



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Undersøgelse af fysiske urenheder i biopulp

Miljøprojekt nr. 2158

Januar 2021

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Bjørn Malmgren-Hansen, ph.d., Teknologisk Institut

Christian Holst Fischer, civilingeniør, Teknologisk Institut

Gitte Tang Kristensen, cand.scient., Teknologisk Institut

Peter Rosborg, civilingeniør, Teknologisk Institut

Emil Tveden Bjerglund, ph.d., Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-7038-261-8

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

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

Opsummering og konklusion	5
1. Introduktion og formål	8
1.1 Baggrund for projektet	8
1.2 Formål	9
1.3 Rapportopbygning	9
2. Prøveudtagning fra forbehandlingsanlæg	10
2.1 Oversigt over forbehandlingsanlæg	10
2.2 Metode for prøvetagning	10
2.3 Affaldstype og -sammensætning	10
2.3.1 Anlæg 1	11
2.3.2 Anlæg 2	11
2.3.3 Anlæg 3	12
2.3.4 Anlæg 4	13
2.3.5 Anlæg 5	13
2.3.6 Anlæg 6	14
3. Analyse for fysiske urenheder	16
3.1 Metode til bestemmelse af fysiske urenheder større end 2 mm (P1-P4)	17
3.1.1 Metodeindkøring af vaskeprocedure	18
3.2 Resultater af analyse for fysiske urenheder større end 2 mm (P1-P4)	18
3.2.1 Anlæg 1	18
3.2.2 Anlæg 2	19
3.2.3 Anlæg 3	20
3.2.4 Anlæg 4	22
3.2.5 Anlæg 5	24
3.2.6 Anlæg 6	25
3.3 Metode til bestemmelse af fysiske urenheder med størrelsen 1-2 mm (P3-P4)	27
3.4 Resultater af analyse for fysiske urenheder med størrelsen 1-2 mm (P3-P4)	28
3.4.1 Anlæg 1	28
3.4.2 Anlæg 2	29
3.4.3 Anlæg 3	31
3.4.4 Anlæg 4	32
3.4.5 Anlæg 5	33
3.4.6 Anlæg 6	34
3.5 Opsummering	37
Bilag 1. Modtaget affald på forbehandlings- og poleringsanlæg	39
Bilag 1.1 Anlæg 1	39
Bilag 1.2 Anlæg 2	40
Bilag 1.3 Anlæg 4	41
Bilag 1.4 Anlæg 5	42
Bilag 2. Bestemmelse af plastindhold og type	44
Bilag 2.1 Eksempler arealbestemmelse	44

Bilag 2.2	Eksempler på typiske plasttyper i biopulp	48
Bilag 2.3	FTIR-spektre af hyppigst forekommende plasttyper	51
Bilag 3.	Omregning	55

Opsummering og konklusion

Projektet 'Undersøgelse af fysiske urenheder i biopulp' havde til formål at vurdere kvaliteten af biopulp i forhold til indholdet af urenheder. Konkret var opgavens formål at:

- Undersøge indvirkningen af forbehandlingsanlæg (neddelingsprincip og separation/filtrering) og affaldstype på kvaliteten af biopulp
- Undersøge, om den nuværende metode til analyse af indhold af fysiske urenheder i biopulp er tilstrækkelig til at sikre mindst mulig spredning af fysiske urenheder i miljøet ved at:
 - Teste effekten af brug af en sigtestørrelse på 1 mm i stedet for 2 mm på mængden af fundne fysiske urenheder
 - Analysere sammensætningen af polymerer af plast, samt hvilke af disse der vurderes som bionedbrydelige.

Prøvetagning fra forbehandlingsanlæg

Indledningsvis blev en række forbehandlingsanlæg kontaktet med det formål at inkludere forskellige forbehandlingsteknologier samt typer af organisk affald med indhold af udefineret plast i undersøgelsen. I samarbejde med Miljøstyrelsen blev seks anlæg inkluderet i undersøgelsen (se TABEL 1).

TABEL 1. Oversigt over prøvetagningssteder.

Anlæg	Anlægstype	Affaldstype (overvejende)
1	Pulper	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
2	Pulper	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
3	Centrifugal + polering	Tidligere fødevarer + service/industri ¹
4	Pulper	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
5	Biogas → skruepresse	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
6	Før polering	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
	Efter polering	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald

2 mm-analyser – urenheder

I TABEL 2 er resultaterne for 2 mm-analyser opsummeret. Overordnet set viser analyserne, at:

- middelværdierne for alle seks anlæg overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % samt arealgrænseværdien på 1,0 cm²/% TS pr. l biopulp
- biopulp fra anlæg med poleringstrin (anlæg 3 og 6) generelt set har en meget høj renhed ift. biopulp fra konventionelle forbehandlingsanlæg (anlæg 1, 2 og 4)
- der på tilsvarende vis observeres en meget høj renhed for anlæg 5 omregnet til indhold i tilført 'renset pulp', hvor separationen af fysiske urenheder er foretaget efter den anaerobe ud-rådning.

¹ 'Tidligere fødevarer' er kasserede fødevarer eller emballager med indhold af disse fødevarer, mens 'service/industri' dækker over organisk affald fra køkkener/kantiner m.m. i bl.a. service- og industrihverv

² Bekendtgørelse nr. 1001 af 27/06/2018 om anvendelse af affald til jordbrugsformål.

TABEL 2. Opsummering af fysiske urenheder i henhold til bekendtgørelse (2 mm) for middelværdierne af delprøverne 1-4.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Anlæg 1	0,075 (0,01)	0,029 (0,02)	0,68 (0,43)
Anlæg 2	0,145 (0,07)	0,027 (0,01)	0,53 (0,19)
Anlæg 3 (poleret)	0,006 (0,01)	0,006 (0,01)	0,03 (0,02)
Anlæg 4	0,091 (0,04)	0,014 (0,01)	0,31 (0,1)
Anlæg 5 (omregnet)	0,0005 (0,0005)	0,0005 (0,0005)	0,013 (0,0095)
Anlæg 6 (poleret)	0,0004 (0,0004)	0,0004 (0,0004)	0,007 (0,005)

2 mm-analyse – plasttyper

Plasttypebestemmelserne for 2 mm-analyserne viste, at der er god overensstemmelse mellem affaldsposetyper og de resulterende plasttyper i biopulpen. Således er der generelt en hovedandel af plastposer (enten LDPE- eller bioposer) i biopulpen. Indholdet af bionedbrydelig plast udgøres udelukkende af bioposer af Mater-Bi³ og genfindes kun i de områder, hvor denne plastpose anvendes. For alle forbehandlingsanlæg ses der herudover eksempler på en række andre plasttyper:

- PP og PVC i folieform
- PS i folieform og opskummet form (flamingo)
- PUR-skum, muligvis fra skumvaskeklude
- Mindre mængder PA og PET.

1 mm-analyse – urenheder

I TABEL 3 er resultaterne for analyserne af plast ned til 1 mm opsummeret.

TABEL 3. Opsummering af indhold af fysiske urenheder inklusive størrelsesfraktionen 1-2 mm⁴.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/l biopulp	Forøgelse af samlet plast- areal (%)
Anlæg 1	0,0295	0,325	0,354	9,1
Anlæg 2	0,052	0,497	0,549	10,5
Anlæg 3 (poleret)	0,056	0,018	0,074	305
Anlæg 4	0,03	0,295	0,325	10
Anlæg 5 (omregnet)	0,12	0,014	0,14	874
Anlæg 6 (poleret)	0,01	0,01	0,02	107

³ Mater-Bi er et handelsnavn for Novamonts serie af bionedbrydelig plast (biokomposterbar), som bl.a. anvendes i bioposer til indsamling af organisk affald.

⁴ Middelværdi af delprøverne 3 og 4 for hvert anlæg.

Overordnet set viser resultaterne, at:

- Forbehandlingsanlæg, hvor plastarealet af partikler >2 mm, er tæt på grænseværdien for plastareal:
Der ses 9-11 % forøgelse af plastarealet ved foruden plastfraktionen med partikelstørrelse >2 mm at inkludere plastfraktionen med partikelstørrelse 1-2 mm (anlæg 1, 2 og 4). Altså er der kun en mindre forøgelse i plastarealet ved inkludering af 1-2 mm-fraktionen, og for de inkluderede forbehandlingsanlæg en ubetydelig indvirkning på, om de overholder plastarealgrænseværdien.
- Forbehandlingsanlæg, hvor plastarealet af partikler >2 mm, er langt fra grænseværdien for plastareal:
Der observeres en stor procentuel forøgelse af plastareal (anlæg 3, 5 og 6). Den relative arealforøgelse er dog mindre end for upolerede prøver. Således er de polerede biopulpprøver under grænseværdien for plastareal, når 1-2 mm-fraktionen inkluderes.

1 mm-analyse – plasttyper

Fordelingen af ikke-bionedbrydelig plast i 1-2 mm-fraktionen er i grove træk sammenlignelig med plastfordelingen for plast >2 mm forstået således, at plast, som findes i større mængder i fraktionen >2 mm, også genfindes som små partikler i fraktionen 1-2 mm. Det formodes, at der også vil være rester af bionedbrydelig plast (Mater-Bi) for fraktionen 1-2 mm for de anlæg, hvor denne plasttype anvendes til indsamling af affaldet. Dog har det ikke været muligt at bestemme mængden af bionedbrydelig plast grundet den anvendte oprensningstype.

I projektet blev der yderligere dokumenteret en god effekt af to anvendte poleringstrin:

- Effekten af et poleringstrin i anlæg 3 har vist en reduktion i fysiske urenheder på ca. en faktor 12 (vægtbaseret) for plast >2 mm
- Effekten af et poleringstrin i anlæg 6 er meget stor med en reduktion på ca. 200 gange (arealbaseret) for indhold af plast >2 mm og på 90 gange for plast >1 mm.

Sammenligning af 1 mm-analyse ift. 2 mm-analyse

1 mm-analysen er ift. den gængse 2 mm-analyse meget arbejdstung, idet en oprensningstype er påkrævet for at kunne udsortere de fysiske urenheder fra andet organisk materiale, som tilbageholdes på sigten ifm. analysen. Der ses kun en mindre forøgelse af plastarealet for de inkluderede forbehandlingsanlæg, hvor plastarealet i forvejen er relativt tæt på arealgrænseværdien, hvorfor en udsortering til 1 mm vurderes for omfattende at etablere i forhold til den ekstra mængde plast i størrelsesordenen 10 %, som findes for anlæg 1, 2 og 4.

1. Introduktion og formål

1.1 Baggrund for projektet

Ressourcestrategien, Danmark uden affald, har et overordnet mål om 50 % genanvendelse i 2022 af syv udvalgte fraktioner i husholdningsaffald (organisk affald, papir-, pap-, glas-, plast-, træ- og metalaffald). Det organiske affald udgør næsten halvdelen af den totale dagrenovationsmængde (40-45 %). Målsætningen kan kun nås, hvis hovedparten af den organiske fraktion genanvendes, og fra 2021 bliver det lovpligtigt for alle kommuner at indsamle madaffald som den ene af i alt ti fraktioner.⁵

Den organiske fraktion anses som genanvendt, når ressourcerne er udlagt på landbrugsjord.⁶ Det nyligt reviderede affaldsrammedirektiv indeholder også et mål om 55 % genanvendelse i 2025, 60 % i 2030 og 65 % i 2035 samt et krav om separat indsamling af bioaffald inden udgangen af 2023.⁷ I 2015 blev ca. 7 % af det organiske affald i dagrenovationen på landsplan kildesorteret til central biologisk behandling (primært til biogasanlæg) og efterfølgende anvendt som gødning og jordforbedringsmiddel.⁸

I juni 2020 indgik Folketinget en ny aftale om affaldssortering, som blandt andet betyder, at danskere skal udsortere ti forskellige typer affald. Ressourcestrategien og den netop indgåede aftale bevirker, at en stadig stigende mængde særskilt indsamlet køkken- og madaffald bliver indsamlet. Den hyppigst anvendte metode til behandling af særskilt indsamlet køkken- og madaffald er forbehandling af særskilt indsamlet køkken- og madaffald til en biopulp, som efterfølgende anvendes til bioforgasning, hvorefter det afgassede materiale udbringes på mark. Det er derfor forventeligt, at der over de kommende år vil blive opført flere forbehandlingsanlæg til særskilt indsamlet køkken- og madaffald.

I forbindelse med udbringning af det organiske affald på landbrugsjord er der stort fokus på kvaliteten af biopulp og et særligt fokus på indholdet af fysiske urenheder. Affald til jordbekendtgørelsen² fastsætter således krav til indholdet af fysiske urenheder (plast, glas og komposit), specifikt i biopulp fra forbehandlet særskilt indsamlet køkken- og madaffald, og i kompost. Grænseværdierne gælder alene indhold af urenheder i form af plast, som er større end 2 mm, og der skelnes ikke mellem forskellige typer af plast. Der er i dag kun begrænset viden om indhold af plast under 2 mm i biopulp.

Biopulpen fremstilles i dag med forskellige neddelings- og separationsteknikker, og der foreligger kun begrænset information om, hvordan typen af forbehandlingsanlæg påvirker kvaliteten af biopulpen.

⁵ Aftale mellem regeringen (Socialdemokratiet) og Venstre, Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Liberal Alliance og Alternativet om Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi, 2020. <https://www.regeringen.dk/media/9591/aftaletekst.pdf>

⁶ Danmark uden affald, Genanvend mere, forbrænd mindre. Ressourcestrategien. https://mst.dk/media/mst/Attachments/Ressourcestrategi_DK_web.pdf

⁷ 2008/98/EF, 2018/851

⁸ Kortlægning af forbehandlings- og biogaskapacitet af organisk affald, Miljøprojekt nr. 1728, 2015, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

1.2 Formål

Projektet skal vurdere kvaliteten af biopulp i forhold til indholdet af urenheder. Resultaterne af projektet skal belyse indholdet af fysiske urenheder i biopulp fra forskellige anlæg, og resultaterne kan anvendes til at vurdere, hvorvidt de nuværende forbehandlingsmetoder er tilstrækkeligt effektive til at sikre en reduktion af fysiske urenheder i biopulpen. Konkret er projektets formål at:

- Undersøge indvirkningen af forbehandlingsanlæg (neddelingsprincip og separation/filtrering) og affaldstype på kvaliteten af biopulp
- Undersøge, om den nuværende metode til analyse af indhold af fysiske urenheder i biopulp er tilstrækkelig til at sikre mindst mulig spredning af fysiske urenheder i miljøet ved at:
 - Teste effekten af brug af en sigtestørrelse på 1 mm i stedet for 2 mm på mængden af fundne fysiske urenheder
 - Analysere sammensætningen af polymerer af plast, samt hvilke af disse der vurderes som bionedbrydelige.

1.3 Rapportopbygning

Nærværende rapport er opbygget i følgende hovedafsnit:

- Sampling af prøver fra forbehandlingsanlæg
 - Oversigt over forbehandlingsanlæg
 - Prøvetagningsmetodik
- Analyse for fysiske urenheder
 - >2 mm – metode
 - >2 mm – resultater
 - 1-2 mm – metode
 - 1-2 mm – resultater
- Opsummering.

2. Prøveudtagning fra forbehandlingsanlæg

2.1 Oversigt over forbehandlingsanlæg

Indledningsvis blev en række forbehandlingsanlæg kontaktet med det formål at inkludere forskellige forbehandlingsteknologier samt typer af organisk affald med indhold af udefineret plast i undersøgelsen. I samarbejde med Miljøstyrelsen blev seks anlæg inkluderet (se TABEL 4). De deltagende anlæg er efter ønske anonymiseret, hvorfor der i rapporten refereres til anlæggene med anlægsnummer i henhold til nedenstående tabel.

TABEL 4. Oversigt over prøvetagningssteder.

Anlæg	Anlægstype	Affaldstype (overvejende)
1	Pulper	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
2	Pulper	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
3	Centrifugal + polering	Tidligere fødevarer + service/industri ⁹
4	Pulper	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
5	Biogas → skruepresse	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
6	Før polering	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald
	Efter polering	Særskilt indsamlet køkken- og madaffald

2.2 Metode for prøvetagning

Der blev i undersøgelsen anvendt to metoder til prøvetagning.

For anlæggene med kontinuert forbehandling og pumpning til lagertank (anlæg 1, 2 og 4) blev følgende metodik anvendt: For at sikre, at prøvetagningen var så repræsentativ som muligt, blev der udtaget fire delprøver på 10-20 kg under forbehandlingen af den pågældende affaldstype. Prøverne blev udtaget med 10-15 minutters mellemrum, så den samlede delprøve blev taget over en times produktion. Fra hver delprøve blev der derefter udtaget 2 kg under kraftig omrøring. De fire udtagne delprøver blev derefter blandet under kraftig omrøring, hvorefter en samleprøve på 4 kg blev udtaget til videre analyse. Samleprøven blev delt i to, hvoraf den ene blev anvendt til analyse, og den anden blev nedfrosset til evt. senere kvalitetskontrol.

For de resterende forbehandlingsanlæg (3, 5 og 6) er der imellem forskellige procestrin store dødvolumener¹⁰, hvorfor prøvetagningen adskiller sig fra ovenstående. Prøvetagningsmetodikken for disse anlæg er beskrevet ifm. beskrivelsen af affaldstypen i det efterfølgende afsnit.

2.3 Affaldstype og -sammensætning

Forbehandlingsanlæg i Danmark håndterer mange forskellige typer af organisk affald, som fremkommer ved forskellige indsamlingsmetoder hos forskellige typer af kunder. Særskilt indsamlet køkken- og madaffald kan indsamles i både biposer, papirposer, almindelige genbrugsposer og selvvalgte poser afhængigt af området, og tilsvarende er der også stor forskel på emballagetyperne for tidligere fødevarer (glas, hård plast, folie).

⁹ Tidligere fødevarer er kasserede fødevarer eller emballager med indhold af disse fødevarer, mens service/industri dækker over organisk affald fra køkkener/kantiner m.m. i bl.a. service- og industrierhverv.

¹⁰ Et dødvolumen kan fx udgøres af en biogasreaktor, hvori biopulpen doseres og opblandes i, inden fraktionering af fysiske urenheder (anlæg 5)

Derfor varierer emballeringen af det organiske affald ofte meget, selv inden for samme affaldstype, hvilket markant påvirker både mængden og typen af fysiske urenheder i biopulpen. Ifm. prøvetagning ved hvert forbehandlingsanlæg, blev sammensætningen af det organiske affald, som biopulpen på hvert anlæg stammer fra, vurderet/karakteriseret. Til dette formål blev der indsamlet oplysninger i et skema, hvor der for hver kilde til organisk affald var mulighed for at angive:

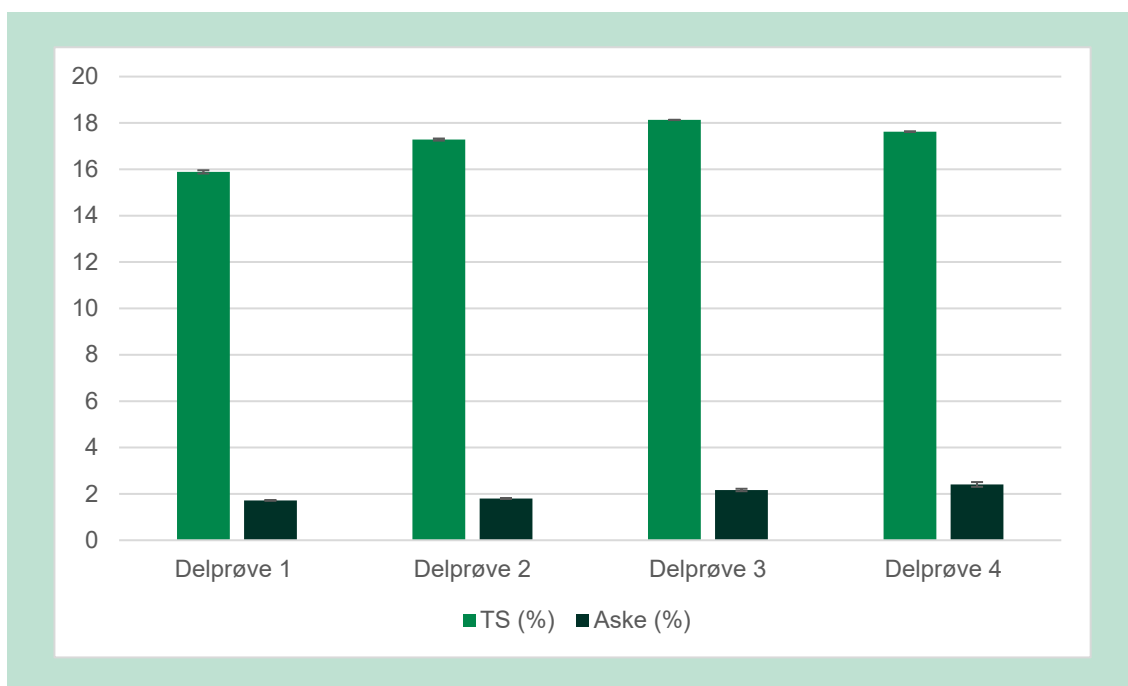
- Estimeret vægtandel af behandlet mængde
- Emballagetype
- Risiko for indhold af urenheder, der ikke er emballage.

Kilder til organisk affald kan udover særskilt indsamlet køkken- og madaffald fx være organisk affald fra storkøkkener m.m. samt udløbne eller fejlbehæftede, kasserede fødevarer fra fx fabrik, lager eller butik. I de følgende afsnit er data vedrørende affaldssammensætningen inkluderet i beskrivelsen for hvert enkelt anlæg.

2.3.1 Anlæg 1

Prøverne blev udtaget umiddelbart efter hver pulpning, og hver delprøve fremkom ud fra forbehandling af ca. 9 tons affald. Affaldet består af 90 % særskilt indsamlet køkken- og madaffald med indhold af forskellige posetyper samt 10 % industriaffald i overvejende hård emballage.

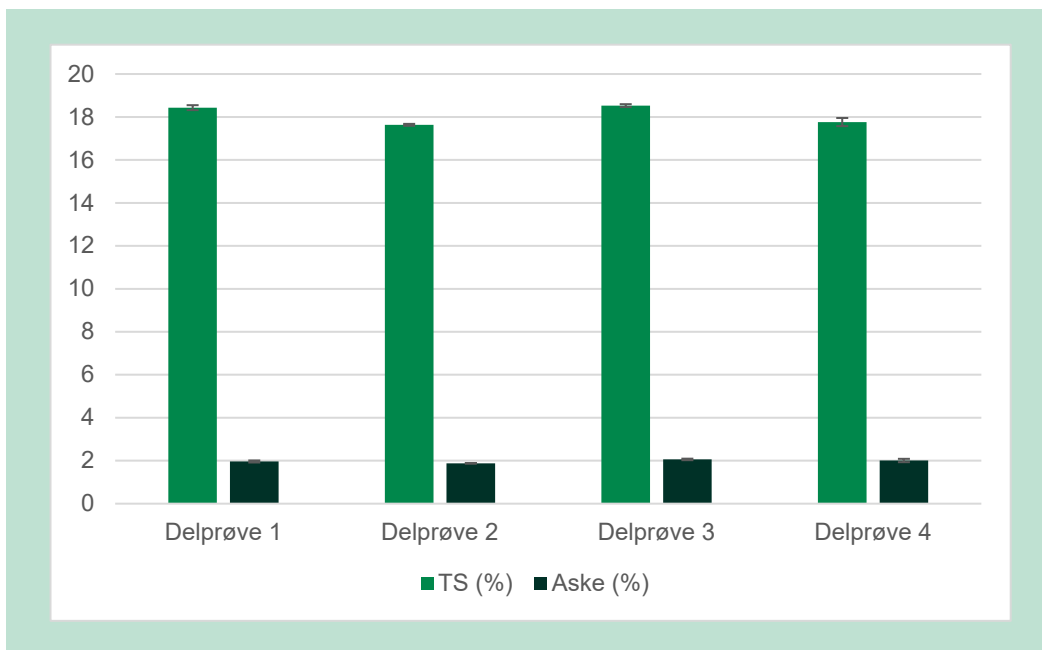
Som det fremgår af FIGUR 1, varierer tørstofindholdet i prøverne fra 15,9 % til 18,1 % og askeindholdet fra 1,7 % til 2,4 %.



FIGUR 1. Tørstof- og askeindhold i delprøver fra anlæg 1.

2.3.2 Anlæg 2

Prøverne blev udtaget umiddelbart efter hver pulpning, og hver delprøve fremkom ud fra forbehandling af ca. 9 tons affald. Affaldet består overvejende af særskilt indsamlet køkken- og madaffald med indhold af forskellige posetyper. Som det fremgår af FIGUR 2, varierer tørstofindholdet i prøverne fra 17,6 % til 18,5 % og askeindholdet er omkring 2 % i alle prøver.

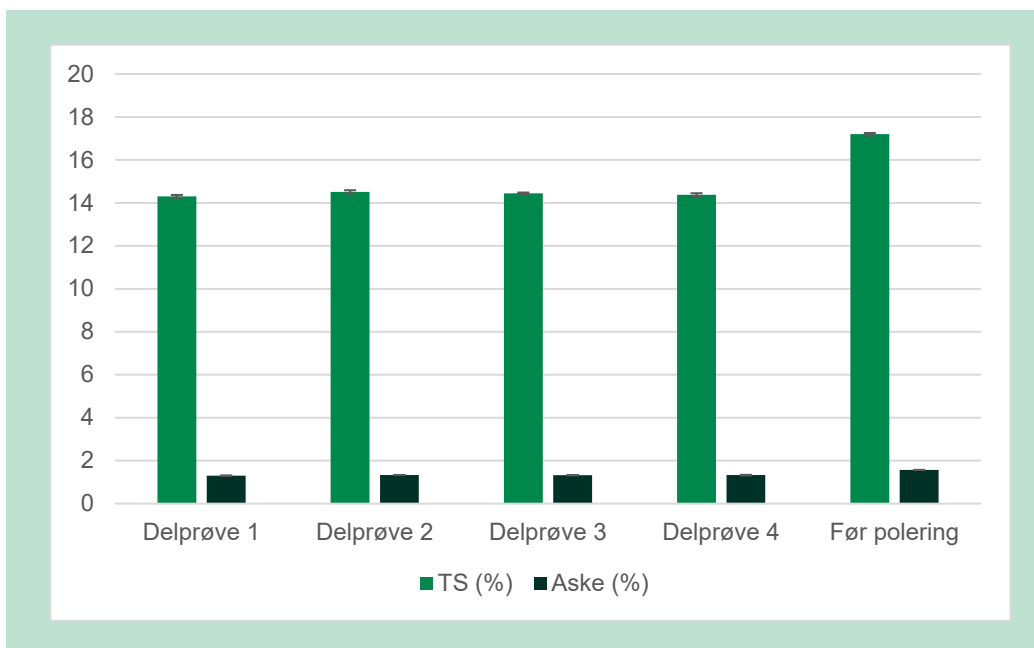


FIGUR 2. Tørstof- og askeindhold i delprøver fra anlæg 2.

2.3.3 Anlæg 3

Prøverne blev udtaget umiddelbart efter et poleringstrin¹¹ fra en prøveudtagningsbeholder på 150 liter, hvortil der løbende blev udtaget prøver i løbet af en uge. Beholderen var i forbindelse med udtagning af prøverne omrørt og opvarmet. I perioden, hvor biopulpen blev produceret, blev der behandlet en blanding af særskilt indsamlet køkken- og madaffald, køkken-/madaffald og tidligere fødevarer fra butik, lager og fabrik. Delprøverne af den polerede biopulp varierer kun meget lidt i tørstofindhold (14,3-14,5 %) og askeindhold (1,3 %). I tillæg til de polerede biopulprøver blev der udtaget en enkelt ikke-poleret prøve af biopulp, som viser en anelse højere tørstofindhold (se FIGUR 3).

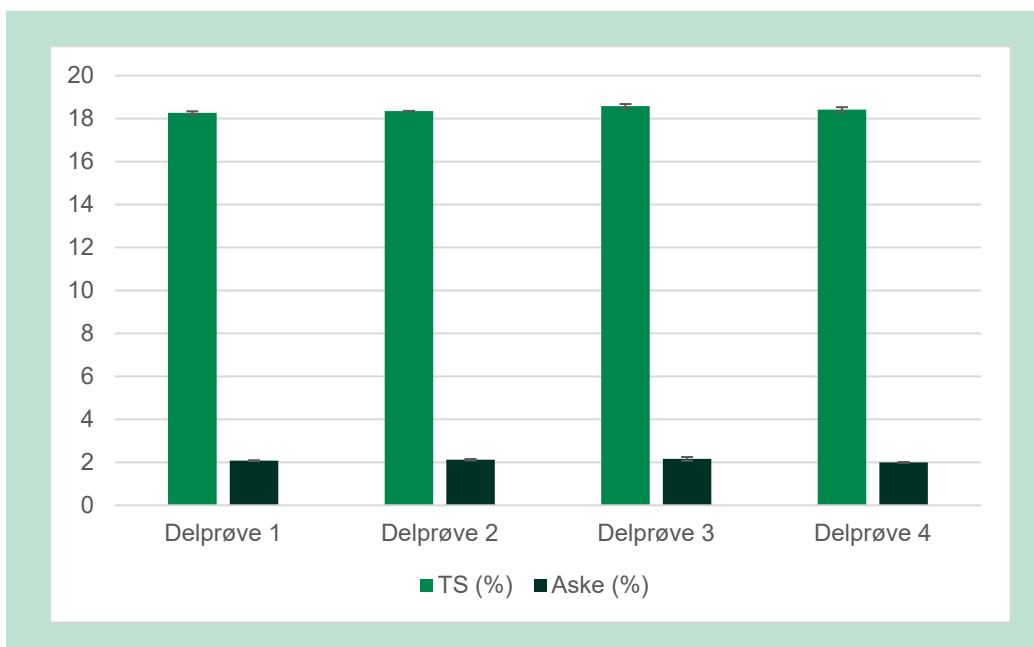
¹¹ Et poleringstrin er et ekstra oprensningstrin, som fjerner fysiske urenheder.



FIGUR 3. Tørstofindhold i delprøver fra anlæg 3.

2.3.4 Anlæg 4

Prøverne blev udtaget fra en mindre blandetank placeret umiddelbart efter pulperen, hvor indholdet blev udskiftet ca. en gang i timen. Hver delprøve fremkom ud fra ca. 9 tons affald. Affaldet består overvejende af særskilt indsamlet køkken- og madaffald med indhold af forskellige posetyper. Som det fremgår af FIGUR 4, varierer tørstof- og askeindholdet i delprøverne meget lidt.

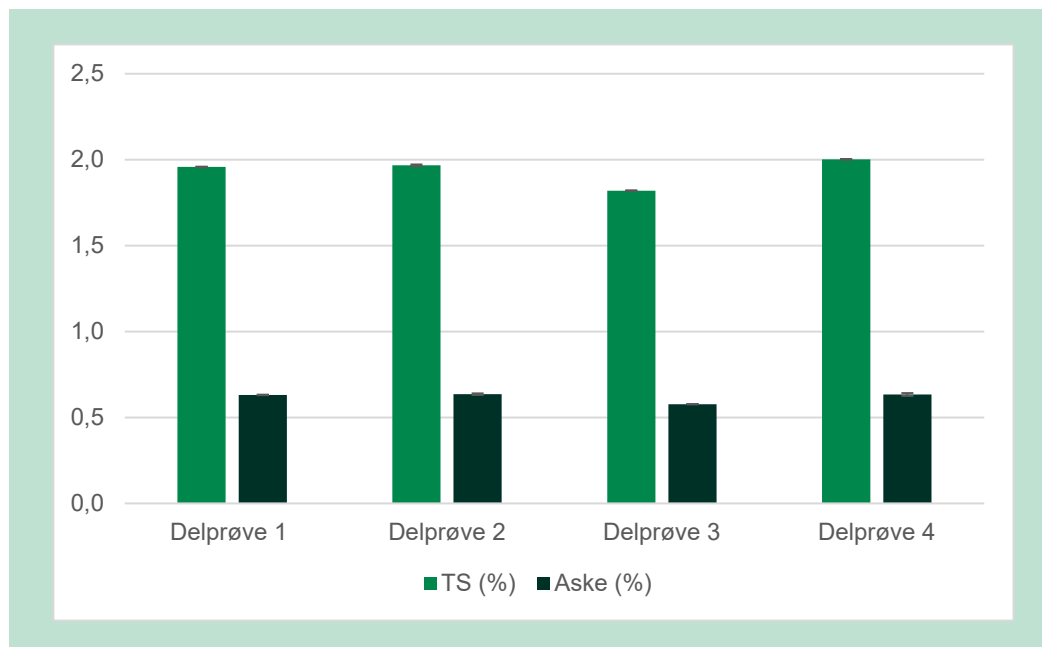


FIGUR 4. Tørstof- og askeindhold i delprøver fra anlæg 4.

2.3.5 Anlæg 5

Dette anlæg adskiller sig væsentligt fra de resterende anlæg, idet grovneddelt organisk affald indsamlet i papirposer neddeles yderligere ved iblanding af slam fra spildevandsanlægget.

Herefter indpumpes blandingen til en termofil rådnetank. Fra afgangen af rådnetanken udsorteres plast og andre urenheder over en skruepresse med en 600-800 µm sigte. Prøverne blev udtaget umiddelbart ved afløbet fra skruepressen. Efter skruepressen undergår biopulpen og slammet efterfølgende videre biologiske og kemiske behandlinger. Affaldet opblandes med slam i forholdet 1:10, hvorfor udgangsmaterialet efter skruepresse kun indeholder 10 % organisk affald, hvilket også betyder, at tørstof- og askeindholdet i prøverne er lavt (FIGUR 5).

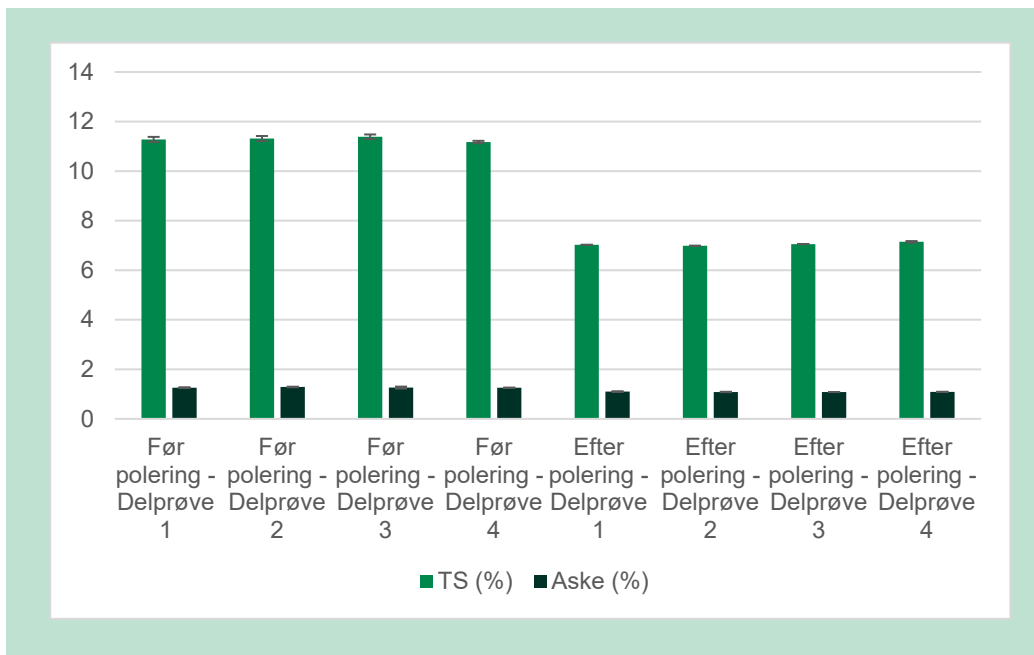


FIGUR 5. Tørstof- og askeindhold i delprøver fra anlæg 5.

2.3.6 Anlæg 6

Anlæg 6 er et poleringsanlæg til oprensning af biopulp. Poleringsanlægget modtager biopulp fra et konventionelt forbehandlingsanlæg. Idet biopulpen poleres inden anvendelse, anvendes der ved det pågældende forbehandlingsanlæg en større sigtestørrelse end man typisk ville anvende på et sådant forbehandlingsanlæg uden polering, idet kapaciteten på anlægget dermed øges betragteligt. Dette medvirker dog også til, at indholdet af fysiske urenheder fra forbehandlingsanlægget er højere end det kunne have været, hvis forbehandlingsanlægget anvendte en mindre sigtestørrelse.

Forbehandlingsanlægget behandler overvejende særskilt indsamlet køkken- og madaffald, som indsamles i forskellige plastposer. Poleringsanlægget reducerer tydeligvis tørstofindholdet i biopulpen (fra 11 % til 7 %), se FIGUR 6. Dette skyldes, at der ifm. poleringen fjernes en del organisk materiale. Delprøverne blev udtaget fra hhv. en stor blandetank på forside og på bagside af poleringsanlægget.



FIGUR 6. Tørstof- og askeindhold i delprøver fra anlæg 6.

3. Analyse for fysiske urenheder

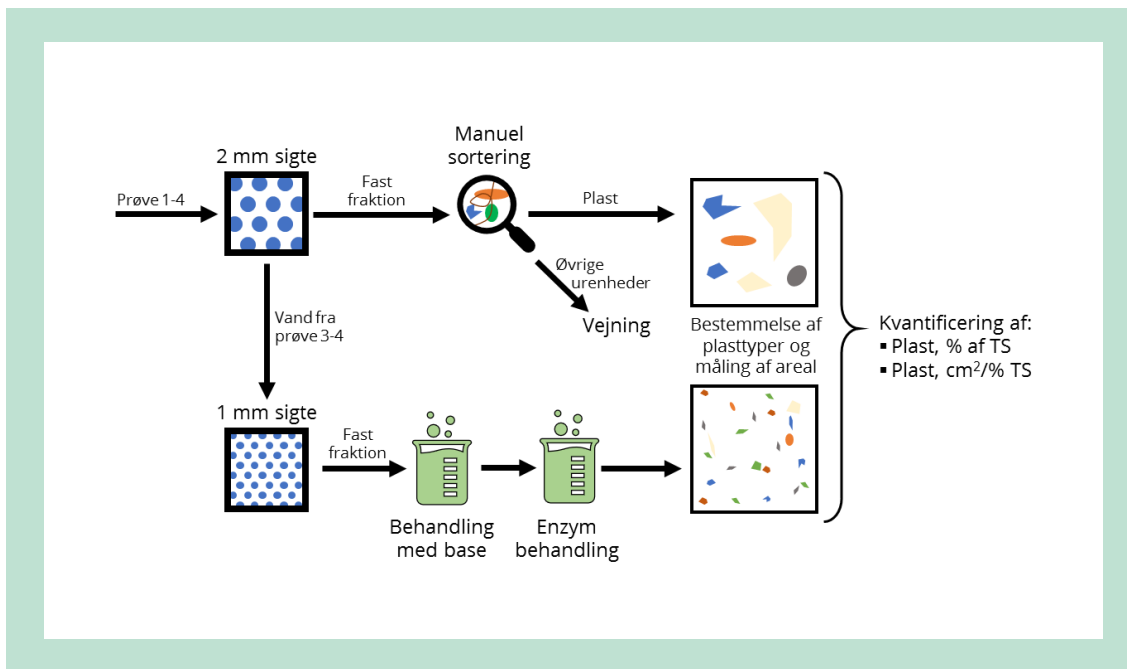
Fra hvert forbehandlingsanlæg blev der udtaget fire delprøver (P1-P4). Alle delprøver blev analyseret for fysiske urenheder med partikelstørrelse ned til 2 mm, og to af prøverne (P3-P4) fra hvert anlæg blev yderligere analyseret for fysiske urenheder med partikelstørrelse ned til 1 mm (se FIGUR 7). Ved at analysere alle fire prøver ned til 2 mm opnås der et godt sammenligningsgrundlag.

Anlæg 1	P1	P2	P3	P4
Anlæg 2	P1	P2	P3	P4
Anlæg 3	P1	P2	P3	P4
Anlæg 4	P1	P2	P3	P4
Anlæg 5	P1	P2	P3	P4
Anlæg 6	P1	P2	P3	P4
Anlæg 7	P1	P2	P3	P4
	Analyse til 2 mm		Analyse til 1 mm	

FIGUR 7. Overblik over analyser.

I FIGUR 8 er arbejdsflowet for analysearbejdet indikeret. P1-P4 blev alle analyseret for urenheder ned til en størrelse på 2 mm, og de fysiske urenheder bestemmes som urenheder totalt i % af tørstof (TS), urenheder af plast i % af TS og som $\text{cm}^2/\%$ TS pr. I biopulp (se afsnit 3.1). Endvidere blev plasttypen af det udfoldede plast bestemt mhp. at vurdere, om platen er bionedbrydelig, og hvilken andel bionedbrydelig plast udgør af den samlede plastmængde.

Permeatvandet fra P3-P4 blev opsamlet og overført til sigte med 1,0 mm runde huller. For at sikre effektiv og valid spektroskopisk bestemmelse af plasttyperne i denne fraktion blev prøverne oprenset (base og enzymer) for at fjerne organisk materiale, som ikke er plast. Mængden og typen af fysiske urenheder blev bestemt for derved at få information om, hvor stor en andel af de fysiske urenheder i prøven der udgøres af partikler mellem 1 og 2 mm (se nærmere beskrivelse af renseprocedurer m.m. i afsnit 3.3).



FIGUR 8. Workflow for prøvebehandling og analyse til hhv. 2 mm og 1 mm. Der måles plast i % af TS og $\text{cm}^2/\% \text{TS}$ i biopulp ned til 2 mm for alle fire prøver og yderligere ned til 1 mm for prøve 3-4. Andelen af urenhederne, der stammer fra fraktionen mellem 1 og 2 mm, opgives separat.

3.1 Metode til bestemmelse af fysiske urenheder større end 2 mm (P1-P4)

Metoden til bestemmelse af fysiske urenheder er baseret på Teknologisk Instituts analysemetode 'Bestemmelse af renhed af pumpbar pulp eller fast våd biomasse produceret ud fra organisk affald med henblik på efterfølgende dosering til bioforgasningsanlæg', version 2 fra 22. august 2016. I metoden indgår valgmuligheder mht., hvordan analysen kan udføres, hvorfor den anvendte metode er beskrevet nedenfor:

- Der udføres dobbeltbestemmelse af tørstof på hver prøve.
- Der afvejes 1 kg pulp.¹² Den afvejede vægt noteres. Da prøverne nemt faseadskiller, omrøres prøverne under overførsel.
- Prøven overføres til en sigte med 2,0 mm runde huller under overbrusning med lunt vand under grundig vending af prøvematerialet.
- Permeat fra overbrusningen (vasketrin 1) opsamles til analyse af fysiske urenheder mellem 1 og 2 mm for de prøver, hvor dette kræves.
- Den faste fraktion (retentatet) fra sigtningen overføres til aluminiumbakke og tørres i ca. 1 døgn ved maks. 60° C.
- Under tørringen vendes prøven (retentatet) for at minimere sammenfiltring.
- Alle urenheder i form af plast, metal, glas, keramik, gummi og genkendelige tekstilfiberstykker frasorteres herefter ved visuel inspektion.
- Efter bestemmelse af plasttype og sortering herefter (se nedenfor) vejes plasten, ligesom totalmængden af urenheder vejes.
- Afslutningsvis fotograferes plast, og arealet bestemmes ved brug af Teknologisk Instituts software til arealbestemmelse.

¹² For anlæg 5 er der anvendt en større prøvemængde for at kompensere for opblandingen med andet organisk materiale.

I tillæg til den traditionelle 2 mm-analyse blev plasttyperne i den frasorterede plast efterfølgende bestemt. Plasttypen blev bestemt ved brug af infrarød (IR) spektroskopi med ATR-metoden (Attenuated Total Reflectance), med 16 gentagelser og en opløsning på 2 cm⁻¹ på et Agilent Model 4500a FTIR-spektrometer efterfulgt af spektral sammenligning med BioRad KnowItAll materialedatabasen,¹³ som indeholder 264.000 IR-referencespektre, herunder af polymerer og relaterede stoffer. Urenhederne blev sorteret op i de fundne materialetyper og vejjet, hvorved den samlede andel af plast blev beregnet som % af TS.

Det samlede indhold af bio- eller ikke-bionedbrydeligt materiale vurderes ud fra data for de identificerede polymerer, herunder om de er bionedbrydelige (komposterbare) i henhold til EN 13432.

3.1.1 Metodeindkøring af vaskeprocedure

Der blev for to prøver gennemført gentagen overbrusning og grundig vending af prøvematerialet med opsamling af permeat (vasketrin 2) til analyse af fysiske urenheder mellem 1 og 2 mm. Dette blev udført for at optimere og standardisere overbrusningen med henblik på at sikre, at der ikke udvaskes yderligere urenheder ved forlænget overbrusning.

Resultaterne viste, at 88-93 % af retentatvægten opsamlet på 1 mm-sigten blev opnået med en overbrusning med 20 liter ift. en overbrusning på 30 liter. Det blev derfor besluttet at anvende 30 liter til overbrusning af prøverne i 1. vasketrin, idet en yderligere overbrusning kun vil give en meget lille ændring i retentatvægten på 1 mm-sigten.

3.2 Resultater af analyse for fysiske urenheder større end 2 mm (P1-P4)

Herunder gennemgås resultater for analysen af fysiske urenheder større end 2 mm for hvert anlæg ift. mængde og type af plast.

3.2.1 Anlæg 1

I TABEL 5 er indholdet af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort. Det ses, at alle prøverne overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 %. Der observeres derimod en overskridelse af arealgrænseværdien på 1,0 cm²/% TS pr. l biopulp for delprøve 1.

TABEL 5. Fysiske urenheder i henhold til bekendtgørelse, anlæg 1.

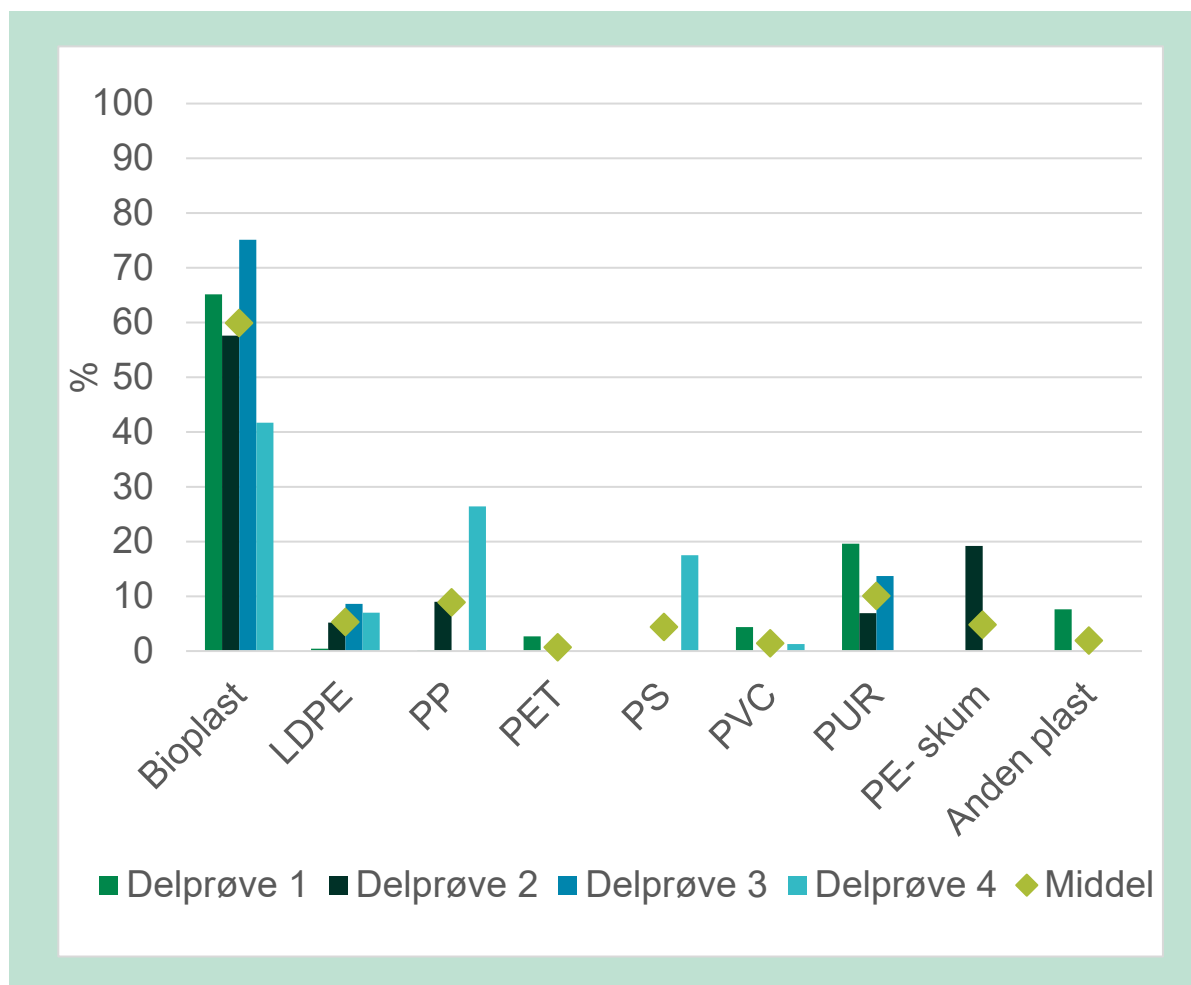
	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp ¹⁴
Delprøve 1	0,076	0,050	1,18
Delprøve 2	0,058	0,034	0,90
Delprøve 3	0,090	0,015	0,33
Delprøve 4	0,076	0,017	0,31
Middel	0,075	0,029	0,68
Standardafvigelse	0,01	0,02	0,43

Alle fire prøver har en høj forekomst (42-75 %) af bionedbrydelig bioplastfilm (se FIGUR 9), som blev vurderet til at være af en Mater-Bi-type³ ud fra IR-spektret, hvilket også kan ses i det

¹³ <https://sciencesolutions.wiley.com/solutions/technique/ir/knowitall-ir-collection/>

¹⁴ Areal af plast i prøver er bestemt for udfoldede folier.

høje plastareal relativt til mængde af plast i prøven (middelværdien for de fire delprøver er 225 cm²/g). I prøverne observeres der desuden mindre mængder LDPE, PP, PS, PVC, PUR-skum, PE-holdigt skum samt en lille mængde andet uidentificeret plast.



FIGUR 9. Fordeling af plasttyper over 2 mm i anlæg 1¹⁵. Det ses, at bioplast er den dominerende plasttype og udgør ca. 50 % af indholdet. Bioplasten vurderes at stamme fra indsamlingsposerne.

3.2.2 Anlæg 2

I TABEL 6 er indholdet af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort. Det ses, at alle prøverne overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % samt arealgrænseværdien på 1,0 cm²/% TS pr. I biopulp.

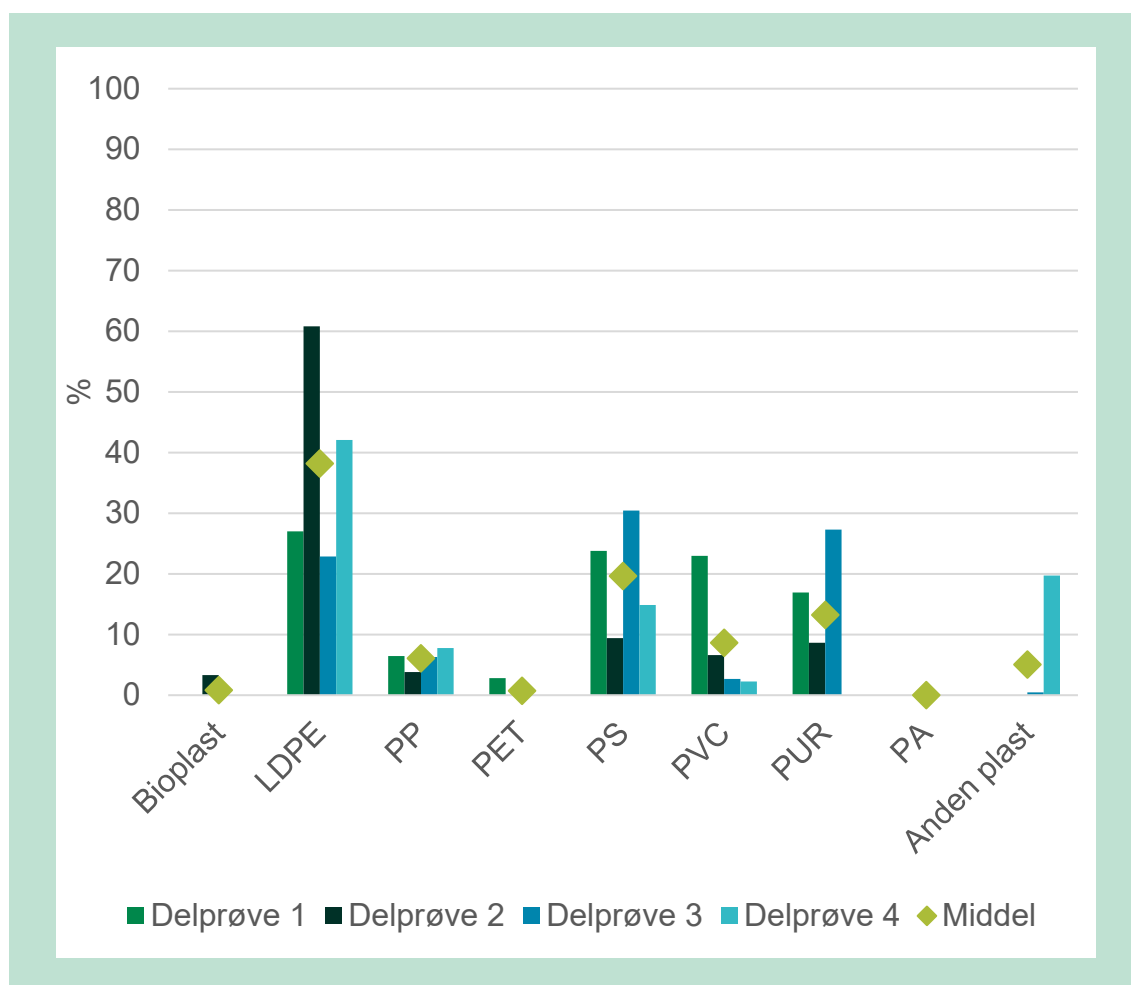
TABEL 6. Fysiske urenheder i henhold til bekendtgørelse, anlæg 2.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/ biopulp
Delprøve 1	0,079	0,022	0,53
Delprøve 2	0,236	0,024	0,60
Delprøve 3	0,149	0,045	0,73

¹⁵ LDPE: Low Density Polyethylen; PP Polypropylen; PET Polyethylentereftalat; PS Polystyren; PVC Polyvinylklorid; PUR Polyurethan; PE Polyethylen.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/ biopulp
Delprøve 4	0,117	0,016	0,27
Middel	0,145	0,027	0,53
Standardafvigelse	0,07	0,01	0,19

Alle fire prøver har en høj forekomst af LDPE-plastfilm (23-61 %, se FIGUR 10), hvilket også kan ses i det høje plastareal relativt til mængde af plast i prøven (middelværdien for de fire prøver er 203 cm²/g). I prøverne observeres 9-30 % PS og herudover PVC, PP, PUR, PET samt en lille mængde uidentificeret anden plast. I en enkelt prøve observeres der et mindre indhold af bionedbrydelig bioplast vurderet til at være af en Mater-Bi-type ud fra IR-spektret.



FIGUR 10. Fordeling af plasttyper over 2 mm i anlæg 2. Det ses, at den dominerende plasttype udgøres af LDPE og udgør ca. 35 % af indholdet.

3.2.3 Anlæg 3

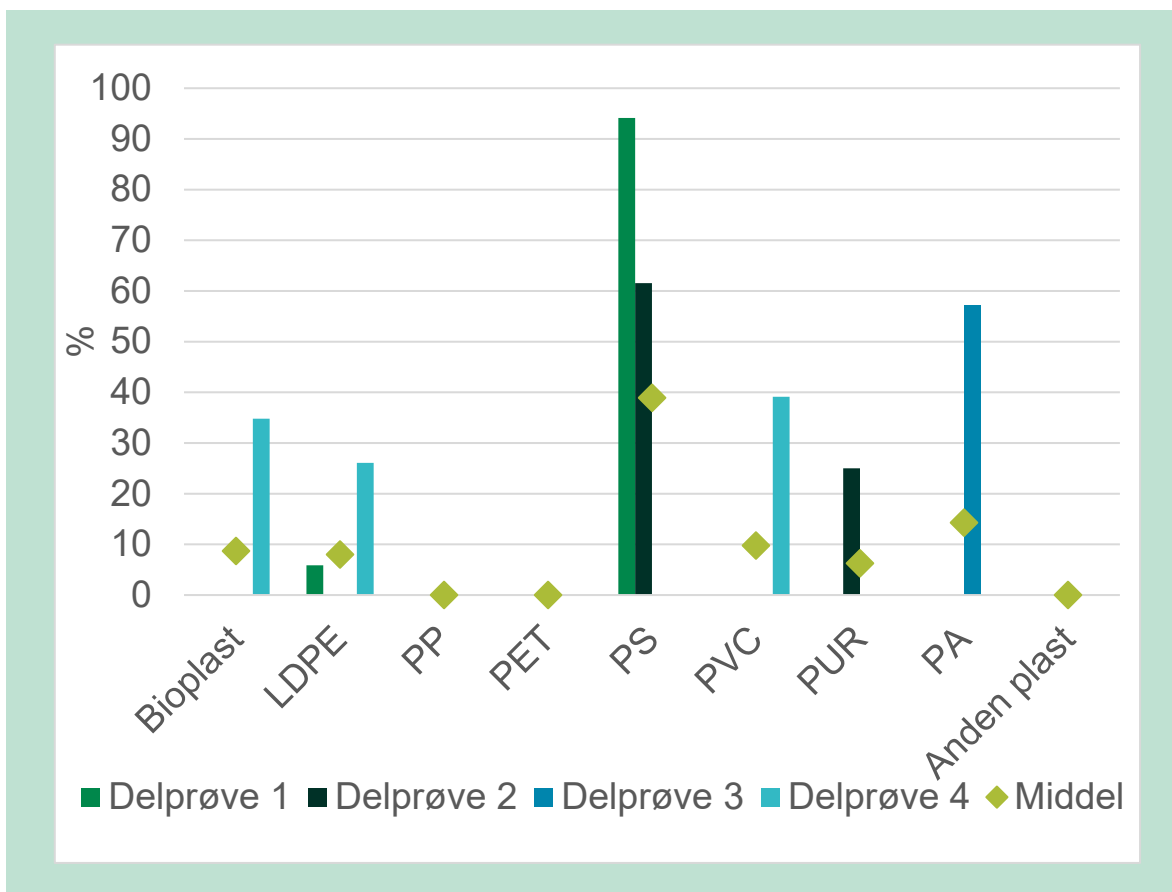
I TABEL 7 er indholdet af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort. Det ses, at prøverne overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % for plast samt arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. I biopulp. Endvidere observeres det, at det etablerede poleringstrin reducerer indholdet af fysiske urenheder (totalt og plast) kraftigt for alle fire prøver.

TABEL 7. Fysiske urenheder i henhold til bekendtgørelse, anlæg 3.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Delprøve 1	0,018	0,018	0,053
Delprøve 2	0,003	0,003	0,032
Delprøve 3	0,001	0,001	0,017
Delprøve 4	0,001	0,001	0,020
Middel	0,006	0,006	0,03
Standardafvigelse	0,01	0,01	0,02
Før polering ¹⁶	0,072	0,068	Ikke analyseret

Indholdet af plast er generelt meget lavt i prøverne, hvorfor forekomsten af et enkelt stykke plast har stor indvirkning på plasttypefordelingen. Der observeres derfor meget store forskelle i fordelingen af plasttyper, se FIGUR 11. Forholdet mellem areal og vægt af plast er mellem 30 og 237 cm²/g med en middelværdi på 137 cm²/g. Et lavt forhold mellem areal og vægt skyldes et højere indhold af hård plast.

¹⁶ Der er foretaget en ekstra orienterende prøve af pulp inden polering med bestemmelse af vægt af fysiske urenheder for at kunne vurdere effektivitet af poleringstrinnet – Arealbestemmelse er undladt.



FIGUR 11. Fordeling af plasttyper over 2 mm i anlæg 3¹⁷. Plastmængden var generelt lille, hvorfor indholdet af de fundne plasttyper varierer tilfældigt fra prøve til prøve.

Der er udtaget en enkelt prøve før et poleringstrin, som er etableret på anlægget. Baseret på vægten af urenheder i en enkelt prøve er opnået en reduktion i såvel totalt indhold af urenheder samt plast på ca. en faktor 12 ved at etablere poleringstrinnet.

3.2.4 Anlæg 4

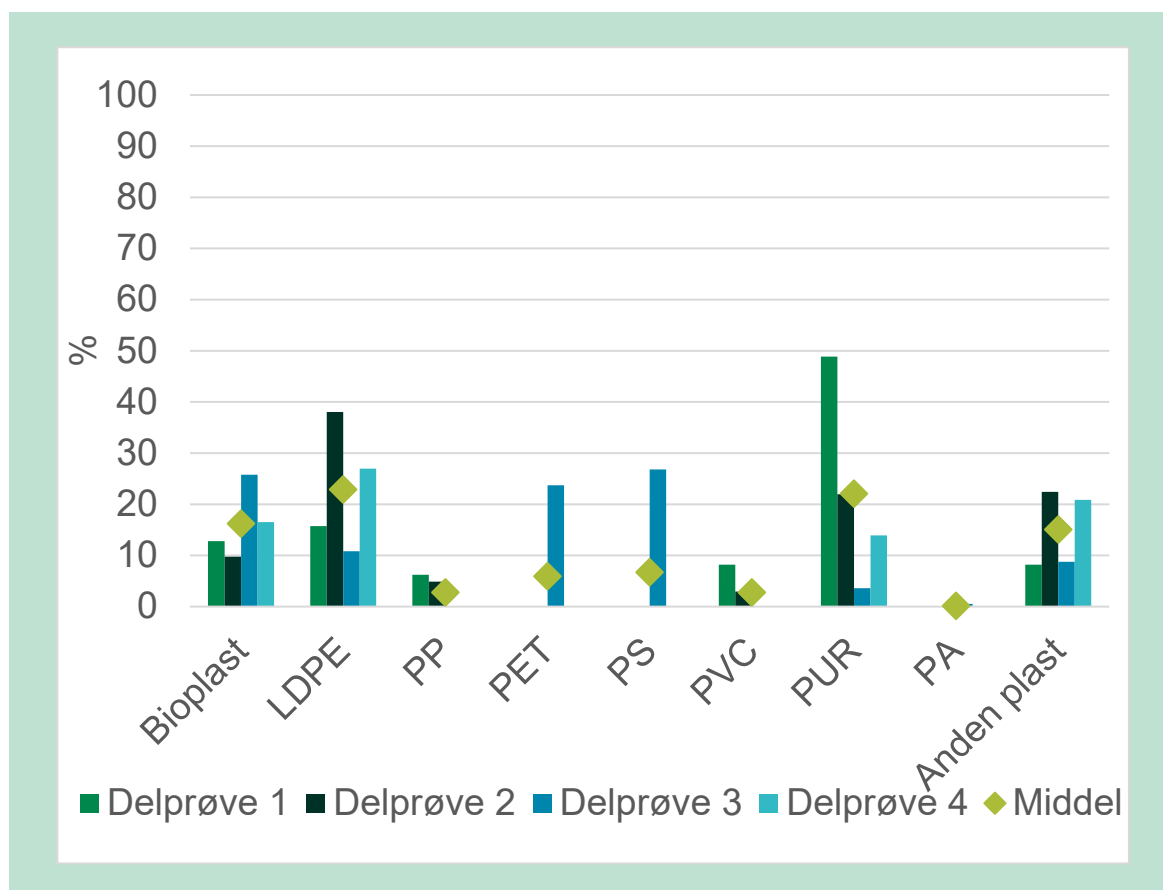
I TABEL 8 er indholdet af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort. Det ses, at prøverne overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % for plast samt arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. l biopulp.

¹⁷ PA Polyamid

TABEL 8. Fysiske urenheder i henhold til bekendtgørelse, anlæg 4.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Delprøve 1	0,088	0,019	0,381
Delprøve 2	0,144	0,013	0,282
Delprøve 3	0,093	0,015	0,429
Delprøve 4	0,040	0,008	0,160
Middel	0,091	0,014	0,31
Standardafvigelse	0,04	<0,01	0,1

Alle fire prøver har et indhold af LDPE-plastfilm (11-38 %) samt bioplast (10-26 %) (se FIGUR 12), hvilket også kan ses i forholdet mellem areal og vægt af plast (middelværdien for de fire prøver er 223 cm²/g). I prøverne observeres der derudover PUR samt lidt uidentificeret anden plast. I en enkelt prøve observeres der PS og PET.



FIGUR 12. Fordeling af plasttyper over 2 mm i anlæg 4. Det ses, at de dominerende plasttyper udgøres af bioplast og LDPE, som tilsammen udgør ca. 40 % af indholdet.

3.2.5 Anlæg 5

I TABEL 9 er indholdet af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort for de udtagne prøver. Idet prøverne er blandet med slam og derfor ikke udelukkende indeholder organisk affald, som de resterende anlæg, kan indholdet ikke direkte sammenlignes med de øvrige anlæg. Der er derfor udført et estimat af indholdet af plast efter rensning omregnet til den oprindelige tilførte mængde særskilt indsamlet køkken- og madaffald (se Bilag 3) Beregning er dog forbundet med en del usikkerhed.

Det estimerede indhold af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort i det tilførte affald er anført i TABEL 10. Det ses, at prøverne overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % for plast samt arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. l biopulp med en meget stor margin.

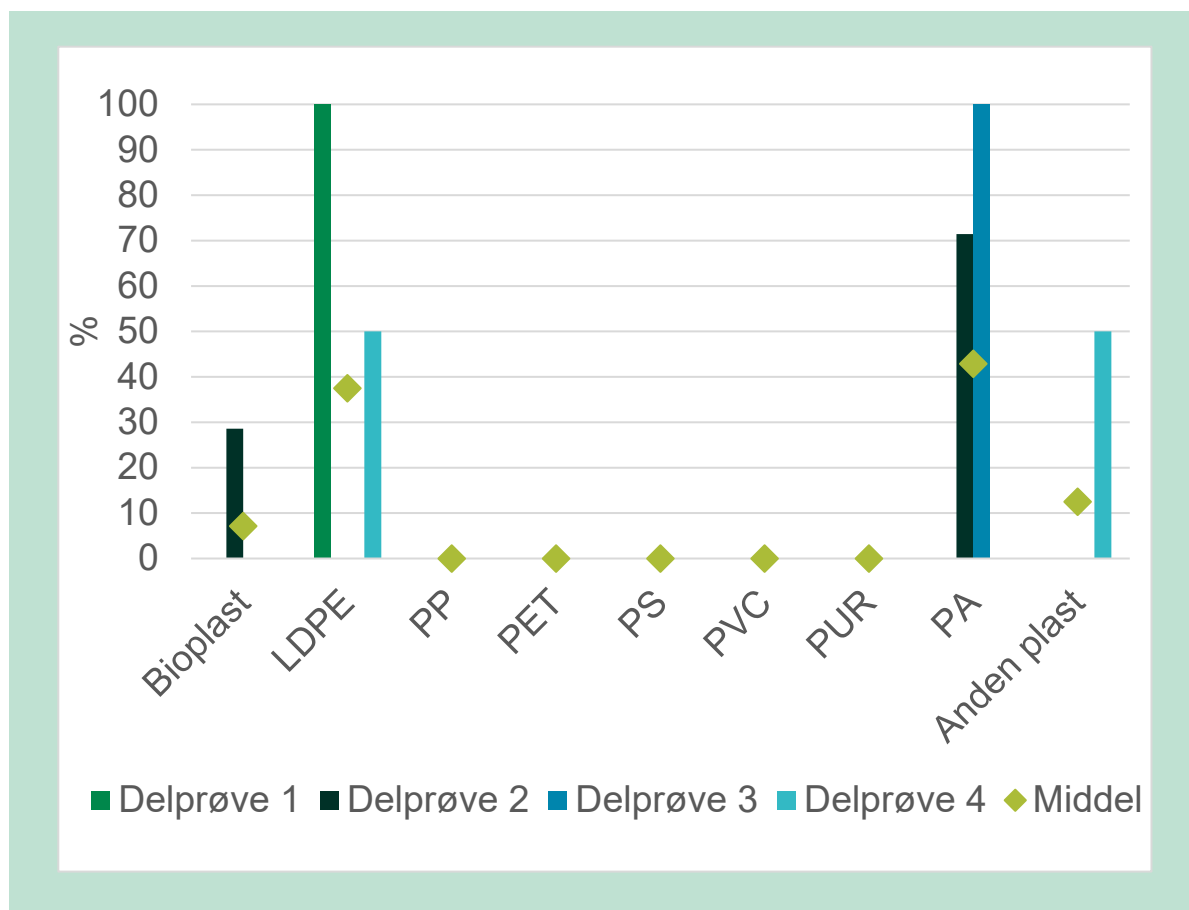
TABEL 9. Fysiske urenheder i udtaget prøve, anlæg 5.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l
Delprøve 1	0,0003	0,0003	0,0056
Delprøve 2	0,0012	0,0012	0,0267
Delprøve 3	0,0002	0,0002	0,0084
Delprøve 4	0,0003	0,0003	0,0110
Middel	0,0005	0,0005	0,013
Standardafvigelse	0,0005	0,0005	0,0095

TABEL 10. Fysiske urenheder estimeret i tilført biopulp, anlæg 5.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Delprøve 1	0,0005	0,0005	0,008
Delprøve 2	0,0017	0,0017	0,039
Delprøve 3	0,0003	0,0002	0,012
Delprøve 4	0,0005	0,0005	0,016
Middel	0,0007	0,0007	0,019
Standardafvigelse	0,0007	0,0007	0,014

Indholdet af plast er generelt meget lavt i prøverne, hvorfor forekomsten af et enkelt stykke plast har stor indvirkning på plasttypefordelingen, hvilket også fremgår af de store forskelle, der observeres i fordelingen af plasttyper, se FIGUR 13. Forholdet mellem areal og vægt af plast er mellem 163 og 455 cm²/g.



FIGUR 13. Fordeling af plasttyper over 2 mm i anlæg 5. Plastmængden var meget lille, hvorfor indholdet af de fundne plasttyper varierer tilfældigt fra prøve til prøve.

3.2.6 Anlæg 6

I TABEL 11 og TABEL 12 er indholdet af fysiske urenheder større end 2 mm opgjort før og efter poleringen. Det ses, at prøverne før polering overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % for plast, men ikke arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. l biopulp. Efter poleringen er indholdet af fysiske urenheder meget lavt, og alle tre parametre er langt under gældende grænseværdier.

TABEL 11. Inden polering. Fysiske urenheder i udtagne prøver før polering, anlæg 6.

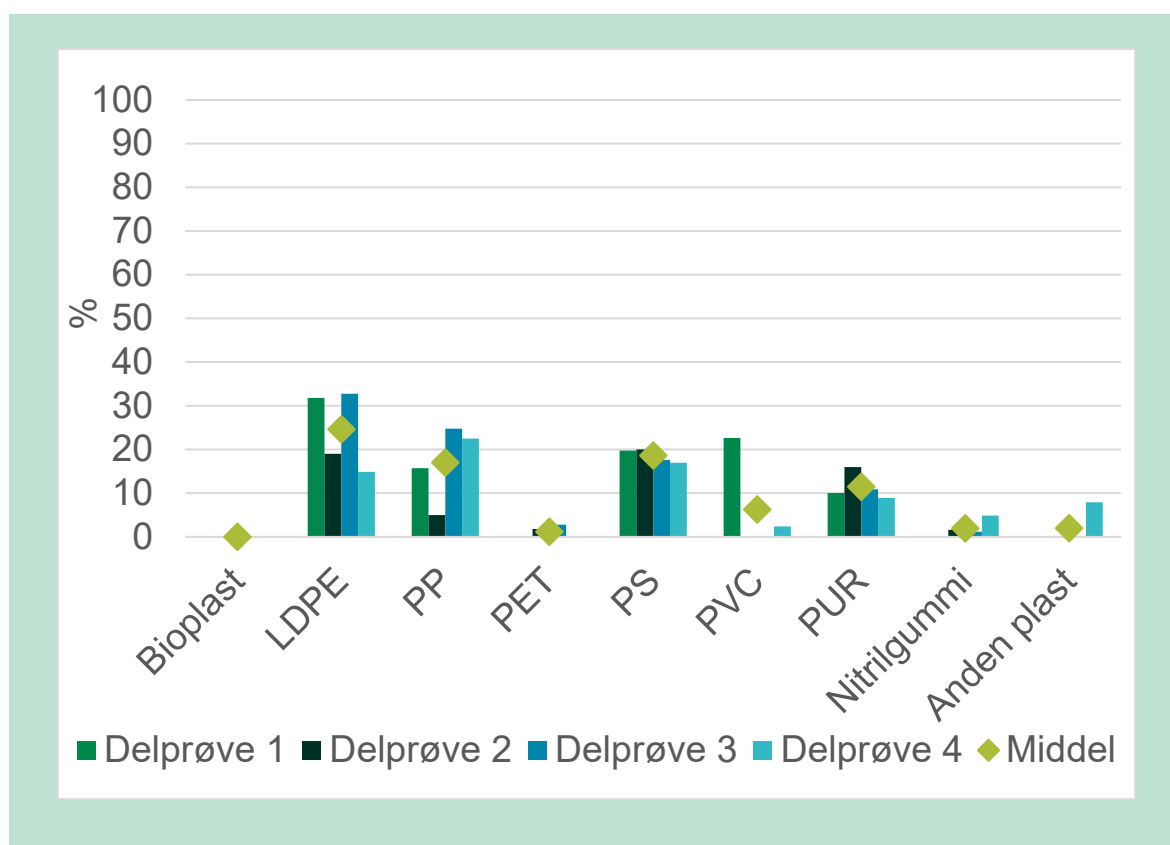
	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Delprøve 1	0,254	0,109	1,6
Delprøve 2	0,355	0,137	1,8
Delprøve 3	0,253	0,128	1,8
Delprøve 4	0,209	0,084	1,5
Middel	0,268	0,114	1,7
Standardafvigelse	0,06	0,02	0,2

TABEL 12. Efter polering. Fysiske urenheder i udtagne prøver efter polering, anlæg 6.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Delprøve 1	0,0004	0,0004	0,0085
Delprøve 2	0	0	0
Delprøve 3	0,001	0,001	0,0093
Delprøve 4	0,0003	0,0003	0,0091
Middel	0,0004	0,0004	0,007
Standardafvigelse	0,0004	0,0004	0,005

Indholdet af plast er generelt meget lavt i de polerede prøver, hvorfor forekomsten af et enkelt stykke plast har stor indvirkning på plasttypefordelingen, hvilket bevirker, at der observeres meget store forskelle i fordelingen af plasttyper (data ikke vist). I prøverne efter polering blev der kun fundet plast af typen LDPE (prøve 1, 3 og 4).

I de ikke-polerede prøver observeres der et indhold af LDPE-plastfilm (15-33 %, se FIGUR 14), hvilket også kan ses i det høje plastareal relativt til mængde af plast i prøven (middelværdien for de fire prøver er 148 cm²/g). I prøverne observeres der 9-30 % PS og herudover PVC, PP, PUR, PET, nitrilgummi og en lille mængde uidentificeret anden plast.



FIGUR 14. Fordeling af plasttyper over 2 mm i tilført materiale i anlæg 6. I det tilførte materiale findes en række plasttyper, hvoraf LDPE-film og PS er de dominerende plasttyper, som tilsammen udgør ca. 40 % af indholdet.

3.3 Metode til bestemmelse af fysiske urenheder med størrelsen 1-2 mm (P3-P4)

Det vurderes meget vanskeligt at foretage analysen direkte på en 1 mm sigte pga. tilstopning. Derfor blev det valgt først at anvende en 2 mm sigte og derefter analysere permeatvandet (fra P3-P4) på en 1 mm sigte. Dette giver derudover den fordel, at fraktionen af urenheder imellem 1 mm og 2 mm kan kvantificeres og sammenlignes med værdien fra den traditionelle analyse ned til 2 mm.

I modsætning til 2 mm-analysen, hvor plast forholdsvis nemt kan identificeres visuelt blandt det organiske materiale, er sorteringen af den faste fraktion, der tilbageholdes på 1 mm-sigten, mere vanskelig. Dette skyldes, at det er veldokumenteret inden for forskning i mikroplast, at visuel sortering af urenheder af denne størrelse bliver mindre og mindre pålidelig, i takt med at partikelstørrelsen nærmer sig 1 mm.^{18,19}

For at de spektroskopiske målinger af denne fine urenhedsfraktion kan betragtes som valide, kræver det, at prøverne oprenses kemisk, så overskydende organisk materiale ikke 'skygger' for signalerne fra plastikpartikler. Ideelt set ville denne oprensning og efterfølgende materialebestemmelse foregå efter samme forskrift, som benyttes i analyser for mikroplast.²⁰ Her oprenses prøven via to døgn kemisk behandling, to døgn enzymbehandling og endelig yderligere to døgn kemisk behandling, inden de spektroskopiske målinger udføres. Dette blev ikke valgt pga. omkostningen forbundet hermed og under hensyntagen til tidsrammen for projektet.

I stedet blev der i projektet udviklet en mindre omfattende oprensning, som pga. de forholdsvis 'store' partikler (i forhold til faktisk mikroplast) til stadighed tillader valide spektroskopiske resultater. Oprensningen, som er skitseret i de nedenstående punkter, blev udviklet med udgangspunkt i forskellige kombinationer af base- og enzymbehandlinger:

- En ét-trins kemisk oprensning ved brug af 3 M NaOH ved 60° C i to døgn
- En enzymatisk behandling med en særlig enzymblanding ved 50° C i to døgn
- Filtrering af restmateriale på et 500 µm filter efterfulgt af en sigtning ved 0,75 mm, såfremt der er store mængder fibre
- Frasortering af partikler, som vurderes at kunne være af plast, til spektroskopisk bestemmelse af, om der er tale om plast, og hvilken type der i givet fald er tale om. Tynde fibre er ikke omfattet af analysen.

Basen har til formål at fjerne fedtstoffer og hydrolysere noget af cellulosen i papirfibre. Enzymbehandling nedbryder cellulose yderligere via cellulaser samt fedt via lipaser, protein via proteaser, ligesom polysaccharid såsom stivelse nedbrydes med målrettede enzymer hertil.

Indholdet af bioplast baseret på polyesterlignende materiale af Mater-Bi-typen blev vurderet til ikke at kunne holde til basetrinnet i oprensningsmetoden uden at blive nedbrudt. For at verifi-

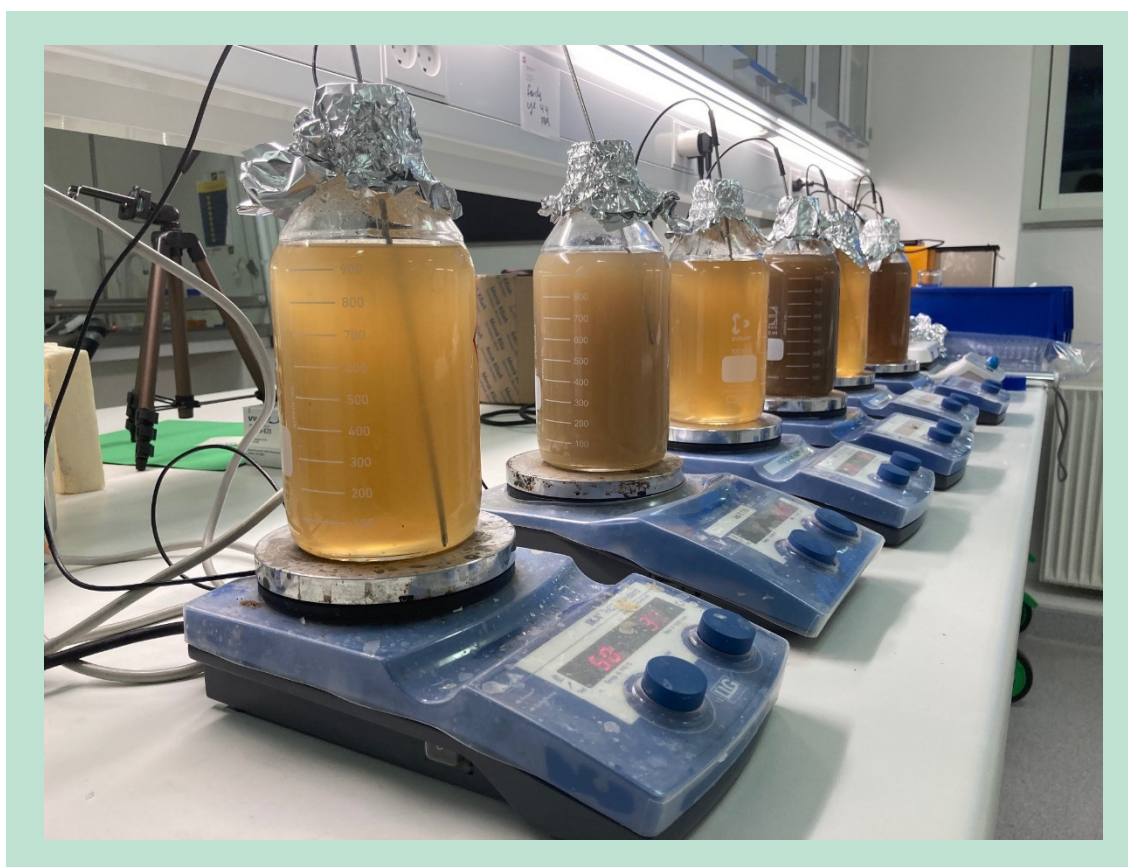
¹⁸ Focal plane array detector-based micro-Fourier-transform infrared imaging for the analysis of microplastics in environmental samples, Löder, M.G.J. et al., Environmental Chemistry, 2015, 12, 563-581, <http://dx.doi.org/10.1071/EN14205>.

¹⁹ Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification, Hidalgo-Ruz, V. et al., Environmental Science and Technology, 2012, 46, 3060-3075, <https://doi.org/10.1021/es2031505>.

²⁰ Som udviklet og benyttet i MUDP-projekterne "Udvikling af teknologi til fjernelse af mikroplast fra regnvandsbetingede udledninger" (2016-2019), Svana-404-00082, Miljøstyrelsen; "Bæredygtig og decentral rensning af vaskerispildevand, herunder fjernelse af mikroplast" (2017-2019), MST-141-01584, Miljøstyrelsen; "Teknologi til fjernelse af de mindste fraktioner af mikroplast og mikro-gummi i rensset spildevand" (2018-2020).

cere dette, blev der udført enkelte oprensningstests med Mater-Bi-baserede bioposer. Resultaterne viste, at Mater-Bi-poserne blev opløst af de to dages basebehandling. Som resultat af dette forventes det, at der ikke vil blive identificeret rester af bioposer i prøverne <2 mm, selvom bioplasten vurderes at have været til stede i prøverne inden oprensning. Dette er især relevant for prøverne fra anlæg 1 og anlæg 4, som har en høj forekomst af bioplast i fraktionen >2 mm (se afsnit 3.2). Resultaterne for plastindhold <2mm er derfor i det følgende angivet eksklusivt et eventuelt indhold af bioplast.

Efter prøveforberedelsen blev plasttyperne i de frasorterede plastpartikler bestemt. Plasttyperne blev bestemt ved brug af infrarød (IR) spektroskopi som beskrevet i afsnit 3.1. Mængden af materiale var for lille til at kunne registres på 4 decimalers vægt, hvorfor der blev anvendt en alternativ metode til at estimere indholdet af plast. Ved metoden blev overfladearealet i stedet bestemt på typiske partikler af de typer, der var flest af ved brug af mikroskop og software til arealbestemmelse. Herefter blev arealet for partikler mellem 1-2 mm sammenlignet med arealet for partikler > 2 mm.



FIGUR 15. Oprensning af biopulprøver.

3.4 Resultater af analyse for fysiske urenheder med størrelsen 1-2 mm (P3-P4)

Herunder gennemgås resultater for analysen af fysiske urenheder med størrelsen 1-2 mm for hvert anlæg ift. mængde og type af plast.

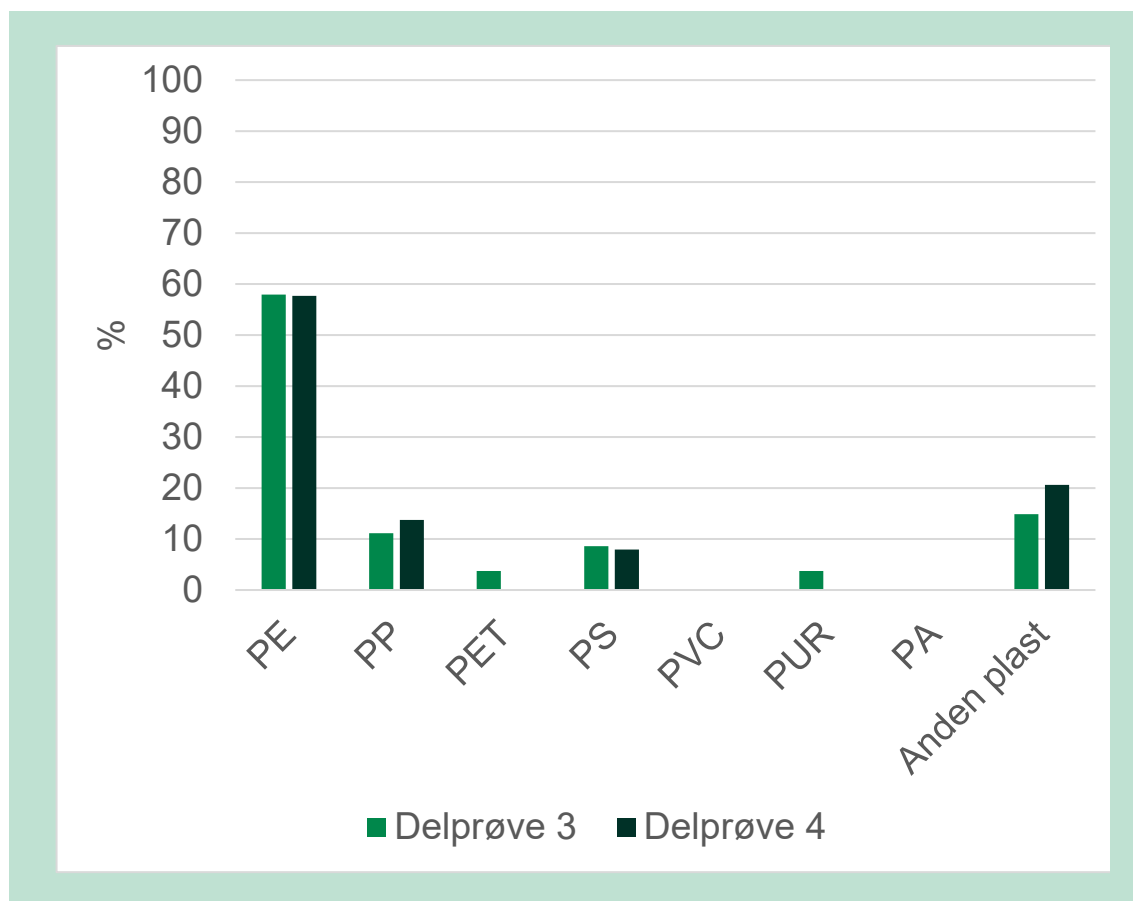
3.4.1 Anlæg 1

Analyserne viser, at arealet af de fysiske urenheder i intervallet 1-2 mm kun udgør en mindre andel ift. arealet af de fysiske urenheder >2 mm (se TABEL 13). Således øges arealet med hhv. 12 % og 7 % ved inkludering af plast i 1-2 mm-fraktionen, hvilket ikke ændrer på, at arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. l pulp overholdes.

TABEL 13. Fysiske urenheder 1-2 mm, anlæg 1.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/I biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/I biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/I biopulp	Forøgelse%
Delprøve 3	0,039	0,334	0,373	11,6
Delprøve 4	0,020	0,314	0,336	6,5

Sammensætningen af plast i delprøve 3 og 4 er vist i FIGUR 16.



FIGUR 16. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 1. Det ses, at PE er den dominerende plasttype. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette. For anlæg 1 forventedes det, at der ville have været et væsentligt højere indhold af bioplast end PE i prøven inden oprensning til analyse ud fra sammenligning med indhold >2 mm (FIGUR 9).

Sammensætningen af plasttyper i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensningsprocessen. Overordnet set genfindes der samme plasttyper i 1-2 mm fraktionen ift. fraktionen >2 mm. Således er der i begge fraktioner PE, PP, PS, PUR, PET samt en lille mængde anden plast. Usikkerheden på fordelingen af polymerer er dog forholdsvis stor, da der er tale om identifikation af et begrænset antal partikler.

3.4.2 Anlæg 2

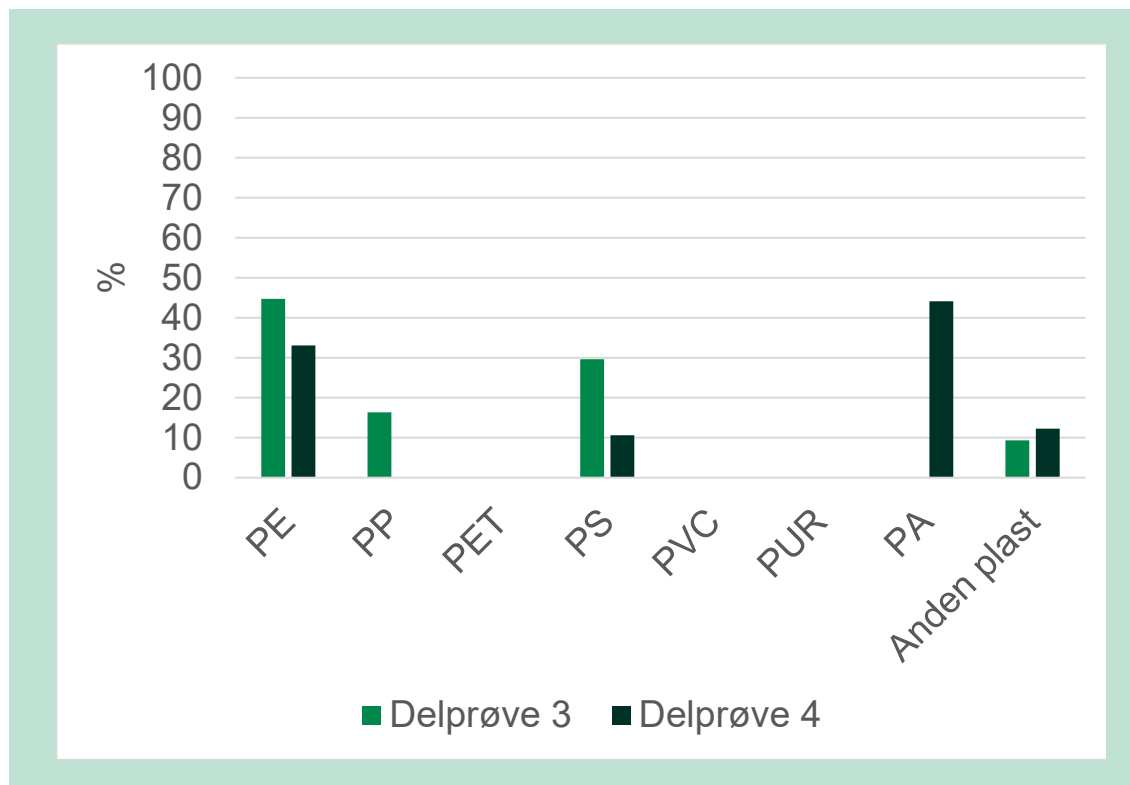
Analyserne viser, at arealet af de fysiske urenheder i intervallet 1-2 mm kun udgør en mindre andel ift. arealet af de fysiske urenheder >2 mm (se TABEL 14). Således øges arealet med

hhv. 8 % og 17 % ved inkludering af plast i 1-2 mm-fraktionen, hvilket ikke ændrer på, at arealgrænseværdien 1 cm²/% TS pr. l biopulp overholdes.

TABEL 14. Fysiske urenheder 1-2 mm, anlæg 1.

	cm ² /% TS/l biopulp (1-2 mm)	cm ² /% TS/l biopulp (>2 mm)	cm ² /% TS/l biopulp (>1 mm)	Forøgelse %
Delprøve 3	0,058	0,726	0,785	7,9
Delprøve 4	0,046	0,267	0,313	17,3

Sammensætningen af plast i delprøve 3 og 4 er vist i FIGUR 17.



FIGUR 17. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 2. Det ses, at PE er den dominerende plasttype. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette. For anlæg 2 forventes der ikke et væsentligt indhold af bioplast i prøven inden oprensning til analyse ud fra sammenligning med indhold >2 mm (FIGUR 10).

Sammensætningen i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensningsprocessen. I fraktionen >2 mm er der for delprøve 3 og 4 ikke fundet bioplast af Mater-Bi-typen, men derimod:

- 23-42 % PE
- 15-20 % PS
- Ca. 7 % PP
- 0-27 % PUR
- Ca. 2-3 % PVC.

I fraktionen 1-2 mm findes en sammenlignelig sammensætning af plast med:

- 33-45 % PE
- 11-30 % PS
- Lidt PP, PA samt anden plast.

Der er fundet eksempler på POM og ABS i anden plast. Usikkerheden på fordelingen af polymerer er forholdsvis stor, da der er tale om identifikation af et begrænset antal partikler.

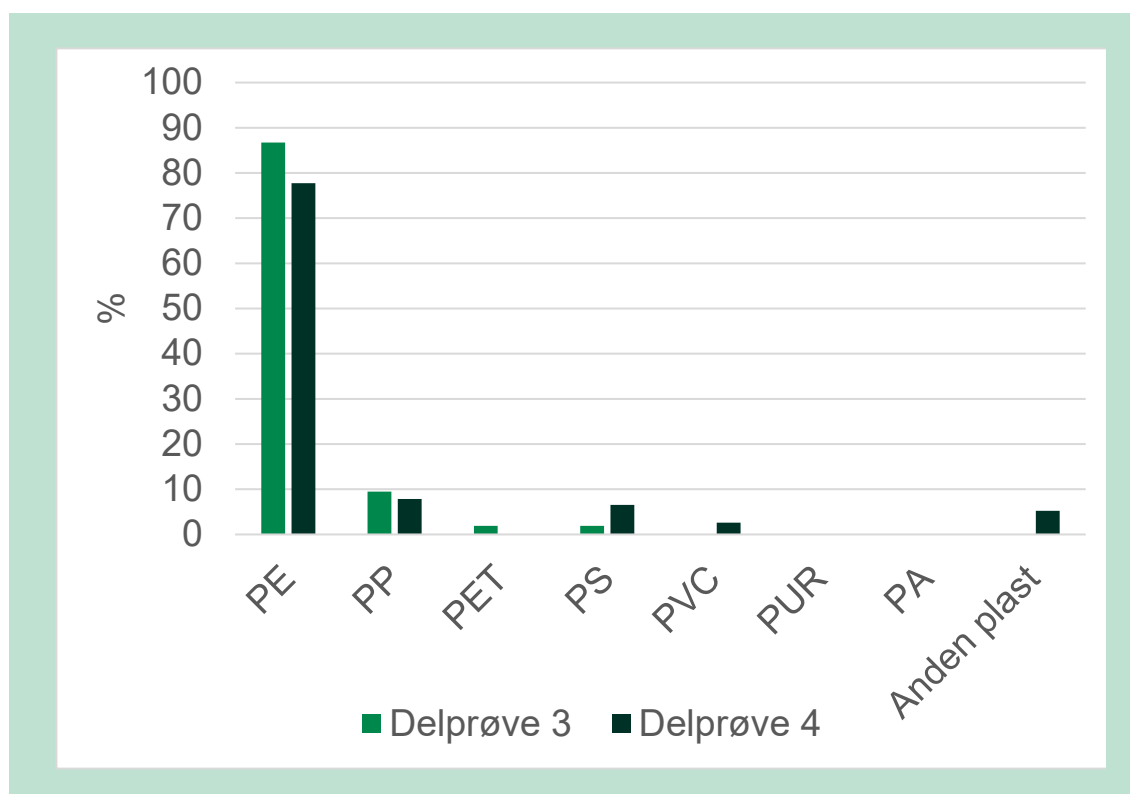
3.4.3 Anlæg 3

Analyserne viser, at arealet af de fysiske urenheder i intervallet 1-2 mm udgør et større areal end arealet >2 mm (TABEL 15). Således observeres der en forøgelse af arealet med 271-334 %, når 1-2 mm-fraktionen inkluderes i arealbestemmelsen. Det skal dog bemærkes, at arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. liter biopulp stadig overholdes med en faktor 12-16. Arealet af 1-2 mm-fraktionen er ligeledes bestemt for prøven før polering. Indholdet er på niveau med prøverne efter poleringen, hvilket indikerer, at poleringen har en højere effektivitet for plast større end 2 mm.

TABEL 15. Fysiske urenheder 1-2 mm, anlæg 3.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/l biopulp	Forøgelse %
Delprøve 3	0,046	0,017	0,063	271
Delprøve 4	0,066	0,020	0,086	334

Sammensætningen af plast i delprøve 3 og 4 er vist i FIGUR 18.



FIGUR 18. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 3. Det ses, at PE er den dominerende plasttype. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette. For anlæg 3 forventes der ikke et væsentligt indhold af bioplast i prøven inden oprensning til analyse ud fra sammenligning med indhold >2 mm (FIGUR 11).

Sammensætningen i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensningsprocessen. Der observeres forholdsvis store forskelle i plastsammensætning for fraktionen 1-2 mm og >2 mm. Således blev der for >2 mm-fraktionen

ikke fundet PE for delprøve 3 og kun 26 % PE for delprøve 4. I fraktionen 1-2 mm findes der derimod høje forekomster af PE (78-87 %) samt mindre mængder af PP, PET, PVC og anden plast, herunder eksempler på PMMA. Usikkerheden på fordelingen af polymerer er forholdsvis stor, da der er tale om identifikation af et begrænset antal partikler.

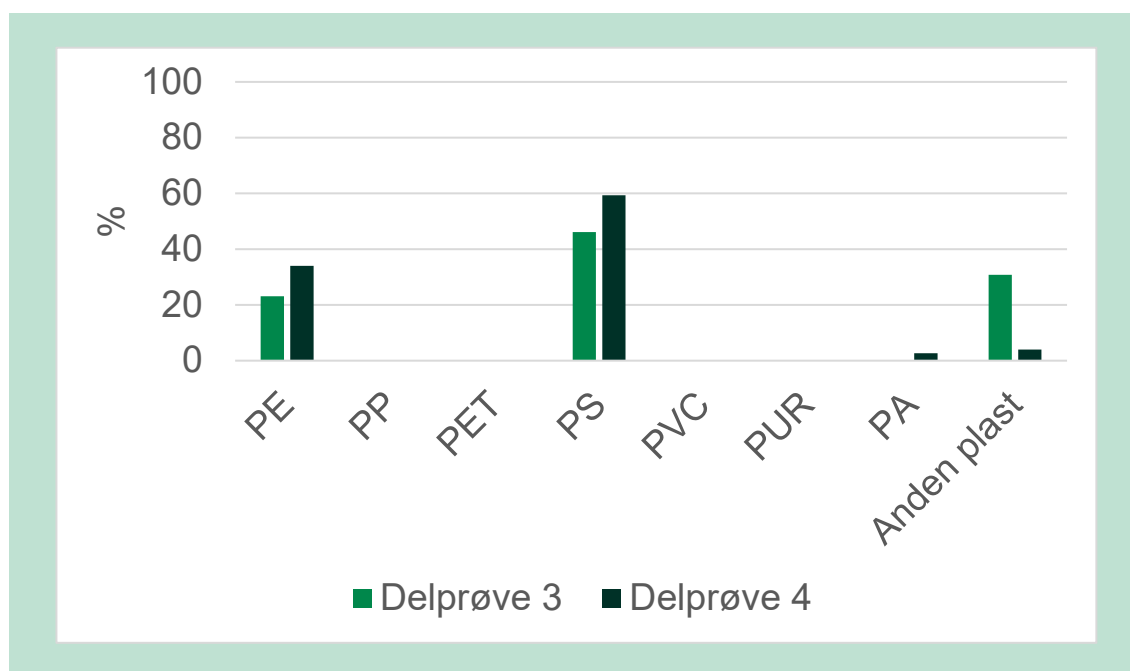
3.4.4 Anlæg 4

Analyserne viser, at arealet af de fysiske urenheder i intervallet 1-2 mm kun udgør en mindre andel ift. arealet af de fysiske urenheder >2 mm (TABEL 16). Således øges arealbestemmelsen med hhv. 3 % og 29 % ved inkludering af plast i 1-2 mm-fraktionen, hvilket ikke ændrer på, at arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. l biopulp overholdes.

TABEL 16. Fysiske urenheder 1-2 mm, anlæg 4²¹.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/l biopulp	Forøgelse %
Delprøve 3	0,018	0,43	0,448	4,1
Delprøve 4	0,051	0,160	0,211	31,9

Sammensætningen af plast i delprøve 3 og 4 er vist på FIGUR 19.



FIGUR 19. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 4. Det ses, at PE og PS er de dominerende plasttyper. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette. For anlæg 4 forventes der et væsentligt indhold af bioplast i prøven inden oprensning til analyse ud fra sammenligning med indhold >2 mm (FIGUR 12).

²¹ For anlæg 4 er udført en 1. vask med 20 l vand og en 2. vask med 20 l vand. Partikler i både 1. vask og 2. vask er medtaget i analysen af plastpartikler. 2. vask øger arealet af fundet plast med 30% for delprøve 3 og med 12% for delprøve 4. Resten af de analyserede prøver fra anlæg 1,2,3,5,6 er efterfølgende analyseret efter skylning med en væskemængde på 30 l vand, hvilket vurderes at fraseparere hovedparten partikler mellem 1-2 mm til efterfølgende analyse. Se også afsnit 3.1.1.

Sammensætningen i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensningsprocessen. Overordnet set genfindes der samme plasttyper i 1-2 mm-fraktionen ift. fraktionen >2 mm. Således er der 11-27 % PE i delprøve 3 og 4 for >2 mm-fraktionen og 20-32 % PE for delprøve 3-4 i 1-2 mm-fraktionen. Derudover observeres der plasttyperne PS og PA i begge størrelsesfraktioner. Usikkerheden på fordelingen er forholdsvis stor, da der er tale om identifikation af et begrænset antal partikler.

3.4.5 Anlæg 5

Analyserne viser, at arealet af de fysiske urenheder i intervallet 1-2 mm er langt større end arealet af fysiske urenheder >2 mm for prøverne (se TABEL 17 og TABEL 18). Således observeres der en kraftig forøgelse af plastarealet med 394-1.240 % ved inkludering af 1-2 mm-fraktionen. På trods af den relativt store forøgelse overholdes arealgrænseværdien stadig ved inkludering af 1-2 mm-fraktionen. Det anførte indhold af fysiske urenheder i den tilførte biopulp (TABEL 18) er estimeret og forbundet med en del usikkerhed (se beregningsmetode i Bilag 3).

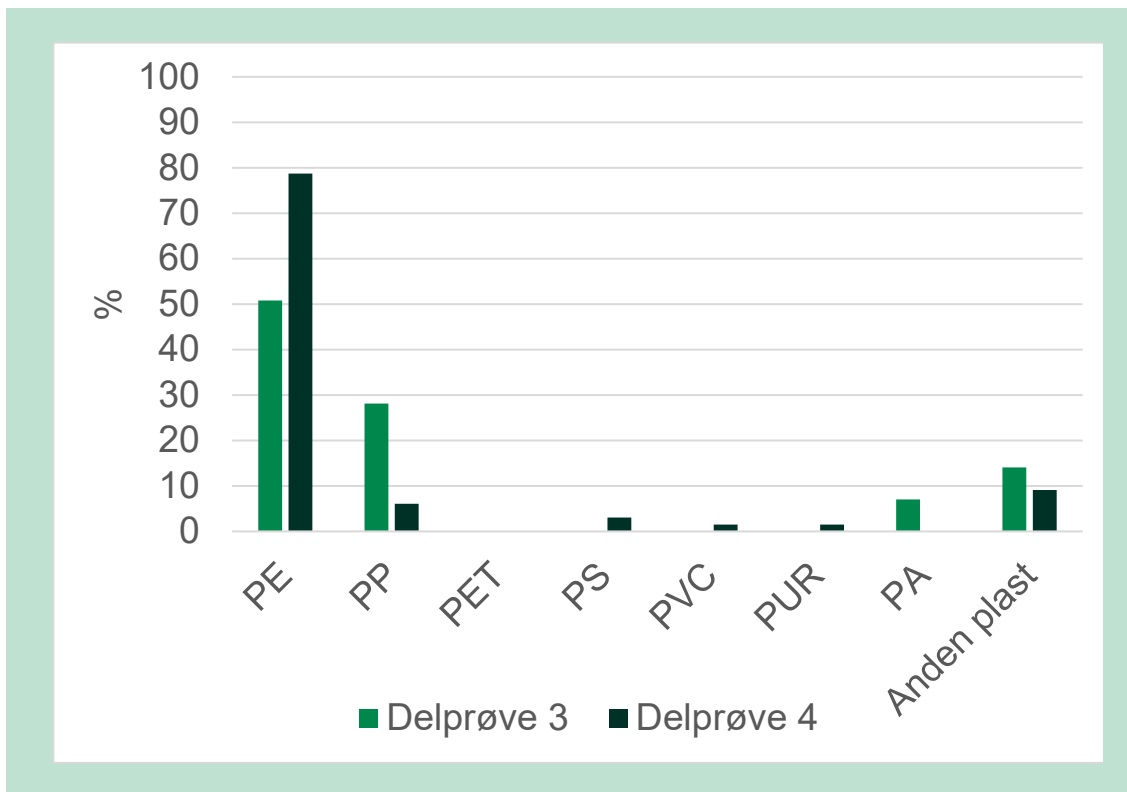
TABEL 17. Fysiske urenheder 1-2 mm analyseret i udtaget prøve, anlæg 5.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/I biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/I biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/I biopulp	Forøgelse %
Delprøve 3	0,033	0,008	0,041	394
Delprøve 4	0,14	0,011	0,148	1.240

TABEL 18. Fysiske urenheder 1-2 mm estimeret i tilført biopulp, anlæg 5.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/I biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/I biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/I biopulp	Forøgelse %
Delprøve 3	0,048	0,012	0,060	394
Delprøve 4	0,199	0,016	0,215	1.240

Sammensætningen af plast i delprøve 3 og 4 er vist i FIGUR 19.



FIGUR 20. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 5. Det ses, at PE er den dominerende plasttyper. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette. For anlæg 5 forventes der ikke et væsentligt indhold af bioplast i prøven inden oprensning til analyse ud fra sammenligning med indhold >2 mm (FIGUR 13).

Plastsammensætningen i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensningsprocessen. En sammenligning af plasticsammensætningen imellem de to størrelsesfraktioner er vanskelig, idet antallet af partikler i fraktionen >2 mm var meget lavt. 1-2 mm-fraktionen er domineret af PE (50-79 %) og PP (6-28 %). Usikkerheden på fordelingen af polymerer er forholdsvis stor, da der er tale om identifikation af et begrænset antal partikler.

3.4.6 Anlæg 6

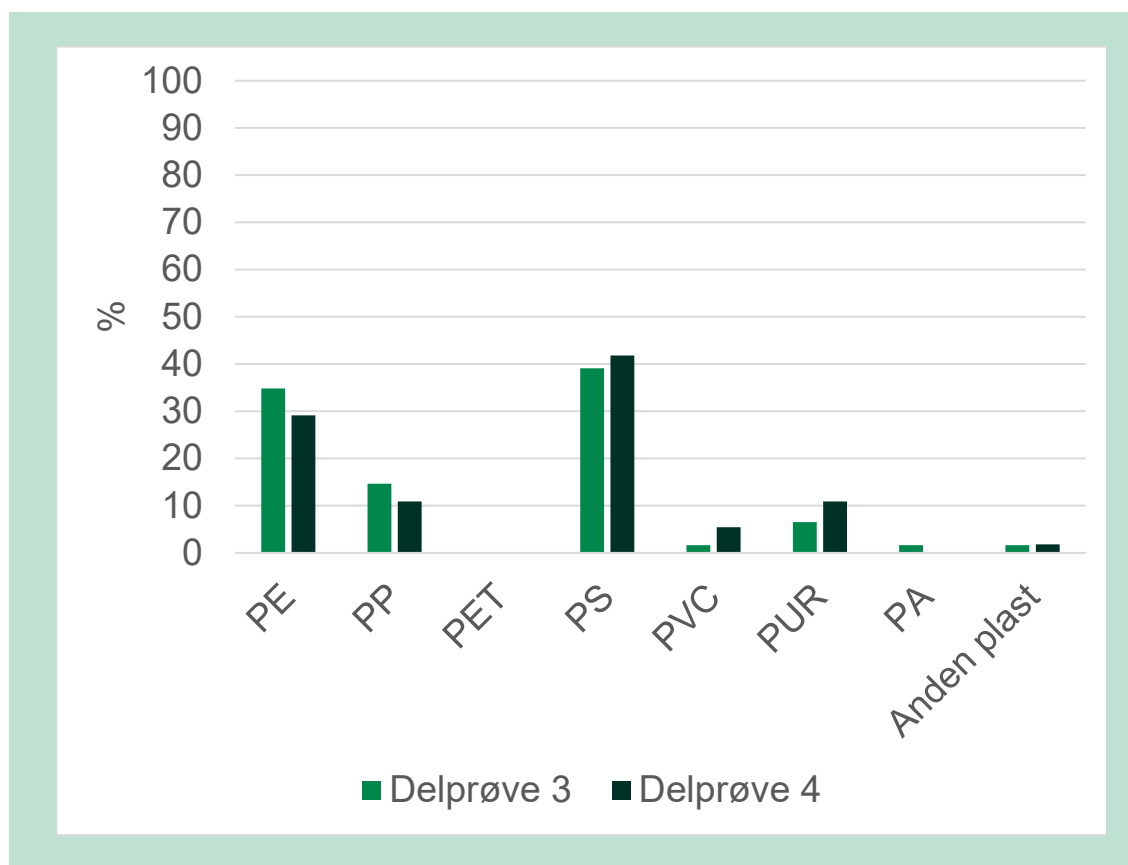
Analyserne viser, at arealet af de fysiske urenheder i intervallet 1-2 mm udgør omtrent samme areal som de fysiske urenheder >2 mm for prøverne efter polering (se TABEL 19). Det skal dog bemærkes, at prøverne efter polering stadig er 25 gange lavere end arealgrænseværdien på 1 cm²/% TS pr. l biopulp. Derimod observeres der kun en relativt begrænset forøgelse af arealet, når 1-2 mm-fraktionen inkluderes i arealbestemmelsen for prøverne før polering.

TABEL 19. Fysiske urenheder 1-2 mm, anlæg 6.

	Plastareal af partikler 1-2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partikler >1 mm cm ² /% TS/l biopulp	Forøgelse %
Delprøve 3 – før polering	0,13	1,81	1,94	7
Delprøve 4 – før polering	0,12	1,49	1,61	8
Delprøve 3 – efter polering	0,011	0,009	0,021	122
Delprøve 4 – efter polering	0,008	0,009	0,018	92

TABEL 19 viser en reduktion i plastarealet på ca. en faktor 200 for plastpartikler >2 mm og ca. en faktor 90 for partikler større end 1 mm som følge af poleringstrinnet.

I FIGUR 21 er vist resultaterne for sammensætning af plast i tilført plast inden polering.



FIGUR 21. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 6 i plast tilført før polering. Det ses, at de dominerende plasttyper udgøres af PE, PP og PS. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette. For plast tilført anlæg 6 forventes der ikke et væsentligt indhold af bioplast i prøven inden oprensning til analyse ud fra sammenligning med indhold >2 mm (FIGUR 14).

Sammensætningen af plast i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensingsprocessen. I fraktionen >2 mm blev der ikke fundet bioplast af Mater-Bi-typen. I størrelsesfraktionen >2 mm blev der for delprøve 3 og 4 fundet:

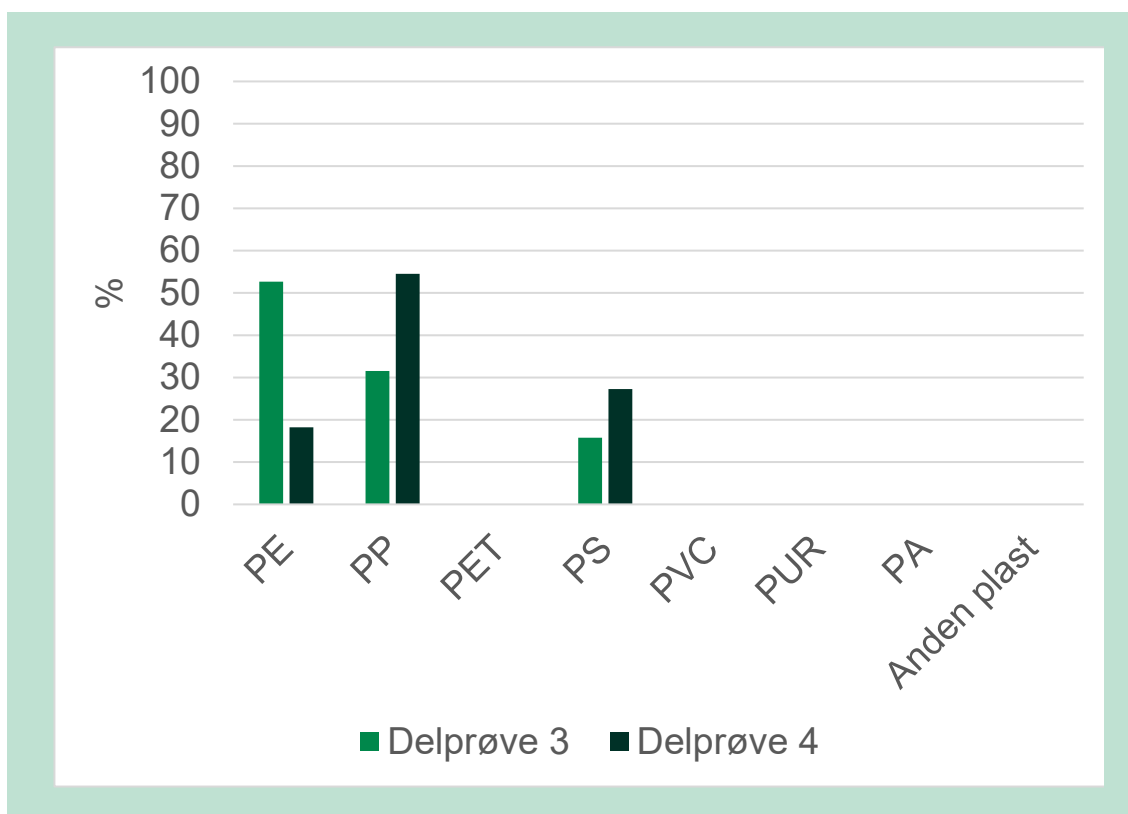
- 15- 25 % PE
- 17-23 % PP
- 17-19 % PS
- 9-12 % PUR
- 2-6 % PVC
- Lidt nitrilgummi, PET og anden plast.

I størrelsesfraktionen 1-2 mm blev der fundet et nogenlunde lignende fordelingsbillede med:

- 29-35 % PE
- 11-15 % PP
- 39-42 % PS
- 6-11 % PUR
- Lidt PVC, PA og anden plast med fundne eksempler på PMMA²² og ABS²³.

Usikkerheden på fordelingen af polymerer er forholdsvis stor, da der er tale om identifikation af et begrænset antal partikler.

I FIGUR 22 er vist resultaterne for sammensætning af plast i tilført plast efter polering.



FIGUR 22. Sammensætning af plast 1-2 mm i delprøve 3 og 4 for anlæg 6 i plast efter polering. Det ses, at der er sammenlignelige mængder af PE, PP og PS. Bioplast er undtaget, da det ikke var muligt at analysere for dette.

²² PMMA Poly (methyl methacrylat) også benævnt akryl.

²³ Acrylonitril butadien styren.

Sammensætningen af plast i fraktionen 1-2 mm omfatter ikke eventuel bioplast af Mater-Bi-typen, da denne bliver nedbrudt i oprensingsprocessen. I størrelsesfraktionen 1-2 mm blev der fundet et nogenlunde lignende fordelingsbillede som i størrelsesfraktionen <2 mm inden polering, hvor hovedfraktionerne var PE, PP og PS.

Indholdet i delprøve 3 og 4 efter polering blev bestemt til:

- 18-53 % PE
- 31-55 % PP
- 16-27 % PS.

Usikkerheden på fordelingen af polymerer er forholdsvis stor da der er tale om identifikation af et meget begrænset antal partikler.

3.5 Opsummering

I TABEL 20 er resultaterne for analyse af partikler ned til 2 mm opsummeret. Overordnet set viser analyserne, at:

- middelværdierne for alle seks anlæg overholder kravet i affald til jord-bekendtgørelsen² til synlige urenheder på 0,5 vægtprocent for totalindhold og 0,15 % samt arealgrænseværdien på 1,0 cm²/% TS
- biopulp fra anlæg med poleringstrin (anlæg 3 og 6) generelt set har en meget høj renhed ift. biopulp fra konventionelle forbehandlingsanlæg (anlæg 1, 2 og 4)
- der på tilsvarende vis observeres en meget høj renhed for anlæg 5 omregnet til indhold i tilført "renset pulp", hvor separationen af fysiske urenheder er foretaget efter den anaerobe udrådning.

TABEL 20. Opsummering af fysiske urenheder i henhold til bekendtgørelse (2 mm) for middelværdierne af delprøverne 1-4.

	Urenheder totalt i % af TS	Urenheder af plast i % af TS	cm ² /% TS/l biopulp
Anlæg 1	0,075 (0,01)	0,029 (0,02)	0,68 (0,43)
Anlæg 2	0,145 (0,07)	0,027 (0,01)	0,53 (0,19)
Anlæg 3 (poleret)	0,006 (0,01)	0,006 (0,01)	0,03 (0,02)
Anlæg 4	0,091 (0,04)	0,014 (0,01)	0,31 (0,1)
Anlæg 5 (omregnet)	0,0005 (0,0005)	0,0005 (0,0005)	0,013 (0,0095)
Anlæg 6 (poleret)	0,0004 (0,0004)	0,0004 (0,0004)	0,007 (0,005)

Plasttypebestemmelserne for analyserne af partikler ned til 2 mm viser, at der er god overensstemmelse mellem affaldsposetypen og de resulterende plasttyper i biopulpen. Således er der generelt en hovedandel af plastposer (enten LDPE eller bioposer) i biopulpen. Indholdet af bi-onedbrydelig plast udgøres udelukkende af bioposer af Mater-Bi og genfindes kun i de områder, hvor denne plastpose anvendes. For alle forbehandlingsanlæg ses der herudover eksempler på en række andre plasttyper:

- PP og PVC i folieform
- PS i folieform og opskummet form (flamingo)
- PUR-skum, muligvis fra skum-vaskeklude
- Mindre mængder PA og PET.

I TABEL 21 er analyseresultaterne for analyserne af plast ned til 1 mm opsummeret.

TABEL 21. Opsummering af fysiske urenheder i størrelsesfraktionen 1-2 mm for middel af delprøverne 3 og 4.

	Plastareal af partik- ler 1-2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partik- ler >2 mm cm ² /% TS/l biopulp	Plastareal af partik- ler >1 mm cm ² /% TS/l biopulp	Forøgelse af plastareal %
Anlæg 1	0,0295	0,325	0,354	9,1
Anlæg 2	0,052	0,497	0,549	10,5
Anlæg 3 (poleret)	0,056	0,018	0,074	305
Anlæg 4	0,03	0,295	0,325	10
Anlæg 5 (omregnet)	0,12	0,014	0,14	874
Anlæg 6 (poleret)	0,01	0,01	0,02	107

Overordnet set viser resultaterne, at:

- Forbehandlingsanlæg, hvor plastarealet af partikler >2 mm er tæt på grænseværdien for plastareal:
Der ses 9-11 % forøgelse af plastarealet ved foruden plastfraktionen med partikelstørrelse >2 mm at inkludere plastfraktionen med partikelstørrelse 1-2 mm (anlæg 1, 2 og 4). Altså er der kun en mindre forøgelse i plastarealet ved inkludering af 1-2 mm-fraktionen, og for de inkluderede forbehandlingsanlæg en ubetydelig indvirkning på, om de overholder grænseværdien for plastareal.
- Forbehandlingsanlæg, hvor plastarealet af partikler >2 mm er langt fra grænseværdien for plastareal:
Der observeres en stor procentuel forøgelse af plastareal (anlæg 3, 5 og 6). Den relative arealforøgelse er dog mindre end for upolerede prøver; således er de polerede biopulprøver under grænseværdien for plastareal, når 1-2 mm-fraktionen inkluderes.

1 mm-analyse - plasttyper

Fordelingen af ikke-bionedbrydelig plast i 1-2 mm-fraktionen er i grove træk sammenlignelig med plastfordelingen for plast >2 mm forstået således, at plast, som findes i større mængder i fraktionen >2 mm, også genfindes som små partikler i fraktionen 1-2 mm. Det formodes, at der også vil være rester af bionedbrydelig plast (Mater-Bi) for fraktionen 1-2 mm for de anlæg, hvor denne plasttype anvendes til indsamling af affaldet. Dog har det ikke været muligt at bestemme mængden af bionedbrydelig plast grundet den anvendte oprensningstype.

I projektet blev der yderligere dokumenteret en god effekt af to anvendte poleringstrin:

- Effekten af et poleringstrin i anlæg 3 har vist en reduktion i fysiske urenheder på ca. en faktor 12 (vægtbaseret) for plast >2 mm
- Effekten af et poleringstrin i anlæg 6 er meget stor med en reduktion på ca. 200 gange (arealbaseret) for indhold af plast >2 mm og på 90 gange for plast >1 mm.

Sammenligning af 1 mm-analyse ift. 2 mm-analyse

1 mm-analysen er ift. den gængse 2 mm-analyse meget arbejdsstung, idet en oprensningssprocedure er påkrævet for at kunne udsortere de fysiske urenheder fra andet organisk materiale, som tilbageholdes på sigten ifm. analysen. Der ses kun en mindre forøgelse af plastarealet for de inkluderede forbehandlingsanlæg, hvor plastarealet i forvejen er relativt tæt på arealgrænseværdien, hvorfor en udsortering til 1 mm vurderes for omfattende at etablere i forhold til den ekstra mængde plast på i størrelsesordenen 10 %, som findes for anlæg 1, 2 og 4.

Bilag 1. Modtaget affald på forbehandlings- og poleringsanlæg

Bilag 1.1 Anlæg 1

I det følgende er vist eksempler på modtaget organisk affald, samt behandlede fraktioner ved anlæg 1.



FIGUR 23. Indgående særskilt indsamlet køkken- og madaffald til biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 1.



FIGUR 24. Indgående industriaffald til biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 1.



FIGUR 25. Afvandet rejekt fra biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 1. Rejektet består primært af forskellige plastmaterialer.

Bilag 1.2 Anlæg 2

I det følgende er vist eksempler på modtaget organisk affald, samt behandlede fraktioner ved anlæg 2.



FIGUR 26. Indgående affald til biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 2.



FIGUR 27. Afvandet rejekt fra biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 2. Rejektet består primært af forskellige plastmaterialer, som genbruges i det omfang, det er muligt. Den resterende mængde rejekt, som ikke kan genbruges, sendes til forbrænding.

Bilag 1.3 Anlæg 4

I det følgende er vist eksempler på modtaget organisk affald, samt behandlede fraktioner ved anlæg 4.



FIGUR 28. Indgående affald til biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 4.



FIGUR 29. Rejekt fra biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 4. Rejektet består primært af forskellige plastmaterialer.

Bilag 1.4 Anlæg 5

I det følgende er vist eksempler på modtaget organisk affald, samt behandlede fraktioner ved anlæg 5.



FIGUR 30. Indgående særskilt indsamlet køkken- og madaffald i papirposer til biopulpproduktion ved forbehandlingsanlæg 5.

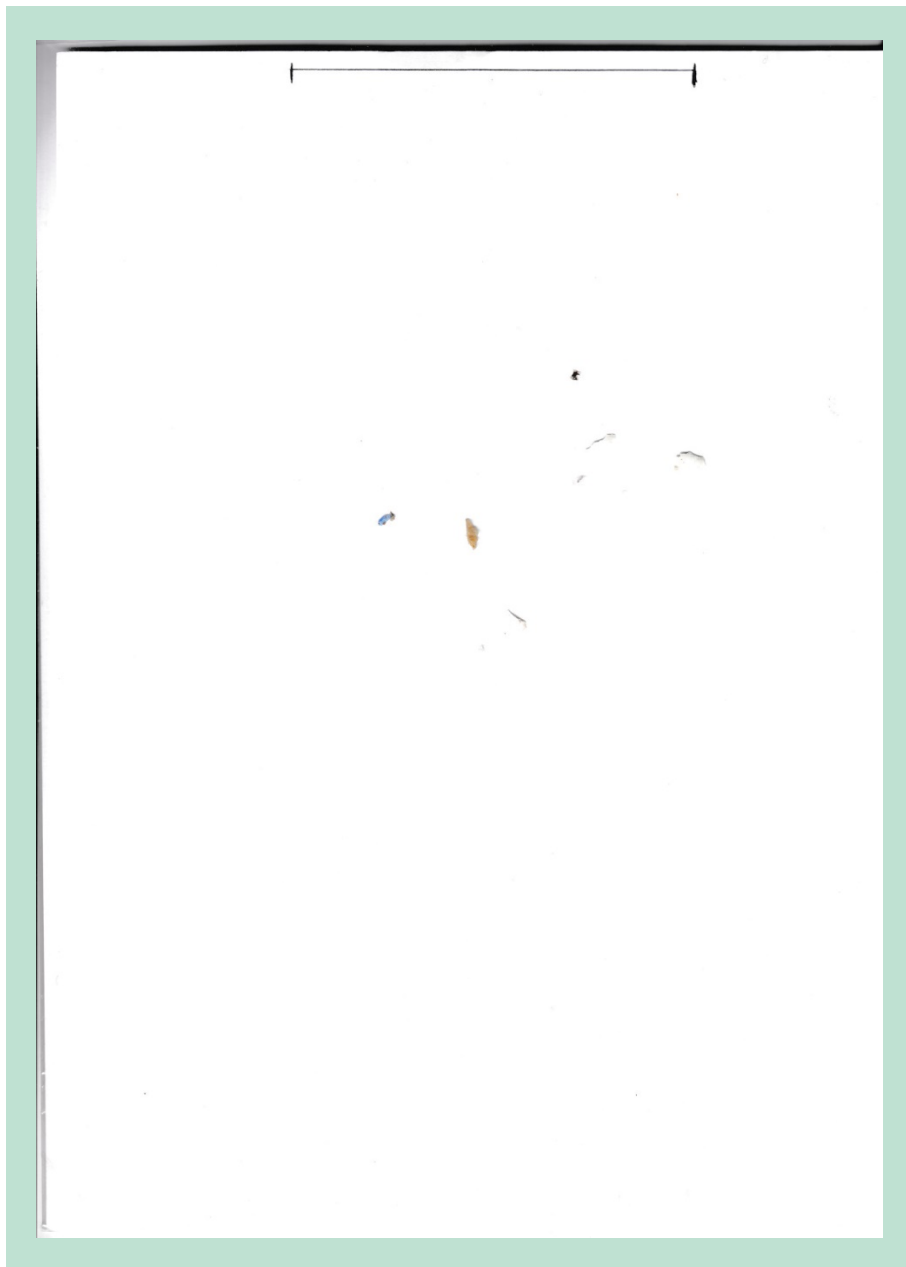


FIGUR 31. Rejekt fra forbehandlingsanlæg 5. Rejektet består primært af vandet slam og mindre plaststykker.

Bilag 2. Bestemmelse af plastindhold og type

Bilag 2.1 Eksempler arealbestemmelse

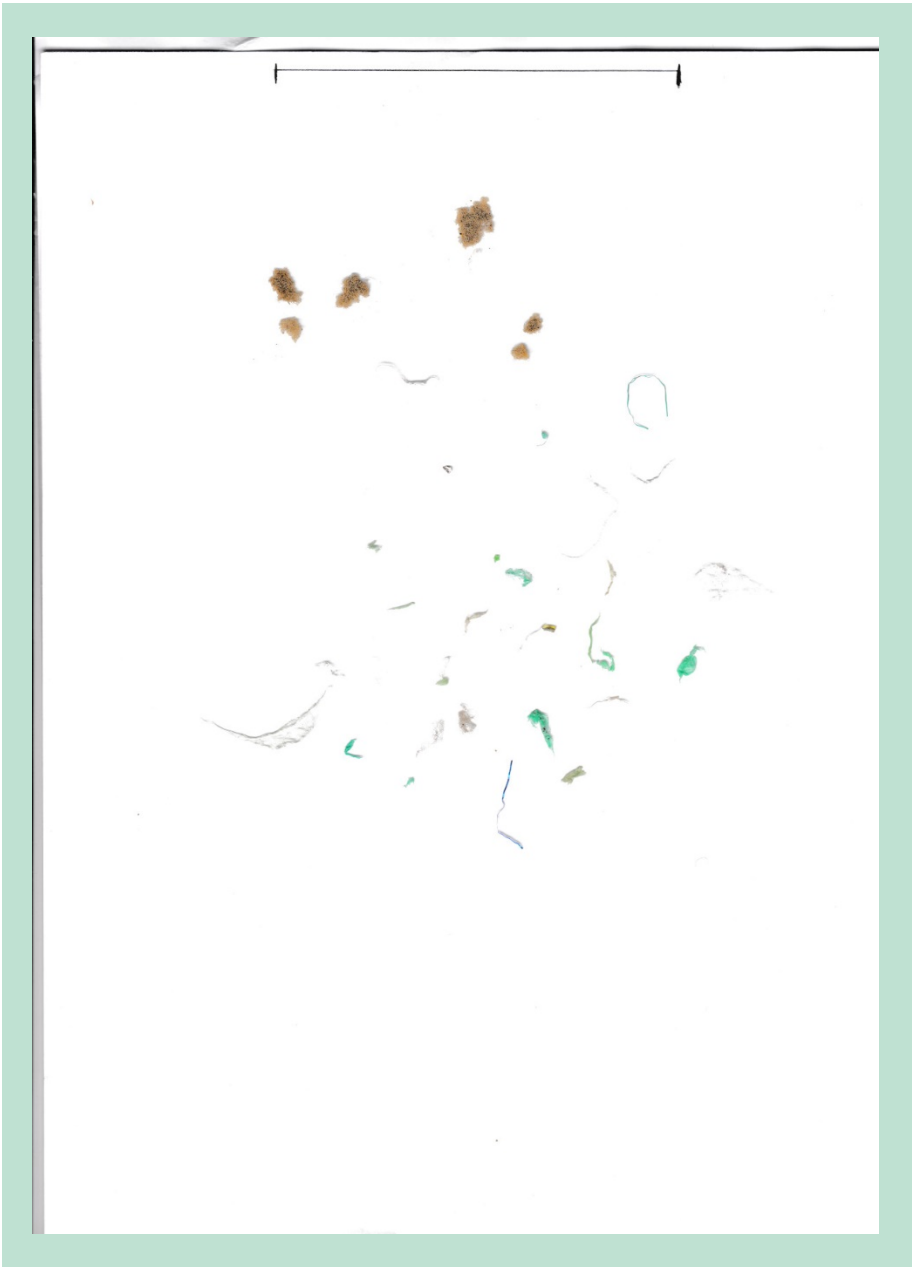
I dette bilag er vist eksempler på bestemmelse af plastareal.



FIGUR 32. Anlæg 3, delprøve 1. Plastpartikler til areal bestemmelse - markering = 10 cm.



FIGUR 33. Anlæg 3, delprøve 1. Bestemt areal.



FIGUR 34. Anlæg 4, delprøve 1. Plastpartikler til arealbestemmelse - markering = 10 cm.



FIGUR 35. Anlæg 3, delprøve 1. Bestemt areal.

Bilag 2.2 Eksempler på typiske plasttyper i biopulp

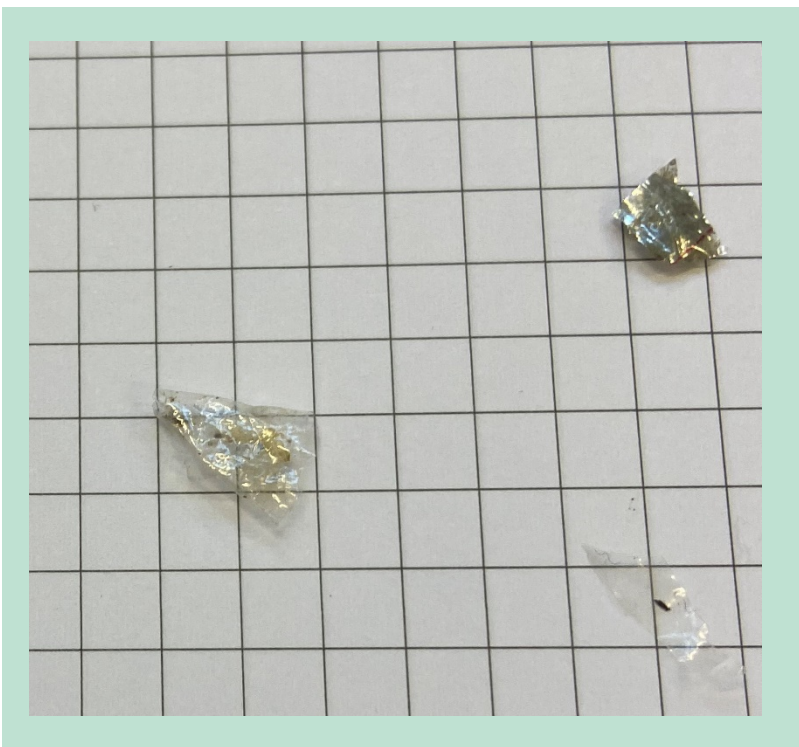
I dette bilag er vist typiske eksempler på fundet plast i fraktionerne >2 mm i prøverne fra anlæggene.



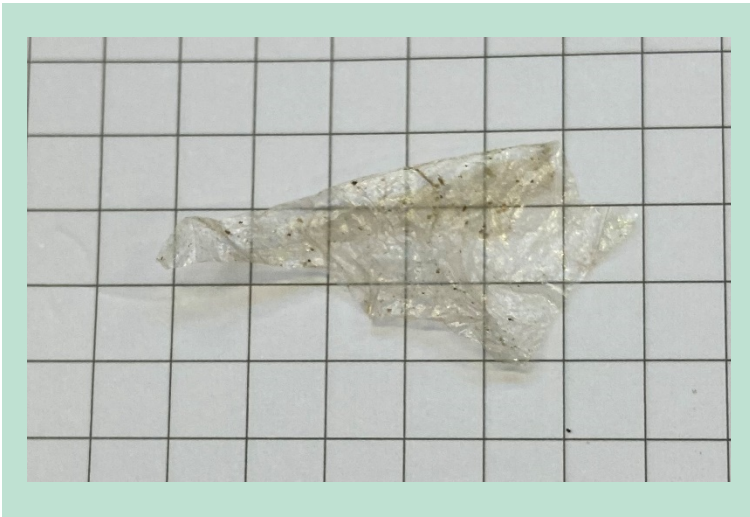
FIGUR 36. Bioposer (Mater-Bi-type), afstand tern = 5 mm.



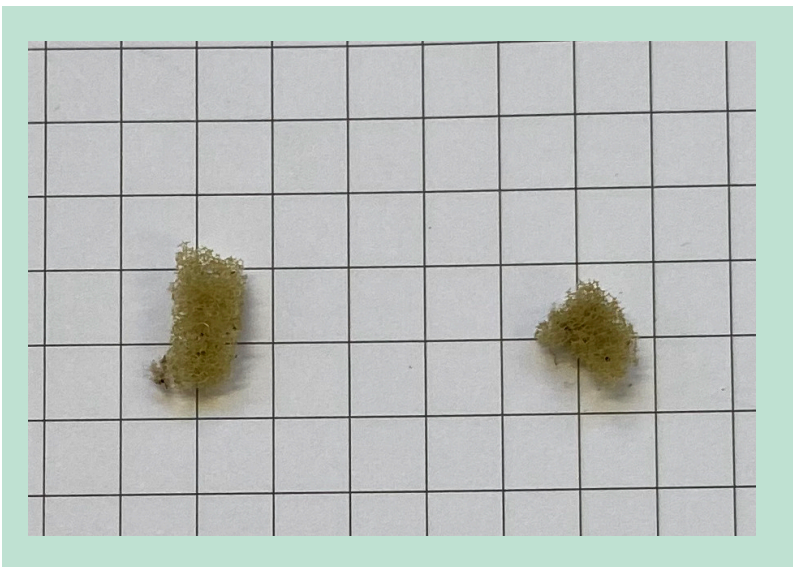
FIGUR 37. LDPE-folieplast.



FIGUR 38. PP-folie.



FIGUR 39. PVC-folie.

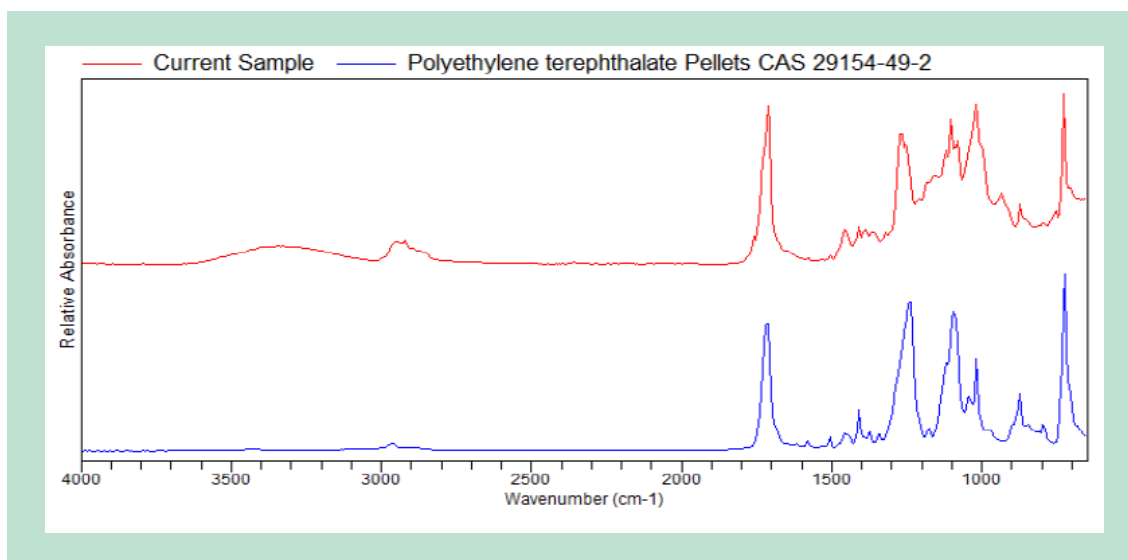


FIGUR 40. PUR-skum.

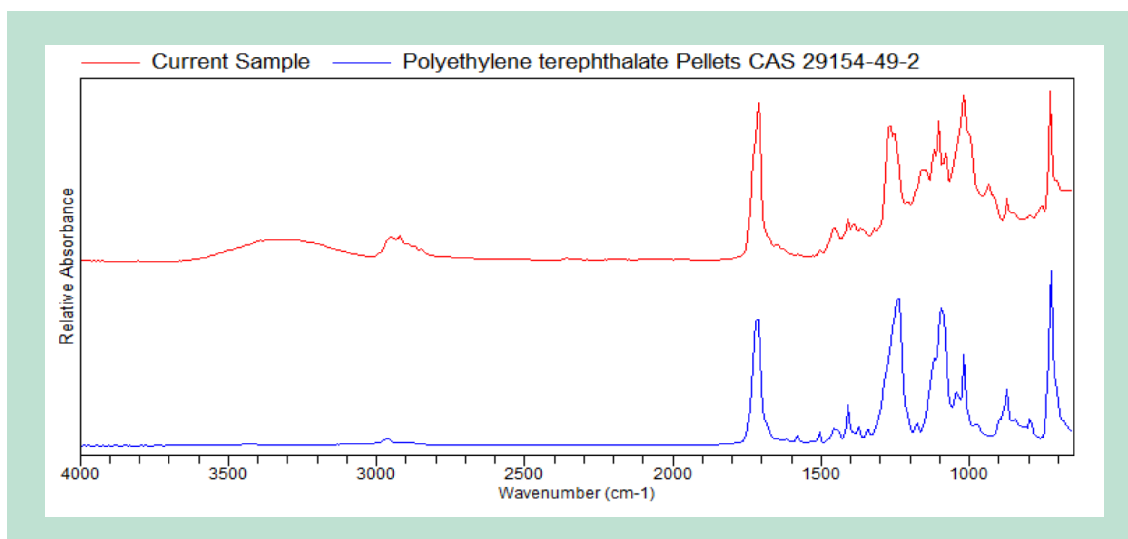
Bilag 2.3 FTIR-spektre af hyppigst forekommende plasttyper

I dette bilag er vist eksempler på FTIR-spektre af de mest almindelige plasttyper, som er fundet i prøverne fra anlæggene.

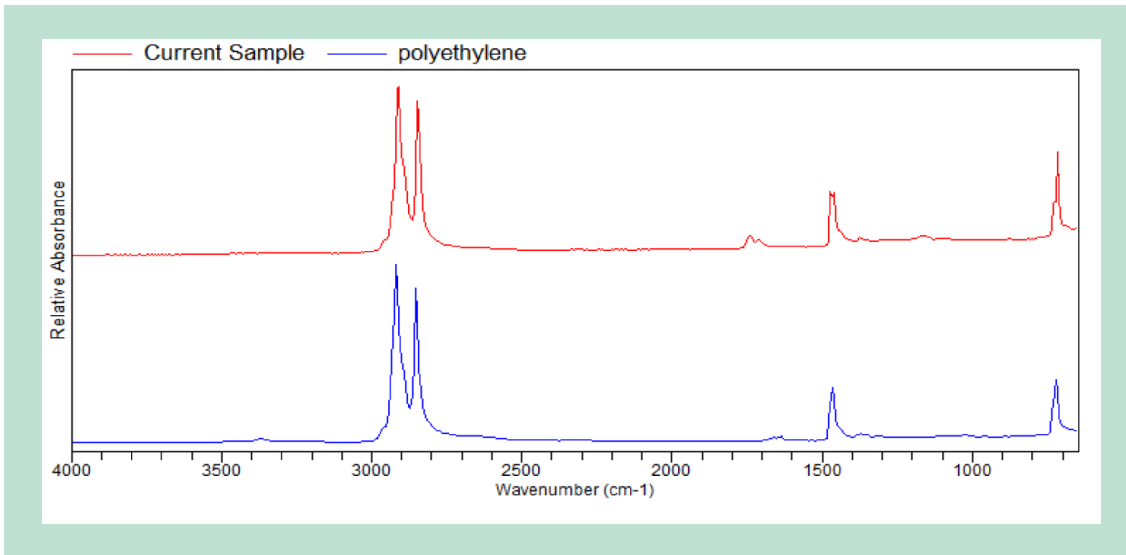
Nedenfor er vist to referenceeksempler på bioposer på det danske marked. De analyserede bioplastpartikler viste lignende spektre. Det ses, at spektrene ligner PET. For at kunne genkende PET-folie fra Mater-Bi-folie fra poser, blev der inddraget materialeteknisk viden fra eksperter ved Teknologisk Institut, idet PET-folie er mere uelastisk end den elastiske folie i Mater-Bi-baserede poser, som er elastiske.



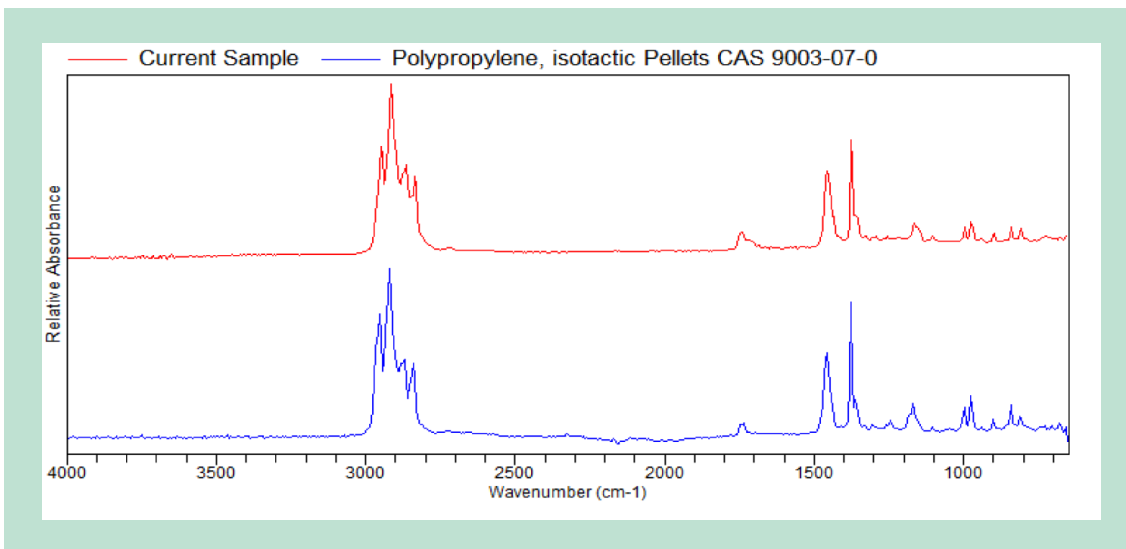
FIGUR 41. Reference af dansk, gul biopose.



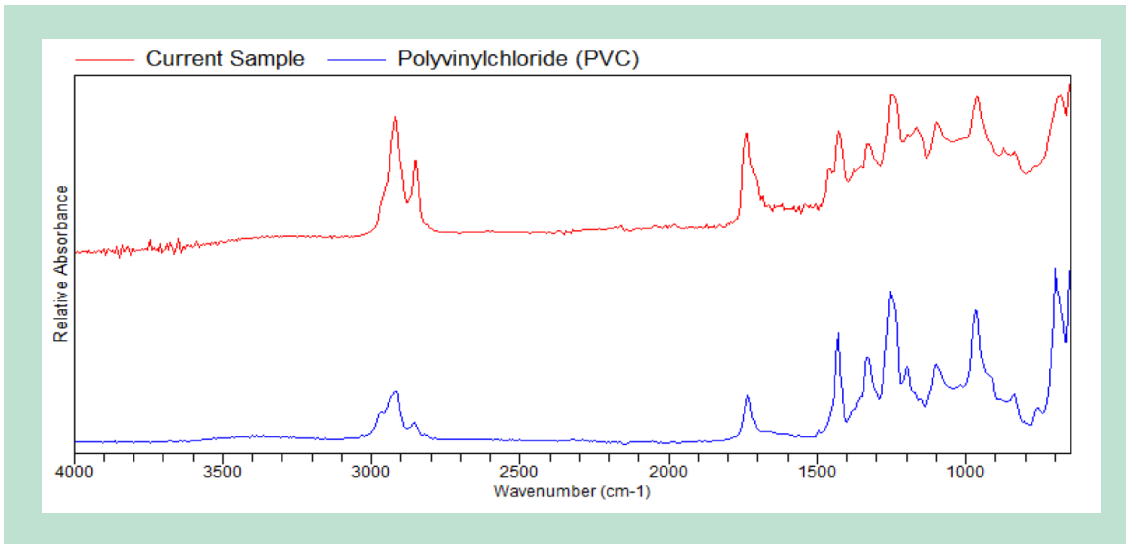
FIGUR 42. Reference af dansk, grøn biopose.



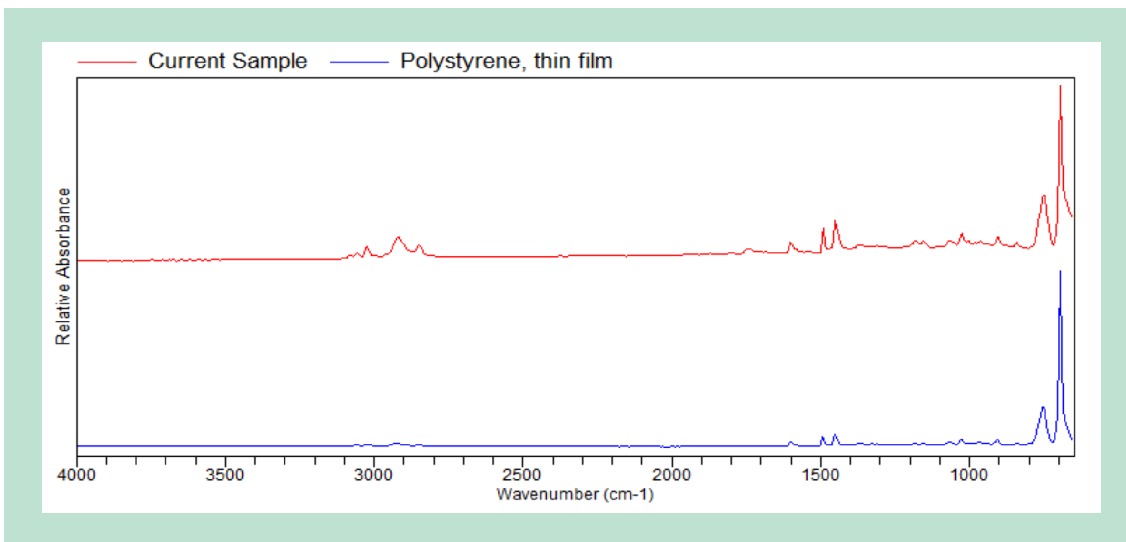
FIGUR 43. PE.



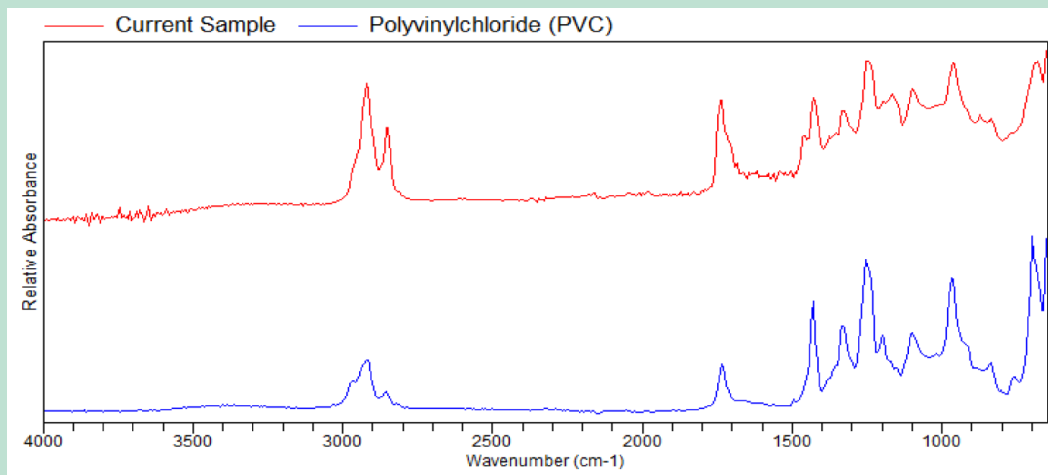
FIGUR 44. PP.



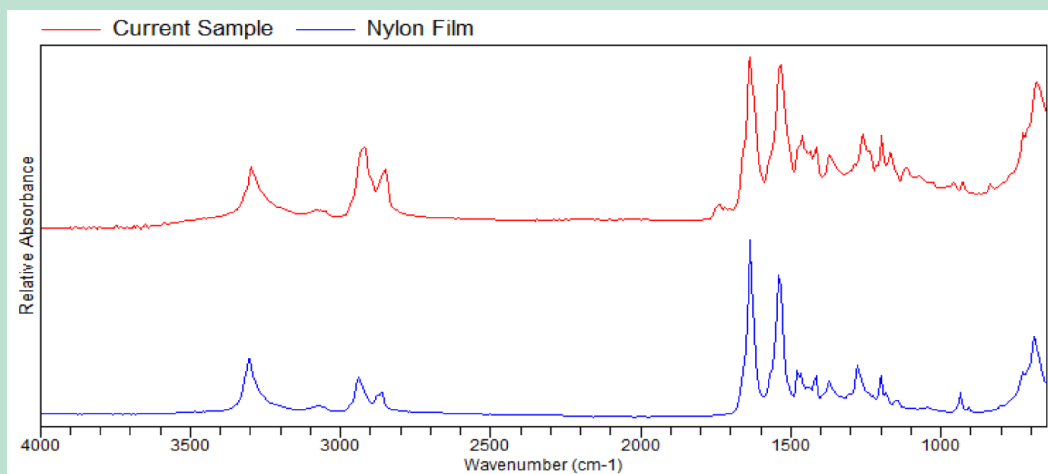
FIGUR 45. PVC.



FIGUR 46. PS.



FIGUR 47. PVC.



FIGUR 48. PA.

Bilag 3. Omregning

I anlæg 5 er prøve udtaget i afløb fra en skruepresse, som filtrerer urenheder fra afgang af en termofil rådnetank, der udrådner en blanding af spildevand og særskilt indsamlet køkken- og madaffald.

For at kunne sammenligne med resultater for de øvrige anlæg er der udført et estimat af indholdet i den tilførte særskilt indsamlet køkken- og madaffald, efter at den er blevet rensat.

Estimering af plastindhold i tilført særskilt indsamlet køkken- og madaffald er udført i en opstillet beregningsmodel baseret på følgende data:

- særskilt indsamlet køkken- og madaffald og slam til biogasanlægget tilføres i forholdet 1,5 t særskilt indsamlet køkken- og madaffald til 16 ton slam.
- Det antages, at slam og særskilt indsamlet køkken- og madaffald udrådnes, med en vis udrådningsgrad, fx at 50 % udrådnes.
- Det antages, at tørstof, TS, i særskilt indsamlet køkken- og madaffald = 15 % (typisk TS i særskilt indsamlet køkken- og madaffald er 12-18 %, som det ses for anlæg 1-4).
- Tørstof i den analyserede prøver er analyseret til ca. 1,9 %.

For en given udrådningsgrad beregner modellen en faktor f som indhold af plast og areal af plast skal korrigeres med for at estimere indholdet af plast i den tilførte biopulp som:

- % af TS i en liter pulp
- Plastareal af partikler 1-2 mm i $\text{cm}^2/\%$ TS/l biopulp.

Med 50 % udrådningsgrad beregnes faktoren f til 1,45 (dvs. at målt plastkoncentration i udtaget prøve skal ganges med 1,45 for at beregne en estimeret koncentration i den oprindelige biopulp).

Den beregnede faktor f er forholdsvis upåvirket over for variation i antaget udrådningsgrad, men faktoren f er meget påvirkelig af den antagne tørstofprocent i særskilt indsamlet køkken- og madaffald, hvorfor resultatet er behæftet med en væsentlig usikkerhed.

Ved 12 % TS beregnes en faktor $f = 1,8$ og ved 18 % TS beregnes en faktor $f = 1,2$ i den opbyggede beregningsmodel.

Undersøgelse af fysiske urenheder i biopulp

Projektet har til formål at undersøge kvaliteten af biopulp i forhold til indhold af fysiske urenheder, herunder at indsamle viden omkring sammensætningen af plastpolymerer i biopulpen og teste effekten af brugen af en 1 mm sigtestørrelse fremfor 2 mm.

I projektet blev 6 anlæg af forskellige forbehandlingstyper udvalgt til prøvetagning og analyse, hvor størstedelen af anlæggene håndterede særskilt indsamlet køkken- og madaffald fra husholdninger og erhverv med husholdningslignende affald. Et enkelt anlæg håndterede tidligere fødevarer og madaffald fra service/industri.

For hvert anlæg blev der for 4 delprøver anvendt 2 mm sigtestørrelse for fundne fysiske urenheder. Af de 4 delprøver blev 2 yderligere analyseret for fundne fysiske urenheder med anvendelse af 1 mm sigtestørrelse.

På baggrund af analyserne for 2 mm er det fundet, at middelværdierne for de valgte anlæg overholder grænseværdierne for fysiske urenheder i Affald til jord-bekendtgørelsens bilag 2, og at anlæg med poleringstrin generelt har en højere renhed ift. konventionelle forbehandlingsanlæg. Indholdet af plastpolymerer blev hovedsageligt identificeret til LDPE eller Mater-Bi (bioposer).

På baggrund af analyserne ned til 1 mm er det fundet, at alle anlæg overholder grænseværdierne. Der observeres samtidig en forøgelse i fund af plastindhold. Især anlæg med lave værdier for plastindhold ned til 2 mm viser stor procentuel forøgelse, hvilket skyldes en større følsomhed. Fordelingen af plast er sammenlignelig med 2 mm-analyserne.

Projektet viser, at 1 mm-analysen er meget arbejds tung pga. oprensningssprocedurer, og en udsortering til 1 mm vurderes for omfattende at etablere ift. gevinsten og på baggrund af overholdelse af nuværende grænseværdier.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk