPS affald hos både Aage Vestergaard Larsen i april 2017, samt hos EPS Recycle i februar 2019.

⁴ <https://polystyreneloop.org/> og <https://www.creacycle.de/en/creasolv-plants/polystyrene-loop-2016.html>

Både produktionsanlægget hos Aage Vestergaard Larsen i Mariager, samt produktionsanlægget hos EPS Recycle i Thisted har demonstreret og produceret PS regranulater ud af de indsamlede EPS materialer fra genbrugspladser.

De producerede polystyren regranulater har været i materialekategorien, hvor de kan karakteriseres som "general purpose polystyrene", GPPS. Materialerne er således for eksempel egnede til anvendelse i ekstruderede isoleringsplader, stive emballager, bakker, kasser, kassetter etc.

FIGUR 5.3.1.1: Polystyren regranulat (3-5 mm) produceret i projektet ved termisk kompaktering og efterfølgende ekstrudering til granulat.



I forhold til udvikling af polystyren compounds med en højere slagstyrke, så polystyren materialerne kommer i kategorien "high impact polystyrene", HIPS, så er der undersøgt muligheder for at tilsætte additiver, som vil tilføje højere slagstyrke til regranulaterne. En af mulighederne er at tilsætte elastomerer eller gummimaterialer, f.eks. gummitypen poly(styrene-butadienestyrene), SBS.

I nedenstående tabel er gengivet en forøgelse af slagstyrken ved tilsætning af SBS materialer til regranulaterne i GPPS. Tabellen er lavet ud fra test og tilhørende teoretiske beregninger hos Aage Vestergaard Larsen.

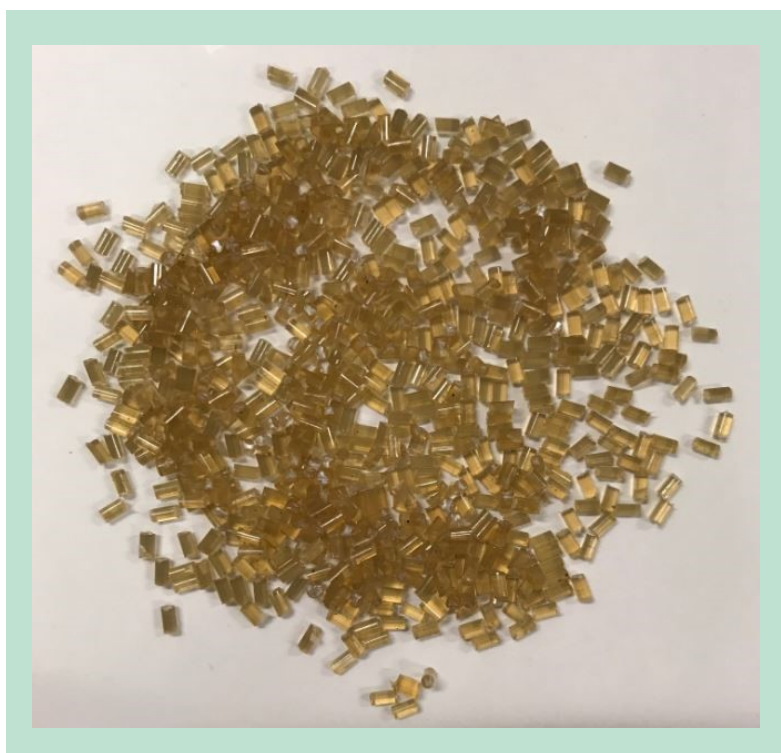
TABEL 5.3.1.1: Tilsætning af hhv. 15%, 25% og 35% SBS til polystyren regranulat og tilhørende effekt på hhv. slagstyrken (Charpy impact strength), Trækstyrken (Tensile strength), Brudforlængelsen (Elongation) og Bøjemodulet (E-modulus).

	Charpy impact Strength KJ/m ²	Tensile strength, Yield MPa	Tensile strength, Break Mpa	Elongation, break %	E- modulus Mpa
	ISO 179/1eA, notch	ISO 527-1- 2	ISO 527-1- 2	ISO 527-1- 2	ISO 527-1- 2
GPPS 100%	1,8 C	50	50	1,8	3161
GPPS 85% + 15% SBS	2,7 C	34	27,3	28	2707
GPPS 75% + 25% SBS	3,6 C	27,2	22,6	35	2409
GPPS 65% + 35% SBS	20,7 H	20,5	19,1	42	1979

For at opnå en slagstyrke på 8-10 KJ/m², og komme i kategori som et polystyren materiale med høj slagstyrke, vurderes der at skulle tilsættes cirka 27-28% genanvendt SBS materiale til

polystyren regranulaterne. Den højere værdi som kan opnås ved fremstilling af et slagstærkt polystyren materiale modsvarer således ikke omkostningen for den store andel af SBS materiale, som det vil være nødvendigt at tilsætte regranulatet.

På tilsvarende vis er der i projektet produceret polystyren regranulat ud fra CreaSolv-metoden hos Fraunhofer i Tyskland. De mekaniske materialeegenskaber af disse regranulater er også i materialekategorien, GPPS, og er sammenlignelige med materialeegenskaberne opnået ved termisk kompaktering og ekstrudering hos hhv. Aage Vestergaard Larsen og EPS Recycle. Der kan altså ikke ses forskel i materialeegenskaberne på regranulaterne produceret hhv. efter CreaSolv-metoden og termisk kompaktering. Derfor vil CreaSolv-metoden først og fremmest være relevant i tilfælde af forurenede EPS-materialer, ligesom CreaSolv-metoden giver større muligheder for fremstilling ny EPS ud fra indsamlet EPS affald, da renheden vil være en væsentlig parameter her.



FIGUR 5.3.1.2: Polystyren regranulat (1-3 mm) produceret i projektet ved solventbaseret oprensning og efterfølgende ekstrudering til granulat.

Hvis der ønskes en højere slagstyrke af regranulaterne, produceret ud fra den solventbase-rede genanvendelsesmetode, så vil det altså tilsvarende også være nødvendigt at tilsætte additiver til disse regranulater.

I forhold til afsætningskanaler for polystyren regranulater, så er kvaliteten i forhold til mulig afsætning som GPPS materialer af en acceptabel kvalitet, mens omkostningen ved tilsætning af additiver for at hæve slagstyrken, for nuværende, ikke vurderes at være rentabel. Dette kan ændre selvfølgelig ændre sig, hvis nuværende værdikæder for polystyren regranulater ændrer sig i fremtiden.

5.3.2 Aktivitet 3.2: Undersøgelse af kompatibilitet af compounds af PS recyklater ifht. til traditionelle PS-recyklater

Der er produceret polystyren regranulat ud fra indsamlet EPS affald 2 gange ved termisk kompaktering og ekstrudering, samt 1 gang ved solventbaseret genanvendelse/oprensning (Cre-aSolv®) og efterfølgende ekstrudering.

I nedenstående er gengivet en række af materialeegenskaberne af polystyren regranulaterne opnået ved de 3 forskellige testkørsler, samtidig med reference-værdier for et almindeligt polystyren granulat, GPPS (general purpose polystyrene) også er gengivet i tabellen til sammenligning.

TABEL 5.3.2.1: Materialegenskabene af polystyren regranulaterne fremstillet i projektet (PS-AVL, PS-FSB og PS-EPS), sammenlignet med eksisterende jomfruelige polystyren granulater (GPPS).

			1	2	3	Reference
			PS-AVL	PS-FSB	PS-EPS	GPPS
Rheologiske egenskaber:	Condition	Unit	Value	Value	Value	Value
Melt flow rate, MFR	(200 °C, 5 kg)	g/10 min	15	10	9,9	0,1-11
Mekaniske egenskaber:						
E-modulus	(1 mm/min; 23 °C)	MPa	3177	2842	3151	1980-3400
Tensile strength at break	(50 mm/min; 23 °C)	MPa	47	49	48	15-55
Elongation at break	(50 mm/min; 23 °C)	%	2,6	2,6	2,6	1,0-5,0
IZOD notched impact strength	(23 °C)	Kj/m2	1,4***	4,3	2,8	1,9-10

Som det fremgår af tabel 5.3.2.1, så er de fremstillede kvaliteter helt sammenlignelige med materialeegenskaberne for jomfruelige GPPS materialer.

Smelteindekser (melt flow rate) på 10-15 g/10min (200 °C, 5 kg) er anvendelige til produktion af nye plastprodukter, ligesom trækstyrker på ≈ 3000 MPa, brudforlængelser på $\approx 2,6\%$ og bøjemoduler (E-modulus) er helt på højde med jomfruelige GPPS materialer. Der ses små slagstyrker på regranulaterne (IZOD notched impact strength), men det er en materialeegenskab, som i en lang række af GPPS produkter ikke er afgørende, hvorfor de opnåede værdier er godkendte og acceptable hos flere potentielle aftagere af GPPS plastgranulater. Kvaliteten af regranulaterne er til anvendelse i ekstruderede isoleringsplader, stive emballager, bakker, kasser, kassetter etc. Ligeledes vil den oprensede polystyren, ud fra CreaSolv processen, også kunne anvendes til produktion af nye EPS materialer.

Projektpartneren EPS Recycle, som allerede producerer PS regranulat i deres produktion ud fra udtjente EPS fiskekasser og har aftagere til GPPS materialer, kan ligeledes bekræfte, at kvaliteterne af de opnåede polystyren regranulater er sammenlignelige med deres nuværende PS regranulater, som afsættes på de kommercielle markeder.

Det er altså demonstreret muligt at indsamle EPS på genbrugspladser, som kan oparbejdes til et nyt polystyren regranulat, som er kompatibel og sammenlignelig både med en række af jomfruelige GPPS materialer, samt øvrige PS-recyklater som findes og anvendes til produktion af nye produkter.

5.3.3 Aktivitet 3.3: Procesoptimering til industriel oparbejdning af compounds af PS-recyklater efter hhv. termisk kompaktering og CreaSolv-metoden

Både i forbindelse med termisk kompaktering og CreaSolv®-metoden er det eftervist at eksisterende processer er egnede til at danne polystyren regranulat med en acceptabel kvalitet ud fra indsamlet EPS på genbrugspladser.

I forhold til begge processer er den bedste procesoptimering kvalitetssikring af input-materiale/ EPS-blokkene, herunder sikring af en ensartet kvalitet af EPS-blokkene, som skal processeres til polystyren regranulat.

Begge genanvendelsesteknologier kan i høj grad håndtere forureninger og indhold af andre plastmaterialer i EPS-blokkene (op til 10% forurening kan håndteres hos EPS Recycle), men kvaliteten og udbyttet af polystyren regranulaterne vil tilsvarende blive reduceret og forretningsmodellen for genanvendelse hermed også forringes.

Der findes kommercielle og almindeligt tilgængelige magnetbånd og filtre, som kan håndtere urenheder i processerne. Forureningerne og indholdet af f.eks. metaller kan få et niveau, hvor EPS-blokkene afvises og ikke ønskes processeret til nyt polystyren granulat, da det, udover at ødelægge kvaliteten af slutproduktet, kan risikere at ødelægge ekstruder, snekke og/eller filtre i produktionen.

I nedenstående billeder er gengivet forureninger i form af træ, som efterfølgende har givet et tilstoppet filter og hermed nedbrud/stop i ekstruderingsprocessen hos Aage Vestergaard Larsen.



Billede 5.3.3.1: Eksempler på urenheder i EPS-blokke processeret hos Aage Vestergaard Larsen i projektet.



Billede 5.3.3.2: Eksempel på tilstoppet filter, som giver produktionsstop, i forbindelse med processering hos Aage Vestergaard Larsen i projektet.

I forhold til kvalitetssikring af EPS-blokkene og hermed efterfølgende procesoptimering i ekstruderingsprocessen haves følgende aktiviteter/tiltag:

- 1) EPS containeren designes i en næste version, således at genbrugsvejlederen har mulighed for at se fejlsorteringer, og hermed fjerne åbenlyse og ødelæggende urenheder i EPS containeren inden komprimering. Der laves et kammer som er let tilgængeligt og synligt (f.eks. transparent), ligesom vejlederen let har adgang til at fjerne urenheder i kammeret, ligesom det f.eks. kendes fra papcontainere.
- 2) Kunderne på genbrugspladserne oplæres og vejledes i endnu bedre grad i forhold til hvad som er egnet til komme i EPS containeren.
- 3) EPS Recycle udfører en indgangskontrol af EPS-blokkene, således de har mulighed for at fjerne åbenlyse fejlsorteringer, som kan ødelægge kvaliteten og processen.

I procesoptimeringerne haves altså størst prioritet og fokus på at sikre og optimere kvaliteten af EPS-blokkene, som anvendes som input-materialer til produktion af polystyren granulat. Selve processerne i forbindelse med termisk kompaktering og CreaSolv-metoden fungerer efter hensigten, men kvaliteten og udbyttet i processerne kan altså optimeres ved kvalitetssikring og forbedring af inputtet/EPS-blokkene, som produceres ude på genbrugspladserne.

5.4 Vurdering af fit-for-purpose-kvalitet i forhold til afsætningsmuligheder samt etablering af demonstrationscase hos slutbruger

For anvendelse af de oparbejdede PS recyklater i nye produkter, er det afgørende, at materialegenskaberne er i overensstemmelse med kravene hos producenterne/slutbrugerne af PS-recyklater. Der skal derfor udvikles og bestemmes en kvalitetskontrol, som efterviser og dokumenterer, at materialegenskaberne er i overensstemmelse med kundekravene, herunder sikring af en løbende ensartet kvalitet. Efterfølgende udføres egentlig produktion hos producenter/slutbrugere for eftervisning/demonstration af anvendelsen i slutprodukt/er

5.4.1 Aktivitet 4.1: Bestemmelse af kvalitetskrav til PS recyklater og udvikling af metoder for kvalitetssikring

I forhold til afsætningsmulighederne er det afgørende at identificere hvilke materialegenskaber og tilhørende kvalitetskrav som skal opfyldes i forhold til afsætningsmulighederne af polystyren regranulaterne.

Med deltagelse af Aage Vestergaard Larsen og EPS Recycle i projektet var der et stort forhåndskendskab både til kvalitetskrav og tilhørende kvalitetssikring af plastregranulater.

Følgende materialegenskaber, er egenskaber som Aage Vestergaard Larsen allerede har stor erfaring i at teste i forhold til deres eksisterende produktioner af plastregranulater, og herunder også i forhold til løbende kvalitetskontrol for sikring af ensartet en kvalitet. I nedenstående tabel er gengivet de forskellige materialegenskaber, som der sættes krav til, afhængig af de enkelte afsætningsmuligheder.

TABEL 5.4.1.1 Materialeegenskaber for dokumentation af kvaliteten

Rheologiske egenskaber	Kondition	Enhed	Standard
Melt flow rate, MFR (Smelteindeks)	(200 °C, 5 kg)	(g/10 min)	ISO 1133
Mekaniske egenskaber			
E-modulus (bøjemodul)	(1 mm/min ;23 °C)	MPa	ISO 527-2
Tensile strength at break (Trækstyrke ved brud)	(50 mm/min ;23 °C)	MPa	ISO 527-2
Tensile strength at yield (Flydespænding)	(50 mm/min ;23 °C)	MPa	ISO 527-2
Elongation at break (Brudforlængelse)	(50 mm/min ;23 °C)	%	ISO 527-2
Elongation at yield (Forlængelse ved flydning)	(50 mm/min ;23 °C)	%	ISO 527-2
Charpy notched impact strength (Slagstyrke)	(23 °C)	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Termiske egenskaber			

Vicat softening temperature (blødgøringsstemperatur)	(50 N; 50 °C/h)	°C	ISO 306/B50
Andre egenskaber			
Density (densitet)	(23°C)	g/cm ³	ISO 1183

I forhold til mulige aftagere af regranulater, så vil kvalitetskravene altså være forskellige fra aftager til aftager, afhængigt af hvilken proces og produkt regranulaterne skal anvendes i.

Vigtige materialeegenskaber i forhold til afsætningsmuligheder af regranulater i polystyren er i projektet identificeret være smelte-indekset (Melt flow rate, MFR), Trækstyrken (Tensile strength), brudforlængelse (Elongation), bøjemodul (E-modulus) og densiteten.

Smelte-indekset angiver hvor sejt- eller letflydende regranulater/materialet er ved en given temperatur og påført tryk. Et højt smelteindeks angiver et letflydende materiale, mens et lavt smelteindeks angiver et sejtflydende materiale.

Trækstyrken angiver hvor store kræfter pr. areal (MPa = Newton pr. mm²) som kræves for at trække emner produceret med det givne materiale fra hinanden.

Brudforlængelsen angiver mulig forlængelse (%) af emner produceret med det givne materiale før der sker brud eller varig deformation.

Bøjemodulet angiver stivheden (N/mm²) af emner produceret med det givne materiale. Jo højere bøjemodul, jo mere stivhed og jo flere kræfter (N/mm²) skal der til for at bøje et emne produceret med det givne materiale.

Densiteten angiver massefylden af det givne materiale i vægt pr. volumen (g/cm³).

Generelt gælder det, at der findes forskellige afsætningsmuligheder af regranulaterne afhængig af materialeegenskaberne, men samtidig at en ligeså vigtig og afgørende faktor er en løbende og ensartet kvalitet, så de mulige aftagere kan opstille og have en løbende stabil produktion.

I henhold til afsnit 5.3.2 så er en række af ovenstående materialeegenskaber blevet testet i forhold til polystyren regranulaterne produceret ud fra indsamlet EPS affald på danske genbrugspladser.

Resultaterne viser en ensartet kvalitet af polystyren regranulaterne i forhold til smelteindeks, bøjemoduler, trækstyrker og brudforlængelser, hvilket hermed også opfylder kvalitetskravene til aftagere af polystyren regranulater hos EPS Recycle.

Teknikkerne og metoderne til måling og løbende verificering/kvalitetssikring af materialeegenskaberne er kommercielt tilgængelige i form af trækprøvestyr, samt analyseinstrumenter til bestemmelse af smelteindeks og densitet.

I forhold til sikring mod uønskede og ulovlige indholdsstoffer, så som HBCD, kan udføres en røntgendiffraction (XRF-analyse) på regranulaterne i en løbende kvalitetskontrol.

Ved fremtidig genanvendelse af EPS materialer fra genbrugspladser (og fra andre mulige lokationer, f.eks. byggeri) bliver det nødvendigt at gøre flere erfaringer og materialeanalyser i

forhold til hyppigheden, hvormed de enkelte kvalitetskontroller skal udføres i forhold til sikring af kvaliteten fra produktionsbatch til produktionsbatch.

5.4.2 Aktivitet 4.2: Afklaring af dokumentationskrav til PS recyklater i form af tekniske datablade, MSDS etc.

I forhold til et PS regranulat produceret ud fra EPS-blokke fra genbrugspladser kan følgende tekniske datablad opstilles, som vil have en dokumentationsgrad som er anvendeligt og acceptabelt i forhold til afsætning hos flere mulige aftagere af PS regranulater.

TABEL 5.4.2.2. Teknisk datablad til aftagere af PS regranulat

Teknisk Datablad Polystyren Regranulat			
Rheologiske egenskaber	Kondition	Enhed	Værdi
Melt flow rate, MFR	(200 °C, 5 kg) ISO 1133	g/10 min	8-16
Mekaniske egenskaber			
E-modulus	(1 mm/min; 23 °C) ISO 527-2	MPa	2600-3300
Tensile Strength at break	(50 mm/min; 23 °C) ISO 527-2	MPa	> 40
Elongation at break	(50 mm/min; 23 °C) ISO 527-2	%	> 2
Andre egenskaber			
Density	23 °C ISO 1183	g/cm ³	1,03-1,06

I flere tilfælde vil et teknisk datablad med færre oplysninger også være tilstrækkelig. Dog er det gældende, at jo mere ensartet og dokumenteret kvalitet, jo lettere er afsætningsmulighederne, ligesom det tilsvarende kan have indflydelse på prissætningen.

I forhold til et sikkerhedsdatablad (MSDS), kan anvendes samme opbygning, som de fleste plastleverandører alle anvender i dag, og som også anvendes af Aage Vestergaard Larsen til deres sikkerhedsdatablade på deres regranulater. Sikkerhedsdatabladet har følgende opbygning:

IDENTIFIKATION AF STOF/DET KEMISKE PRODUKT OG AF SELSKABET/VIRKSOMHEDEN.

- 1) FAREIDENTIFIKATION
- 2) SAMMENSÆTNING AF/OPLYSNING OM INDHOLDSSTOFFER
- 3) FØRSTEHJÆLPSFORANSTALTNINGER
- 4) BRANDBEKÆMPELSE.
- 5) FORHOLDSREGLER OVER FOR UDSLIP VED UHELD
- 6) HÅNDTERING OG OPBEVARING
- 7) EKSPONERINGSKONTROL
- 8) FYSISK-KEMISKE EGENSKABER
- 9) STABILITET OG REAKTIVITET
- 10) TOKSIKOLOGISKE OPLYSNINGER.

- 11) MILJØOPLYSNINGER
- 12) FORHOLD VEDRØRENDE BORTSKAFFELSE
- 13) TRANSPORTOPLYSNINGER
- 14) OPLYSNINGER OM REGULERING
- 15) ANDRE OPLYSNINGER

Ovenstående anvendes på tilsvarende regranulater i polystyren⁵, som der kan opnås ud fra EPS blokke fra genbrugspladser.

Ved indsamling af EPS materialer haves en risiko for uønsket indhold af bromerede flammehæmmere, f.eks. HBCD, som tidligere er anvendt i EPS materialer, specielt i forbindelse med EPS isoleringsplader anvendt til byggeri. For verificering af at indholdet af HBCD er mindre end 100 mg/kg, i henhold til EU forordningen 2016/293 af 1. marts 2016, kan anvendes røntgenfluorescensanalyse (XRF-analyser).

Hos Aage Vestergaard Larsen er der i projektet udført XRF-analyser, som har verificeret grænseværdierne for HBCD er overholdt på plastgranulaterne fremstillet ud af EPS-blokke fra danske genbrugspladser. I en fremtidig serieproduktion af polystyren regranulater, ud fra indsamlede EPS affald, vil det tilsvarende være nødvendigt at opstille og udføre løbende analyser til verificering af grænseværdier for bromerede flammehæmmere (og eventuelle andre uønskede kemikalier) overholdes. Der haves altså en løsning her til i form af XRF-analyser.

Der er i den indsamlede EPS i projektet ikke set for høje koncentrationer af uønskede kemikalier så som HBCD. Såfremt der i fremtiden indsamles EPS affald med et for højt indhold af bromerede flammehæmmere, så vil den solventbaserede genanvendelsesteknologi, beskrevet i afsnit 5.2.4, være en mulighed for genanvendelse af EPS materialerne.

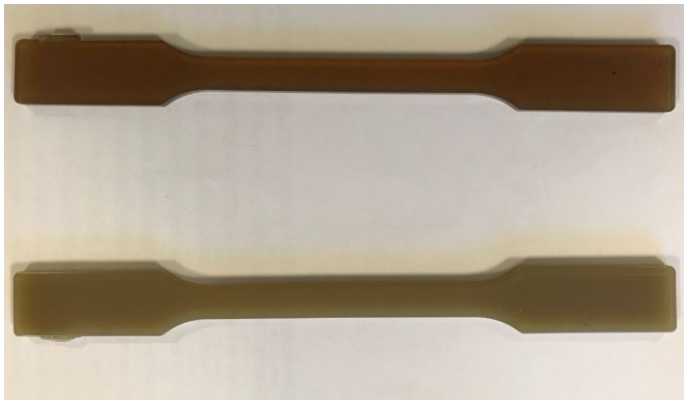
5.4.3 Aktivitet 4.3: Etablering af demonstrationscase hos slutbruger/ af PS recyklater

Med implementering af EPS Recycle/Hawfisk i projektet blev der samtidig hentet en partner ind som allerede producerer polystyren regranulater ud fra EPS affald fra EPS fiskekasser.

Polystyren regranulaterne produceret i projektet ud fra EPS materialer indsamlet på danske genbrugspladser har samme kvalitet som eksisterende polystyren regranulater produceret hos EPS Recycle og kan derfor anvendes til at supplere eksisterende produktion hos EPS Recycle i Thisted.

Ovenstående betyder også, at polystyren regranulaterne, produceret ud fra indsamlet EPS på danske genbrugspladser, kan anvendes i samme produkter som eksisterende polystyren regranulater hos EPS Recycle.

⁵ Sikkerhedsdatablad på polystyren regranulat fra Aage Vestergaard Larsen, https://avl.dk/images/SDS/AVL_PS_-SDS_DK.pdf



Billede 5.4.3.1: Sprøjtestøbte emner produceret med regranulat fra de 2 anvendte genanvendelsesteknologier i projektet; 1) Solventbaseret oprensning og ekstrudering, øverst, 2) termisk kompaktering og ekstrudering, nederst.

Kvaliteten af regranulaterne er til anvendelse i ekstruderede isoleringsplader, stive emballager, bakker, kasser, kassetter etc.

Ligeledes vil den oprensede polystyren også kunne anvendes til produktion af nye EPS materialer, hvilket dog ikke er eftervist i dette projekt.

I forhold til aftagerne af polystyren regranulater fra EPS Recycle, herunder regranulaterne produceret ud fra EPS affald indsamlet på danske genbrugspladser, henvises direkte til EPS Recycle i Thisted af hensyn til fortrolighed.

5.5 Arbejdspakke 5: Analyse af business case

Oparbejdning og produktion af PS recyklater ud fra EPS-affald er en mulighed, såfremt der haves et marked, som efterspørger materialet, en forretningsmodel som muliggør en rentabel produktion

5.5.1 Aktivitet 5.1: Opstilling af business case for fremstilling af PS recyklater ud fra EPS-affald, baseret på værdikædestruktur og markedsforhold i Danmark

Business casen i implementeringen af en EPS container på en genbrugsplads vil variere fra genbrugsplads til genbrugsplads, både i forhold til pladsforhold på den enkelte genbrugsplads, samt i forhold til nuværende indsamling og håndtering af EPS ved transport fra genbrugspladsen.

Ved implementering af EPS containeren på genbrugspladser kan 46 lastbilkørsler årligt, hver med en last på 130 kg EPS (ved løst indsamlet EPS), erstattes af én kørsel med 6 tons.

Transportomkostningen ved kørsel med løs EPS i en container fra en genbrugsplads afhænger af kørselsafstanden til næste destination, f.eks. ved indsamling af EPS i småt brændbart og kørsel til et forbrændingsanlæg. For at få et retvisende billede skal denne udgift til transport derfor udregnes specifikt fra case til case.

Til opstilling af en overordnet business case for en mulig værdikædestruktur, som altså skal opstilles specifikt fra genbrugsplads til genbrugsplads, kan en estimeret transportomkostning

på 2-6 kr. pr. kg EPS anvendes⁶. Udover denne transportomkostning haves en potentiel afgift på $\approx 0,43$ kr. pr. kg i forbrændingsafgift ved indsamling i f.eks. småt brændbart med henblik på forbrænding. Ved indsamling af løs EPS i en container haves hermed en samlet estimeret omkostning på $\approx 2,4-6,4$ kr. pr. kg EPS som indsamles.

Ved anvendelse af en EPS-container og fremstilling af EPS-blokke med henblik på efterfølgende genanvendelse, som demonstreret i projektet, kan estimeres en salgspris på 1,5-3,0 kr./kg EPS, som altså vil være en indtægt til den enkelte genbrugsplads.

I stedet for en udgift på 2,4-6,4 kroner pr. kg indsamlet EPS, haves altså en indtægt på 1,5-3,0 kroner til at finansiere en EPS container løsning på en genbrugsplads.

Ved indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads er der indsamlet 300 kg EPS pr. uge, hvilket giver en årlig indsamling på ≈ 15 tons EPS, som sandsynligvis vil være endnu højere ved yderligere fokus og reklame for løsningen på genbrugspladsen⁷.

Ved indsamling af løs EPS i en container på en genbrugsplads, som f.eks. Kirstinehøj Genbrugsplads, og efterfølgende forbrænding haves med ovenstående estimerer en samlet årlig udgift på (15.000 kg x (2,4-6,4 kr.)) \approx 36.000-96.000 kroner ved indsamling og efterfølgende forbrænding.

Ved indsamling i en EPS container og komprimering til EPS-blokke, som demonstreret i projektet, haves omvendt en indtægt på (15.000 kg x (1,5-3,0 kr.)) \approx 22.500-45.000 kroner pr. år.

Ifølge ovenstående estimerer og udregninger haves altså hermed også 58.500-141.000 kroner pr. år frigivet til finansiering og drift en EPS container på en genbrugsplads, som indsamler ≈ 15 tons EPS om året.

Som skrevet først i afsnittet er det nødvendigt at udarbejde en business case specifik fra case til case (genbrugsplads til genbrugsplads). Ved udregning af specifikke business cases fra genbrugsplads til genbrugsplads vil det i flere tilfælde vise sig muligt at implementere en EPS container på en genbrugsplads, som et tæt på omkostningsneutral i forhold til nuværende set up (vurderet ud fra ovenstående estimerer og betragtninger).

5.6 Arbejdspakke 6: Analyse af miljøeffekt samt etablering af roadmap for skalering af teknologi og videnformidling

Der skal sikres et miljøimpakt som skaber en rentabel cirkulær resurseøkonomi for EPS. Det er vigtigt at designe og udvælge et koncept for genanvendelse af EPS-affald, som opfylder alle krav gennem hele værdikæden, så løsningen kan opskaleres til egentlig serieproduktion, samt giver mulighed for yderligere opskalering på længere sigt ved anvendelse af EPS-affald fra bl.a. industri og byggeri, samt ved implementering af nationale løsninger (og evt. globale).

⁶ Scenarie for udregning: Transportomkostning af 1 container 400-1500 kroner, EPS materialet komprimeres let i container (f.eks. ved aflevering i småt brændbart) og estimeres her til at have en vægt på 260 kg pr. container (faktor 2 i forhold til ej komprimeret og løst indsamlet EPS).

⁷ I perioden med indsamlingsforsøget med EPS containeren på Kirstinehøj genbrugsplads er der stadig også set EPS i containeren med småt brændbart.

5.6.1 Aktivitet 6.1: Vurdering af miljøeffekt for udvalgt scenarie for genanvendelse af EPS fra genbrugspladser i Danmark

Ved indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads blev i gennemsnit indsamlet 300 kg EPS pr. uge. Dette svarer til en potentiel indsamling af EPS-affald på minimum 15 tons EPS om året alene på Kirstinehøj Genbrugsplads.

Fremstilling af 1 kg EPS/PS råvare estimeres at have CO₂-udledning på 2,5 kg CO₂⁸.

Fremstilling af 1 kg polystyren regranulat estimeres at have en CO₂-udledning på 0,735 kg CO₂, som anvendes til oprivning/heddelling, komprimering og regenerering til regranulat⁸.

Forbrænding af 1 kg EPS estimeres at have en CO₂-udledning på 3,3 kg CO₂⁸.

Ved indsamling, sortering, komprimering og regenerering af EPS affald til polystyren regranulat haves hermed en mulig reduktion i CO₂-udledningen på $(2,5-0,735) \approx 1,8$ kg CO₂ pr. kg EPS genanvendt i forhold til fremstilling af jomfrueligt materiale, samt $(3,3-0,735) \approx 2,6$ kg CO₂ pr. kg genanvendt EPS i forhold til forbrænding af det indsamlede EPS materiale (f.eks. indsamlet i småt brændbart).

Ovenstående betyder, at opstilling af en værdikæde og tilhørende scenarie, hvor

- 1) Amager Ressourcecenter opstiller en permanent EPS container på Kirstinehøj genbrugsplads til indsamling af EPS-affald og komprimering til EPS-blokke, efterfulgt af
- 2) Produktion af polystyren regranulat hos EPS Recycle ud fra de indsamlede EPS-blokke på Kirstinehøj Genbrugsplads, efterfulgt af
- 3) Produktion af nye produkter hos slutbrugere ud fra de fremstillede PS regranulater, som et alternativ til jomfrueligt EPS/PS materiale

giver en mulig CO₂-reduktion om året på $(15 \times 1,8) \approx 27$ tons i forhold til fremstilling af jomfrueligt EPS/PS råvare, samt yderligere $(15 \times 2,6) \approx 39$ tons reduktion i forhold til forbrænding af det indsamlede EPS affald.

Indsamling og fremstilling af EPS-blokke alene på Kirstinehøj Genbrugsplads, som alternativ til opsamling i småt brændbart og efterfølgende forbrænding, kan altså bidrage med en samlet CO₂-reduktion på op til ≈ 66 tons om året.

Undersøgelser foretaget for Amager Ressourcecenter viser, at der i Danmark eksisterer et potentiale for genanvendelse af EPS på op til 4.000 ton pr. år. Såfremt disse volumener på tilsvarende vis kan genanvendes ved ovenstående værdikæde/scenarie, som altså er demonstreret som en valid mulighed i projektet, haves en mulig CO₂ reduktion på ≈ 7.000 tons om året i forhold til fremstilling af jomfrueligt EPS/PS råvare, samt yderligere 10.000 tons reduktion af CO₂-udledningen om året i forhold til forbrænding af det indsamlede EPS affald.

En dansk værdikæde med EPS Recycle som producent af regranulat ud de indsamlede EPS-blokke fra danske genbrugspladser, kan også ændres til en værdikæde, hvor en kemisk solventbaseret genanvendelsesteknologi, som beskrevet i afsnit 5.2.4 anvendes. Dette vil være en egnet værdikæde og løsning for genanvendelse af forurenede EPS materialer, som f.eks. indeholder for store mængder af den bromerede flammehæmmer, HBCD, hvilket f.eks. kan være tilfældet med ældre EPS materialer anvendt til isoleringsplader i byggeri.

⁸ MST Miljøprojekt nr. 798, 2003

Den solventbaserede genanvendelsesteknologi, som er demonstreret i projektet hos Fraunhofer i Tyskland, vil ligeledes have en positiv miljøeffekt, hvilket fremgår af LCA udregninger udført af TÜV Rheinland i forbindelse med opførelsen af et kommende pilotanlæg til solventbaseret genanvendelse af netop EPS materialer⁹.

5.6.2 Aktivitet 6.2: Etablering af roadmap for skalering af teknologi og videnformidling

Med implementeringen af EPS Recycle som partner i projektet haves en producent, hvis forretningsgrundlag allerede i dag er baseret på genanvendelse af EPS materialer.

Ved indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads er demonstreret og eftervist, at den indsamlede og komprimerede EPS, har en kvalitet som er egnet til fremstilling og produktion af polystyren regranulat.

Der haves hermed også en veldefineret værdikæde, hvor de enkelte genbrugspladser kan indsamle og komprimere EPS-affald til EPS-blokke, som efterfølgende kan regenereres til polystyren regranulat hos EPS Recycle.

EPS Recycle har aftagere til deres polystyren regranulater, og der findes således også slutbrugere i værdikæden, hvilket er en forudsætning for skalering af teknologien.

Baseret på den udviklede prototype af en EPS container i projektet og indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads haves et validt grundlag hos EPS Recycle i forhold til produktion forskellige versioner af EPS containeren. De forskellige versioner er skræddersyet til de forskellige typer af genbrugspladser rundt i Danmark. Dette arbejde er allerede igangsat i kommercielle samarbejder mellem EPS Recycle og genbrugspladser i Danmark.

På de enkelte genbrugspladser haves ligeledes et grundlag og incitament i forhold til implementering af en EPS container, da implementering vil bidrage til store CO₂-reduktioner, samtidig med EPS containeren flere steder vil kunne implementeres tæt på omkostningsneutral i forhold til eksisterende set ups (se afsnit 5.5.1 i forhold til økonomi og 5.6.1 i forhold til miljø-impakt).

I forbindelse med projektafslutningen blev EPS containeren fremvist til et åben hus arrangement den 2. april 2019 på Kirstinehøj Genbrugsplads med deltagere fra flere interessenter fra både affaldssektoren og genanvendelsesindustrien.

Der haves således allerede tilkendegivelser og interesse fra en række andre genbrugspladser i Danmark, udover Amager Ressourcecenter, i forhold til implementering af EPS containeren, ligesom der også er initieret kontakt til byggeindustrien i forhold til mulig indsamling af EPS affald hos dem.

Endeligt er der også initieret kontakt og skabt interesse hos mulige samarbejdspartnere i udlandet i forhold til implementering af lignende løsninger, EPS containerne, hos dem.

Med ovenstående kontakter og interessenter i den udviklede EPS container, sammenholdt med de opnåede og dokumenterede resultater og kvaliteter i projektet, haves et solidt grundlag til at skalere genanvendelsen af udtjente EPS materialer, hvilket EPS Recycle, som primus motor, derfor også allerede er i gang med i forlængelse af dette MUDP projekt.

⁹ https://www.creacycle.de/images/2018.03.16_PSLoop_LCA.pdf

6. Evaluering af projektets succeskriterier

Hovedformålet har været, at projektet ved sin gennemførelse skaber grundlaget for et koncept for fremtidig kommerciel fremstilling og markedsføring af PS regranulater ud fra indsamlet EPS-affald i Danmark.

Hovedformålet i projektet er lykkedes med udvikling af en EPS container, som er egnet til at stå på danske genbrugspladser, og som kan producere EPS-blokke direkte ude på genbrugspladserne, som samtidig har en kvalitet til genanvendelse og brug i nye plastprodukter.

Tilsvarende er løsningen egnet til at blive placeret på øvrige lokationer, f.eks. i byggebranchen, hvor der haves store mængder af EPS affald.

Inden projektets begyndelse blev nedenstående delmål og tilhørende succeskriterier defineret i forhold til at opnå hovedformålet:

I tabellen er lavet en kort evaluering på projektets mål ved projektafslutning. For hver delmål er lavet en kort beskrivelse af resultatet ved projektafslutning.

TABEL 6.1: Projektets resultater ved projektafslutning

Projektets mål	Succeskriterier	Resultat ved projektafslutning
Demonstration af effektiv indsamlings- og sorteringsmodel til brug på genbrugspladser	Dokumentation af indsamlingsrater, som ved projektion udfør minimum 60% af det samlede vurderede indsamlingspotentiale	Med udviklingen af en EPS container, som kan producere komprimerede EPS-blokke direkte ude på de danske genbrugspladser, haves en løsning som kan anvendes til effektiv indsamling af EPS, og således også dække mere end 60% af det samlede indsamlingspotentiale på danske genbrugspladser ved fremtidig implementering. I demonstrationsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads har kunderne meget gerne ville aflevere deres udtjente EPS materialer i containeren, og ved yderligere reklame for løsningen (samt placering på genbrugspladsen) vil det være muligt at flytte endnu mere EPS/flamingo fra containeren med småt brændbart til EPS containeren. Ud fra indsamlingsforsøget estimeres et indsamlingspotentiale på minimum 80% at være realistisk på en genbrugsplads.

<p>Validering af kvalitetskrav til indsamling og sortering med henblik på maksimal udbytte og nyttiggørelse</p>	<p>Udarbejdelse af tekniske kravspecifikationer for indsamlede EPS-fraktioner, samt evaluering af de maksimale affaldsmængder, som opfylder dette til vurdering af gananvendelsesrate</p>	<p>Kvaliteten af EPS-blokkene fremstillet ved indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads er anvendt til produktion af polystyren regranulat, som har en kvalitet svarende til eksisterende polystyren regranulater, samt en kvalitet som på flere parametre er sammenlignelig med jomfruelige polystyren granulater. Resultaterne er opnået med den udviklede EPS container og tilhørende/udarbejdede brugermanual til genbrugsvejlederne på Kirstinehøj Genbrugsplads.</p>
<p>Udvikling af effektiv løsning til kompaktering, logistik og oprensning af EPS-fraktioner i henhold til kvalitetskrav</p>	<p>Begrundet valg af kompakteringsteknologi baseret på sammenlignende test, samt beskrivelse af den mest ressourceeffektive logistikløsning</p>	<p>Den udviklede EPS container giver en komprimering direkte ude på genbrugspladsen. Ved implementering af EPS containeren på genbrugspladser kan 46 lastbilkørsler årligt, hver med en last på 130 kg EPS, erstattes af en lastbilkørsel med 6 tons EPS. Samtidig giver EPS-blokkene et inputmateriale, som er egnet til efterfølgende ekstrudering til polystyren regranulat.</p>
<p>Udvikling af procesdesign for industriel oparbejdning af EPS til ny PS recyklater, som er kompatible med den eksisterende værdikæde for PS recyklater</p>	<p>Dokumentation for gennemførte eksperimenter på minimum pilot-skalaanlæg hos Teknologisk Institut og/eller industriskala hos AVL, samt pilotproduktion hos Fraunhofer IVV i Tyskland. Materialesystem for PS recyklater defineret, samt kompatibilitet med konventionelle PS materialer/recyklater, valideret</p>	<p>Der er produceret PS regranulat, som har en kvalitet som er kompatibel både med eksisterende PS regranulater, samt en række jomfruelige polystyren materialer. Der er udført demonstrationsforsøg hos Aage Vestergaard Larsen, EPS Recycle, Teknologisk Institut og Fraunhofer IVV.</p>
<p>Demonstration af slutanvendelse, samt etablering af business case for den samlede løsning og skalering af denne</p>	<p>Demonstration af minimum en produktcase inden for gartnerisektoren i et endeligt produkt samt opstilling af lønsom business case/koncept og roadmap for opskalering</p>	<p>Efter implementering af EPS Recycle i projektet haves en partner som allerede producerer og afsætter PS regranulater til slutbrugere. Det er her verificeret at kvaliteten af PS regranulaterne, produceret ud fra indsamlet EPS affald på danske genbrugspladser, kan afsættes og anvendes på tilsvarende vis som eksisterende PS regranulater produceret hos EPS Recycle. Gartnerisektoren har ikke været en del dette set up, hvorfor succeskriteret kun er delvist opfyldt. Der er opstillet et koncept, hvor en business case for de enkelte genbrugspladser skal udregnes fra case til case (genbrugsplads til genbrugsplads). Ved udregning af specifikke business cases fra genbrugsplads til genbrugsplads</p>

		<p>vurderes det i flere tilfælde at være en mulighed at implementere en EPS container på en genbrugsplads, som er tæt på omkostningsneutral i forhold til nuværende set up. Dette er et stærkt incitament og grundlag for skalering af løsningen og hermed øget genanvendelse af indsamlet EPS på genbrugspladser.</p>
--	--	--

I projektet har en meget stor udfordring været udviklingen af en EPS container, som kan anvendes til indsamling og komprimering af EPS/flamingo direkte ude på de danske genbrugspladser. Derfor er der også anvendt ekstra meget tid, flere resurser og økonomi til løsning af denne aktivitet i forhold til estimeret ved projektstart. Først ved implementering af Hawfisk/EPS Recycle i projektet, efter forsøg med flere andre partnere i første periode af projektet, lykkedes det at udvikle en egnet EPS container prototype.

Efter udvikling af prototypen, indsamlingsforsøget på Kirstinehøj Genbrugsplads, og efterfølgende oparbejdning af EPS-blokkene til en godkendt kvalitet af polystyren regranulat, som er egnet til anvendelse i nye produkter, er det demonstreret og dannet et grundlag for en fremtidig cirkulær ressourceøkonomi for EPS/flamingo indsamlet på danske genbrugspladser. Løsningen vil ligeledes være egnet til andre lokationer, f.eks. i byggebranchen, hvor der haves store mængder af EPS affald.

Bilag 1. Teknologi- og komprimatorløsninger

Bilag 1.1 Komprimering af Airpop/EPS - dokument udarbejdet af Amager Ressourcercenter

Muligheder

- En lille kompromator på alle gebrugspladser
- En stor komprimator for alle pladser
 - o Giver mulighed for også at indsamle for erhverv evt
- Indsamle PS + EPS sammen
 - o Løser ikke problem med densitet.

Udfordringer ift. genbrugsplads:

- Blandet materiale
- Sikkerhed!
- Støj
- Ikke behov for bemanning 24/7

Mængde fra alle pladser:

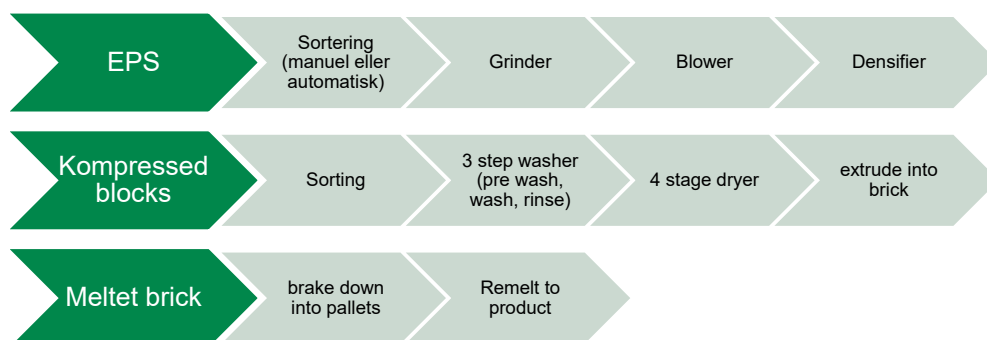
- Nu 100, potentiale: 200-300 ton / år. (alle pladser)

Priser

Hvad koster grindere/shreddere og/eller komprimatorer? Nye komprimatorsystemer - der omfatter både en shredder og en komprimator - koster \$18.000 - \$20.000 for enheder der kan processere 50 kg løs EPS pr. time. Disse systemer er bedst egnede til lokationer med mindre mængder af EPS affald. Større komprimeringssystemer, som kan processere 250 kg løs EPS pr. time koster omkring \$45,000 - \$50,000, og kan anvendes til lokationer med større mængder af EPS affald.

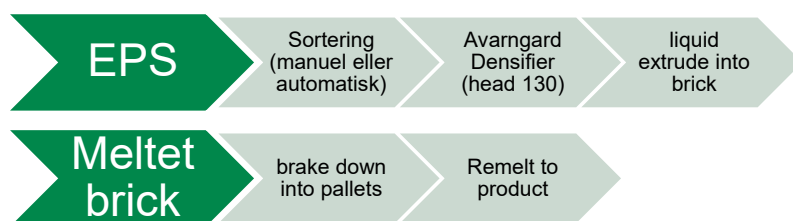
Proces 1:

<https://www.youtube.com/watch?v=UAYI8zrQQZo&feature=youtu.be>



Proces 2:

<https://www.youtube.com/watch?v=NP3xmfY6pUs>



Genanvendelsesproces for EPS:

De fire mest kendte og anvendte komprimatorer er henholdsvis hydrauliske-, termiske-, snække- og hybridkomprimatorer.

<http://www.homeforfoam.com/city-governments/recycling-resources/recycling-equipment>

<http://www.fpi.org/recyclefoam>

• Hydrauliske komprimatorer (hydraulic densifiers)

Hydrauliske komprimatorer anvender hydraulisk tryk til at komprimere EPS materialerne. Ved en kontinuerlig proces ekstruderes skummet til en tættere og komprimeret masse. Processen kan effektivt behandle forskellige densiteter af EPS på samme tid uden at EPS materialerne smelter i maskinen.

- [AFPAC Inc.](#), Granby, QC, Canada
- [Matrix Manufacturing](#), Ogden, UT
- [Sebright Products](#), Hopkins, MI

• Snækkekomprimator/Snækkekomprimatorer (screw drive densifiers)

Snækkekomprimatorer/snækkekomprimatorer anvender en snække/snegl til at trykke EPS materialet frem i et kammer, som ved en given tryk og hastighed, komprimerer EPS materialet til EPS blokke.

- [Comitec](#), Italy
- [GreenMax](#) (made by INTCO Recycling), Ontario, CA
- [Harden Machinery](#), China [In North America, sold through [F&M Plastics Machinery](#), New Castle, PA]
- [Hasswell Technologies](#), China
- [Heger](#), Germany [In North America, sold through [Foam Equipment & Consulting Co.](#), St. Louis, MO]
- [KBM](#), Denmark
- [Runi A/S](#), Denmark [In North America, sold through [OBC Baling](#), Cleveland, OH]

• Hybridkomprimatorer (hybrid densifiers)

Hybridkomprimatorer kombinerer det bedste fra snækkekomprimatorer og hydrauliske komprimatorer. Hybridkomprimatorer, som komprimerer EPS ved kolde temperature, anvender snækkeprincippet kombineret med hydraulisk tryk, til at komprimerer EPS materialerne uden smelting.

- [Avangard Innovative](#), Houston, TX
- [Technical Process & Engineering Inc.](#), Lehighton, PA

• Termiske komprimatorer (thermal densifiers)

Termiske komprimatorer anvender varme til at smelte EPS materialerne ind til en smeltet masse. De smeltede EPS materialer ekstruderes ud i lange baner/"reb"/"pølser" i containere. Den termiske komprimering er effektiv til at håndtere forskellige densiteter.

- [AFPAC Inc.](#), Granby, QC, Canada
- [Avangard Innovative](#), Houston, TX
- [Demand Products](#) ("Badger" brand), Alpharetta, GA
- [GreenMax](#) (made by INTCO Recycling), Ontario, CA
- [RecycleTech Corp.](#), Elmwood Park, NJ
- [StyroPower](#), Knoxville, TN
- [StyroSmart Solutions](#) ("StyroGenie" brand), Marietta, GA

<p>Strautmann (DE) / Microdan (DK) Volume reduction : Op til 1:97</p> <p>"De markedsfører sig med automatiserede EPS-brikette procesudstyr, hvor den komprimerede EPS automatisk transporteres videre efter kompaktering, f.eks. op i en container/silo/big-bag.</p> <p>Det er det danske firma Micodan som umiddelbart har agenturet i DK (tror jeg). På nedenstående link et videoeksempel med EPS kompaktering og transport op i en silo efterfølgende."</p> <p>http://www.strautmann-umwelt.de/english/Products/Briquetting%20presses.html http://www.strautmann-umwelt.de/english/Products/Briquetting%20presses/BrikPress.html http://www.micodan.dk/pictures_org/s_uwt_cutcompact_eng.wmv</p>	
<p>Miltek (DK) Volume reduction: 40:1</p> <p>The Mil-tek EPS 1800 Polystyrene Compactor is the ideal solution for compacting EPS6, the most commonly used form of Expanded Polystyrene (EPS, Styrofoam, airpop). Volume Reduction of 40:1 Blocks of up to 300 kg per m3 Compacts up to 70 kg. per hour Improved logistics and space savings Generate revenue while reducing costs</p> <p>http://www.mil-tek.com/product/mil-tek-eps1800-polystyrene-compactor</p>	
<p>Runi (DK) Volume reduction:</p>	

RUNI SK120 har en kapacitet på ca. 18 kg pr. time, og fodres typisk manuelt. Den anbefales til en årlig mængde på under 10 ton pr. år.

RUNI SK200 har en kapacitet på ca. 45 kg. pr. time og fodres typisk manuelt. Den anbefales til en årlig mængde på mellem 10 og 30 tons pr. år.

RUNI SK240 har en kapacitet på ca. 75 kg pr. time, og anbefales til en årlig mængde på mellem 30 og 50 tons pr. år.

RUNI SK370 har en kapacitet på ca. 200 kg pr. time, og anbefales ved årlige mængder af EPS på 50 ton eller mere.

Til SK240 og SK370 kan vælges en række forskellige tragte, oprivere, siloer, sensorer samt en guillotine til automatisk deling af de komprimerede blokke. Med disse tilbehør kan arbejdsgangen optimeres.



GreenMax – INTCO recycling (Kina)

Volume reduction: 50:1 (screw)

Volume reduction: 90:1 (heat)

<http://www.intcorecycling.com/How-to-recycle-polystyrene.html>

<http://www.intcorecycling.com/styrofoam-recycling-solutions.html>

Dansk Super Marked er kunde.

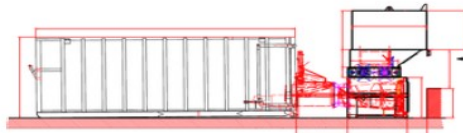
Obs. Dårlig anmeldelse:

<http://www.greenmaxrecycling.com/>



PRESTO GmbH & Co. KG / Shark

Fra pdf, se bilag 1.2



Heger ("the tiger" or "the lion")

Volume reduction: 50:1

The Heger THE LION line uses innovative technology to compress bulky foam waste (EPS (Styropor®), XPS, EPP and EPE) extremely efficiently into easy to manage, stackable blocks – with no re-expansion. THE LION is therefore the all-rounder of the compression systems. Even crushed PE foil pieces can be compressed into dimensionally stable blocks.

The extreme reduction in volume thus achieved (in the ratio of 50:1) does not only produce a considerable saving in transport and disposal costs, but the blocks produced can be also recycled as material, therefore contributing to a rapid amortisation.

http://www.heger-recycling.de/en_the-lion.html



Bramidan

<http://www.bramidan.dk/Affaldstyper/Ekspanderet-plast.aspx>

Volume reduktion:

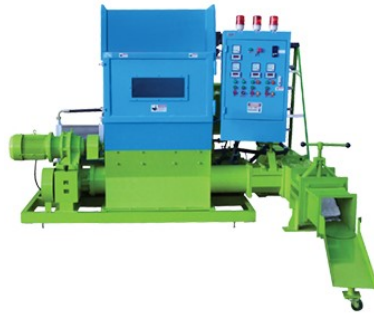
PS anvendes til mange forskellige formål og i mange forskellige brancher. EPS forekommer ofte i transportkasser til fødevarer som fx fisk, kød og grøntsager. Det bruges også til isolering og pakning af hårde hvidevarer og elektronisk udstyr.

EPS er et let materiale, men meget omfangsrigt. Dette betyder, at det optager meget plads ved opbevaring i en container.

Noget EPS-affald kan komprimeres i en ballepresser eller Falmingo/EPS komprimator eller en sneglekomprimator, mens andet kan neddeles i en granulator. Kontakt os for rådgivning om den bedste løsning.



	
<p>Bright Technologies – Sebright Products Inc. (US)</p> <p>https://www.sebrightproducts.com/products/bright-technologies/densifiers</p>	
<p>BADGER FD2000 STYROFOAM COLD COMPACTOR</p> <p>Volume reduction 60 to 1</p> <p>https://demandproducts.com/OWA/Product/Details/DPFD2000/001/dp/eps-styrofoam-compactor-2000-foam-cold-densifier-non-returnable-non-refundable</p>	
<p>FD Cold Compaction</p> <p>http://www.avaicg.com/products</p> <p>Volume reduktion: 60:1 (US)</p>	<p>(Forskellige typer)</p>



<http://www.polymax5000.com/> (US)



PolyMax 1500



Harden

<https://www.environmental-expert.com/products/harden-model-eps-foam-shredders-537817>



Gradeall - Model EPS – Baler

<https://www.environmental-expert.com/products/gradeall-model-eps-baler-414798>



Model 30X - [EPS](#) Continuous Ribbon Densifiers



Promeco (Italien)

<http://www.promeco.it/en/densificatore.html>

The densifier PROMECO (Promeco Extruder System) has the flexibility of the system can process different plastics as:

Mix plastics as scraps, industrial & commercial and waste plastics
Plastics (PE, HDPE, EPS, PP, PVC as foil shredded, powder or similar)
The densifier Promeco Extruder System is a short double screws extruder, that grind the input material thanks the double effect of friction and pressure that generate an important temperature increasing of the material into the extruder chamber.



<http://www.avaicg.com/products>
(US)

Volume reduktion: 90:1



Demand products - Badger

<https://demandproducts.com/OWA/Product/Marketing-Catalog?Level=04RECYCLIN&Level=RECYLCFOAM&Level=THERMAL-HEA&PathDesc=foam-recycling-foam-densifiers-thermal-heat-densifiers>



VITA - Model FD-35 - Air Pallets Recycling Machine

<https://www.environmental-expert.com/products/vita-model-fd-35-air-pallets-recycling-machine-298138>

AI - Model FD-3000 - styrofoam/polystyrene/EPS compactor

<https://www.environmental-expert.com/products/ai-model-fd-3000-styrofoam-polystyrene-eps-compactor-298147>



	
<p>RecycleTech' 1/90th of the original volume of its EPS form.</p>	
<p>StyroPower https://www.styropower.com/products/products/</p> <p>Reduction: 1:80</p> <ul style="list-style-type: none"> • Safe One Step Operation! • Automatic Locking for Safety! <p>Obs. Tager 5 timer.!</p>	

Styrofoam compactor

EPS compactor

Features and benefits

- Optimum pre-compaction by feeder systems PZZ or MZ 2
- Special pre-compaction channel allows compaction ratios as high as 1:25 or 1:30
- Effective pre-compaction neutralizes re-expansion and makes for container content weights up of at least 3.5 tons (SPB 30)

Container Pressen | Schneckenverdichter | Ballenpressen | Umlade- und Verschiebeanlagen | Hub-Kippvorrichtungen
Compactors | Auger Compactors | Balers | Transfer and Shifting Stations | Bin Lifters



**Styrofoam compactor
EPS compactor**



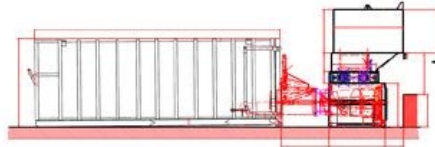
Guaranteed powerful performance

The robust steel construction and quality workmanship ensure a long service life and reliability.

The feeder system pulls the material into the machine and tears it to prepare it well for further processing in a compactor.

High-quality components ensure reliable function, low need for maintenance and low-noise operation at < 65 dB (A).

Of course our paints contain neither lead nor chromium, and you can select the colour of your choice.



		SPN 11	SPN 15	container		SPB 25	SPB 28	SPB 30
Length (L)	mm	1510	1510	Content	m ³	25	28	30
Width (B)	mm	1620	1620	Length (L)	mm	5450	6000	6540
Width (B) without coupling system	mm	1620	1620	Width (B)	mm	2420	2420	2420
Height (H)	mm	1250	1250	Height (H)	mm	2500	2500	2500
Dimension A	mm	1250	1250	Dist. container end to locking trunnion (V)	mm	3275	3555	3775
Feeding opening	mm	1225 x 1380	1225 x 1380	Machine weight	kg	3000	3100	3200
Auger speed	n/min	15	15	Skip containers upon enquiry				
Auger diameter	mm	800 / 500	800 / 500					
Rated torque	Nm	7004	9550					
Machine weight	kg	2200	2200					
Motor power rating	kW	11	15					
Electrical power supply		3 L / N / PE, 400 V, 50 Hz						

Subject to technical amendments

Bilag 2. Testkørsler hos Aage Vestergaard Larsen

Bilag 2.1 Testrapport udarbejdet af Aage Vestergaard Larsen

MUDP

Nyt liv til post-consumer isolering og emballager i EPS (Airpop)

MUDP TEST RAPPORT

Dato: 24-04-2017
Test beskrivelse: Ekstrudering og pelletering af komprimeret EPS bloke.
Maskine: NGR X-Gran 165 - Shredder/Ekstruder kombination.
Lot. No: 14436

Generelt:

De komprimerede blokke hældes direkte med i Shredderen som neddeler blokkene. Fra Shredderen presses det neddelte materiale ind i ekstruderen via en snekke. Ekstruderen plastificerer, homogeniserer, afgasser og filtrerer materialet. Efter ekstruderen granuleres til sidst i til et granulater.

Proces parametre:

- Shredder niveau 1: 100 A
- Shredder niveau 2 125 A
- Hastighed føde snekke: 5 – 50 Omdr.
- SP belastning føde snekke: 350 A
- Hastighed primær snekke: 45 Omdr.
- Filter mesh 20-40-20
- Rense tryk 120 bar
- Varme zone 1: 200 °C
- Varme Zone 2: 220 °C
- Varme zone 3: 240 °C
- Varme zone 4 – 12: 260 °C
- Varme zone dyse 210 °C

Procesbeskrivelse:

- Shredder og føde snekke kørte OK
- Afgasning acceptabel.
- Af frygt for manglende smøring grundet materialet er uden additiver, var temperaturen med vilje sat 20°C over normal
- Output varierede mellem 500 og 800Kg/t grundet løbende justeringer.
- Smelte temperatur 250°C
- Blokering af filter. På grund af forurening i materialet stoppede filterne meget hurtigt. Der blev fundet store træstykker i blikkene. Se fotos.
- Pelletering af granulater OK
- Visuelt ser granulateret OK ud

MUDP

Nyt liv til post-consumer isolering og emballager i EPS (Airpop)

Proceskommentarer:

- Maskinen processer materialet fint. Der var dog et varieret output, hvilket ikke er acceptabelt, men dette vil formentlig kunne forbedres ved yderlige fin justering på større mængder.
- Ved fremtidig drift bør EPS blokkene køres gennem metaldetektor tunnel, da der kan være store metalemner gemt inde i blokkene.
- Ligeledes skal sorteringen forbedres såfremt der bliver tale om permanent drift. Konventionel filterteknologi vil ikke kunne klare nuværende forureningsniveau. Avanceret selvrensende filterteknologi vil formegentlig kunne klare opgaven.

Anlægget:



Input materiale



Neddeling af EPS blokke i shredder



Afgasning via afgasnings zone



Output materiale



Eksempel på forurening i materialet.



Eksempel på tilstoppet filter på grund af træ



Nyt liv til post-consumer isolering og emballager i EPS

I MUDP projektet er udviklet en container, som kan neddele/shredde EPS (ekstruderet polystyren, Airpop) materialer og efterfølgende komprimere EPS materialerne til EPS-blokke direkte ude på genbrugspladserne i en container. Der er kørt demonstrations- og indsamlingsforsøg med en EPS prototype container på Kirstinehøj Genbrugsplads i Tårnby. Der er produceret nye materialer ud fra den indsamlede EPS på Kirstinehøj genbrugsplads ved termisk neddeling og ekstrudering, samt ved solventbaseret genanvendelse til polystyren regranulater. De opnåede kvaliteter af polystyren regranulaterne har været tilfredsstillende i forhold til afsætningsmuligheder, og hermed også i forhold til at muliggøre et cirkulært resursekredsløb for udtjente EPS materialer indsamlet på genbrugspladser. Såfremt der indsamles EPS fraktioner med for høje værdier af uønskede stoffer, f.eks. fra byggepladser, så er den kemiske solventbaserede genanvendelse, også demonstreret i projektet, en mulighed for sikring af den rette renhed og kvalitet af polystyren regranulaterne.

Projektet har demonstreret en værdikæde for genanvendelse af EPS materialer, som ved implementering på genbrugspladser kan give store CO₂-reduktioner. En genbrugsplads som indsamler 15 tons EPS om året, svarende til Kirstinehøj Genbrugsplads anvendt i indsamlingsforsøget i projektet, vil kunne bidrage til en estimeret CO₂-reduktion på 27 tons om året i forhold til fremstilling af jomfruelige polystyren råvarer.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk