



SINTEF



Rapport

Dokumentasjon og testing av plastalternativ for interleave-pakking av hvitfiskfilet

Faglig sluttrapport

Forfatter(e):

Andreas Støbbakkvik Austnes, Solveig Uglem, Sigurd Korsnes og Eirik Starheim Svendsen

Rapportnummer:

2023:00901 - Åpen

Oppdragsgiver(e):

Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

Rapport

Dokumentasjon og testing av plastalternativ for interleave-pakking av hvitfiskfilet

Faglig sluttrapport

EMNEORDEmballasje;
Plastalternativ;
hvitfiskfilet; Celnor
CS101; Biodolomer®**VERSJON**

2

DATO

2023-09-27

FORFATTER(E)

Andreas Støbakkvik Austnes, Solveig Uglem, Sigurd Korsnes og Eirik Starheim Svendsen

OPPDRAGSGIVER(E)Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfinansiering
(FHF)**OPPDRAGSGIVERS REFERANSE**

901670

PROSJEKTNUMMER

312000153

ANTALL SIDER OG VEDLEGG

33 + 1

SAMMENDRAG

Norsk fiskeindustri benytter i dag store mengder plast til emballering av fiskevarer. Alternative og mer miljøvennlige emballasjeprodukter, kan bidra til å styrke omdømmet til norsk sjøfrossen filet. Prosjektet har vurdert et biologisk nedbrytbart plastalternativ (Celnor CS101), og dokumentert effekten av filmen som et alternativ til konvensjonell plast brukt til interleave-pakking av hvitfiskfilet. Tilbakemeldinger fra industrielle tester viser at Celnor CS101 fungerer godt både på rull og som plastark. Den største utfordringen ser ut til å være knyttet til vedheft ved avemballering av tint fisk. Dette gir likevel ingen synlig skade på fileten etter avemballering.

Lagingsstudien viste at kvaliteten på fisken holdt seg svært godt gjennom lagringstiden på 24 måneder for både konvensjonell plast og Celnor CS101. Det ble ikke observert endret funksjonalitet eller utseende på plastalternativet etter endt lagringstid.

Interleave-plasten oppstår først og fremst som avfall hos fish & chips-næringen i Storbritannia. Basert på dagens avfallsinfrastruktur i Storbritannia vil kompostering være den mest aktuelle metoden for avfallsbehandling for produktet.

Bionedbrytbare polymerer koster ofte mye mer enn petroleumsbaserte polymerer. Dette er også tilfelle for Celnor CS101. Det kan være nødvendig med økonomiske insentiv for at nye nedbrytbare plastalternativer skal foretrekkes.

UTARBEIDET AV

Andreas Støbakkvik Austnes

SIGNATUR


Andreas Austnes (Sep 30, 2023 08:25 GMT+2)**KONTROLLERT AV**

Robert Wolff

SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Kristian Voksøy Steinsvik

SIGNATUR

**RAPPORT NR.**

2023:00901

ISBN

978-82-14-07850-3

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2023-08-22	Utkast
2	2023-09-27	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	5
2	Summary	6
3	Innledning.....	7
4	Problemstilling og formål.....	10
5	Prosjektgjennomføring	11
5.1	Leveranseoversikt	11
5.2	Metoder	12
5.2.1	Praktisk bruk	12
5.2.2	Materialeegenskaper.....	12
5.2.3	Lagringsstudie	12
5.2.3.1	Innfrysning	12
5.2.3.2	Analyse.....	12
5.2.4	Forbrukertest.....	14
5.2.5	Avfallshåndtering.....	14
5.2.6	Statistikk	14
6	Resultater og diskusjon	15
6.1	Biodolomer® og Celnor CS101	15
6.1.1	Visuelle egenskaper Celnor CS101	15
6.1.2	Materialeegenskaper.....	16
6.1.3	Punkteringsstyrke	17
6.1.4	Praktisk bruk	18
6.2	Lagringsstudie	20
6.2.1	Innfrysning	20
6.2.2	Kvalitetsvurdering.....	20
6.2.3	Forbrukertest.....	22
6.3	Avfallshåndtering av Celnor CS101	23
6.3.1	Avfallsforebygging	23
6.3.2	Ombruk.....	23
6.3.3	Materialgjenvinning.....	23
6.3.3.1	Kompostering	24
6.3.3.2	Anaerob nedbrytning.....	25
6.3.4	Energiutnyttelse	26
6.3.5	Oppsummering	26
6.4	Miljøpåvirkning	29

6.4.1	Plast på avveie	29
6.5	Kostnadsvurdering	30
7	Hovedfunn	31
8	Referanser	32

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1 Beregninger

1 Sammendrag

Norsk fiskeindustri benytter i dag store mengder plast- og blandingsemballasje for emballering av fiskevarer. Alternative og mer miljøvennlige emballasjeprodukter, kan bidra til å styrke omdømmet til norsk sjøfrossen filet. Prosjektet har vurdert et biologisk nedbrytbart plastalternativ (Celnor CS101), basert på Biodolomer®, og dokumentert effekten av filmen som et alternativ til konvensjonell plast brukt til interleave-pakking av hvitfiskfilet.

Celnor CS101 er mindre glatt enn plasten som brukes i dag, og under praktiske tester var den enkel å håndtere, selv med våte hansker/hender. Materialtester viste at Celnor CS101-film tåler noe mindre belastning før det oppstår brudd/skade på filmen sammenlignet med kontrollplasten, men at filmen har tilstrekkelig styrke til å beskytte fileten under pakking og lagring.

Tre tykkelser av Celnor CS101-film ble vurdert i prosjektet. To av filmene ble valgt ut til gjennomføring av en lagringsstudie som gikk over to år på fryseler, tilsvarende angitt holdbarhetstid for produktet. Både fileter av torsk og hyse ble vurdert med hensyn på kvalitet. For sammenligning ble fileter også pakket i konvensjonell plast. Produktkvalitet- og holdbarhet er vurdert sensorisk, ved mikrobiell kvalitet og uttørking/drypstat. I tillegg er det gjennomført visuelle observasjoner og sammenligning av emballasjen ved totalt fire uttak. Basert på sensoriske vurdering og mikrobiologiske analyser, holdt kvaliteten på fisken seg svært godt gjennom hele lagringstiden. Dette gjaldt både fileter emballert i kontrollplasten og begge tykkelsene av Celnor CS101. Det ble ikke observert at hverken Celnor CS101- filmene eller kontrollplasten hadde endret funksjonalitet eller utseende gjennom lagringstiden på 24 måneder.

Den største utfordringen med Celnor CS101 ser ut til å være knyttet til vedheft ved avemballering av tint fisk. Fiskefiletene (kjøttiden) henger fast i Celnor CS101-filmene og det observeres signifikant mer vedheft til Celnor CS101-filmene sammenlignet med kontrollplasten. Det samme ble observert i tinetester og det er derfor utarbeidet en veileder som beskriver at fileter pakket i Celnor CS101 bør få et lite «kakk» og tempereres i kort tid før de avemballeres for å unngå brukskontaminering.

Basert på dagens avfallsinfrastruktur i Storbritannia og utfordringer knyttet til bruken av Celnor CS101 i industrielle biogassanlegg, vil kompostering være den mest aktuelle metoden for avfallsbehandling. Vår kartlegging viser imidlertid at det er klare begrensninger knyttet til denne løsningen siden den er avhengig særskilte tilleggsavtaler for håndtering av avfall.

Plasten som i dag benyttes til interleave pakking av filet er forurensset i en slik grad at den ikke går til resirkulering, men blir sendt til forbrenning eller deponi. Dette kan være et godt argument for å bytte til biobasert bionedbrytbar plast som i begge scenarioer (kompostering og forbrenning) vil være bedre enn forbrenning av fossilbasert plast.

Bionedbrytbare polymerer koster ofte mye mer enn petroleumsbaserte polymerer. Dette er også tilfelle for Celnor CS101. Det kan være nødvendig med økonomiske insentiv for at nye nedbrytbare plastalternativer skal foretrekkes.

Prosjektet er finansiert av Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF).

2 Summary

The Norwegian fishing industry utilizes great amounts of plastic and mixed packaging for the packaging of fish products. A transition to alternative packaging materials that are more environmentally friendly can strengthen the reputation of Norwegian sea-frozen filets frozen. This project has evaluated a Biodolomer®-based biodegradable plastic alternative (Celnor CS101) and documented its performance when used as an alternative to conventional plastic used for interleave packaging of whitefish filets.

Practical testing showed that Celnor CS101 was easy to handle, even with wet gloves or hands, due to its less smooth finish compared to conventional plastic. Material testing of Celnor CS101 showed that it can withstand slightly less stress before rupture/damage occurs. However, it also showed that the film has sufficient strength to protect filets during packaging and storage.

A storage study has been conducted to document the quality of cod and haddock filets stored for two years in cold storage, corresponding to the shelf life of the product. Both the quality and lasting ability of the filets were assessed by sensory evaluation, by microbial quality and through drying/drip loss. In addition, the packaging was evaluated by visual observations four different times throughout the storage time. Based on both the sensorial assessment and microbial analysis, it can be said that the quality of the fish remained very good throughout the whole 24-month storage period. This was true for filets packaged with Celnor CS101 in two different thicknesses, as well as the control filets packaged with conventional plastic. None of the visual observations of the Celnor CS101 plastic films indicated any change in functionality or visual appearance throughout the 24-month storage time. The same was observed for the control (conventional) plastic.

The biggest challenge when using Celnor CS101 seems to be adhesion of the film to the fillet when trying to remove the packaging from thawed filets. The filets (flesh side) stick to the Celnor CS101 films significantly more than to the control plastic film. The same was observed in thawing tests, and guidelines have therefore been developed to describe that filets with Celnor CS101 packaging should be given a gentle tap and be tempered briefly before unpacking to prevent usage contamination.

Due to the waste infrastructure in Great Britain, as well as issues connected to the use of Celnor CS101 in industrial biogas facilities, composting stands out as the most applicable waste management solution. However, our investigations show that there are limitations when it comes to composting since it requires special supplementary agreements for waste management.

The plastic currently in use for interleave packaging is contaminated to such a degree that it is not recycled, but instead it is incinerated or sent to landfills. This can be a good argument for switching to bio-based biodegradable plastic, which in both cases (composition or incineration) will be a better alternative than incineration fossil-based plastic.

Biodegradable polymers often have a higher price than petroleum-based ones, and this is also the case for Celnor CS101. Financial incentives may be necessary for new degradable plastic alternatives to be preferred.

The project is funded by the Norwegian Seafood Research Fund (FHF).

3 Innledning

Norsk fiskeindustri benytter hvert år store mengder plast- og blandingsemballasje som skal beskytte fiskevarer, samt bidra til å sikre holdbarhet og kvalitet. Ifølge tall fra Norges Sjømatråd har eksporten av fryst filet av hvitfisk de siste årene ligget på mellom 6 – 10 000 tonn. Filetene fryses i mindre plater (6,81 kg) og pakkes som regel i små kartonger med plastskille mellom hvert lag av filet ("interleaved"). Deretter blir tre kartonger pakket i en masterkartong. Det brukes opp mot 3 meter plastfilm per plate, og beregninger viser at på en normal tur kan det gå med rundt 150 000 meter plastfilm, tilsvarende 21 gram plast per kilo fisk. Storbritannia er det klart største markedet for disse produktene.

Interleaveplasten oppstår først og fremst som avfall hos fish & chips-næringen i Storbritannia. For at plastalternativer skal kunne være et godt alternativ til konvensjonell plast for emballering av hvitfiskfilet, må avfallet kunne håndteres på en hensiktsmessig måte der det oppstår.

EUs rammedirektiv for avfall, herunder avfallshåndteringshierarkiet som illustrerer prioriteringene i regelverket, gjelder for alle EU- og EØS-land. Hierarkiet fungerer både som en retningslinje og som lovfestede betingelser for bærekraftig håndtering av avfall. Hierarkiet (figur 1) rangerer alternativer for avfallshåndtering med hensyn til hva som er best for miljøet.

AVFALLSHIERARKIET

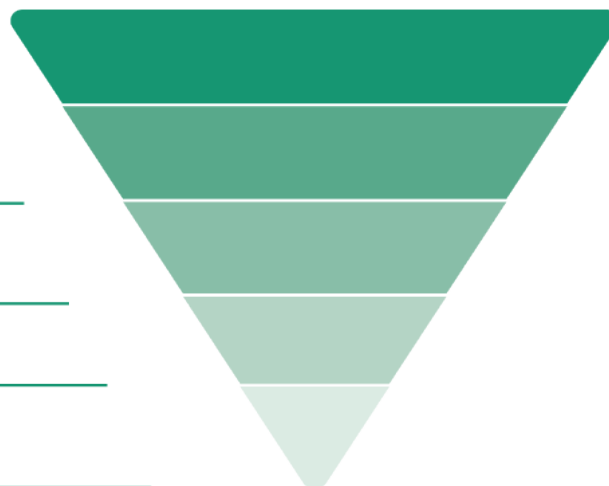
Avfallsforebygging
Hindre at avfallet oppstår

Ombruk
Bruke gjenstander om igjen

Materialgjenvinning
Bruke materialer fra avfall til å lage nye produkter

Energiutnyttelse
Brenne med energiutnyttelse

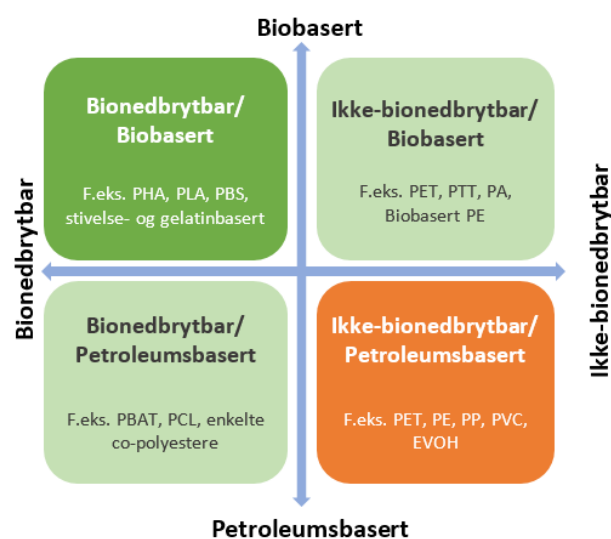
Sluttbehandling
Brenne uten energiutnyttelse
Legge på avfallsdeponi



Figur 1 Illustrasjon av avfallshierarkiet. Hentet fra Meld. St. 45 (2016–2017).

I dag benytter næringen fossilbasert plast mellom filetene. Den mest brukte plasttypen er LDPE (low density polyetylen). Polyetylen er billig, enkel å produsere og blir brukt til mange ulike formål. Plasten er mye brukt til emballering av mat, særlig i form av plastfilm, og er godt egnet til fryste produkter. LDPE er også velegnet for gjenvinning i henhold til etablerte verdikjeder, enten som materiale i nye produkter eller ved energigjenvinning.

I tillegg til de tradisjonelle plasttypene, er det i senere tid kommet flere såkalte biobaserte og bionedbrytbare plastprodukter på markedet, ofte omtalt med samlebegrepet *bioplast*. Dette begrepet er imidlertid noe misvisende, da *biobasert* og *bionedbrytbar* plast er forskjellige materialer med ulike egenskaper (Deloitte, 2019; Miljødirektoratet, 2018). *Biobaserte* plastprodukter er basert på polymerer som har sitt opphav fra biomasse, slik som vegetabiliske oljer, maisstivelse eller sukkerrør (Asgher et al, 2020; Miljødirektoratet, 2018). Blant de biobaserte plastproduktene finner vi også såkalt *Drop-in* plast som har lik kjemisk struktur og egenskap som fossilbasert plast (som PE, PP og PET) (Deloitte, 2019). Denne platen kan materialgjenvinnes sammen med fossilbasert plast, men er ikke *bionedbrytbar*. Den vil derfor ha tilnærmet samme negative miljøkonsekvenser som vanlig plast dersom det kommer på avveie.



Figur 2 Oversikt over ulike plastprodukter tilgjengelig i markedet (Figur basert på Ashger et al. (2020)).

Alle typer plast er i prinsippet nedbrytbare, men for bestandige plastmaterialer kan nedbrytningstiden være opptil flere hundre år. Nedbrytbar plast skiller seg fra bestandige plasttyper med hensyn til tiden nedbrytningen tar. *Bionedbrytbar* plast brytes delvis eller fullstendig ned ved hjelp av mikroorganismer til karbon, hydrogen og oksygen som følge av hydrolyse, lysnedbrytning og mikrobiologisk aktivitet (UNEP, 2015).

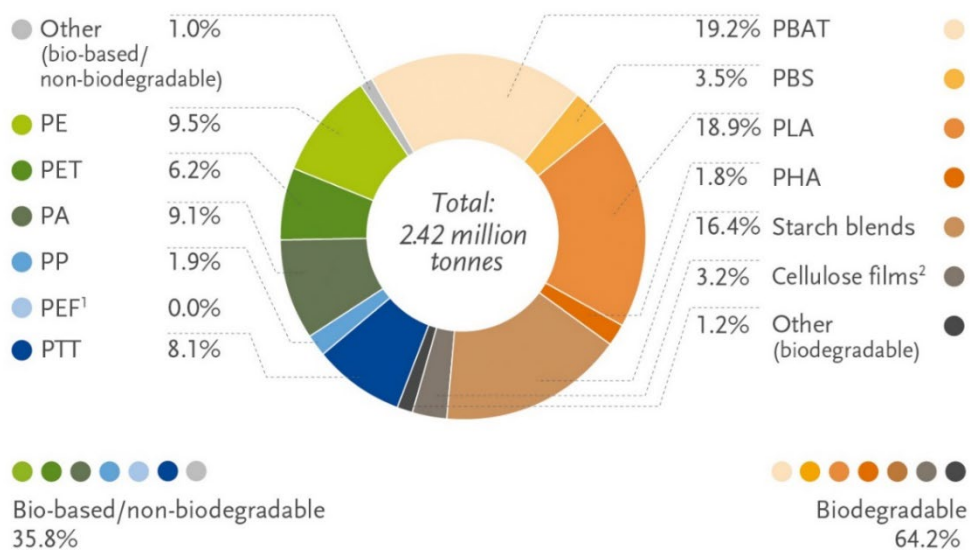
Komposterbar plast forringes ved biologiske prosesser under kompostering, og gir karbondioksid, vann, uorganiske forbindelser og biomasse (uten visuelle eller giftige rester) ved en hastighet sammenlignbar med andre kjente komposterbare materialer" (ASTM D6400-04, 2004). Komposterbar plast er derfor biologisk nedbrytbar, men bionedbrytbar plast er ikke alltid komposterbar (Kale et al., 2007a, Kale et al., 2007b).

Biobasert plast og nedbrytbar plast har mange ulike anvendelsesområder. Markedet er voksende og vil ifølge European Bioplastics mer enn doble seg de neste fem årene. Muligheten for fremtidig industriell anvendelse vil ikke kun baseres på materialeegenskaper og miljøpåvirkning. Prisen på plastemballasjen vil være avgjørende, og bioplast¹ har ofte en produksjonskostnad som er 2 til 5 ganger høyere sammenlignet med konvensjonell plast (Prosperi et al., 2018; Kourmentza et al., 2017).

På verdensbasis ble det i 2021 produsert 390 millioner tonn plast, hvorav ca. 14,6 % ble produsert i EU². Til sammenligning er den globale produksjonskapasiteten for plast basert på biologiske materialer anslått til om lag 0,6 prosent av global produksjonskapasitet for konvensjonell plast (Miljødirektoratet, 2019). I Figur 3 under er det angitt produksjonskapasitet for ulike biobaserte plasttyper. En stor del av den fossilbaserte platen som potensielt kan erstattes med nye biobaserte eller nedbrytbare alternativ, er fleksible plater egnet til blant annet filmer. I dag er det i all hovedsak PE (LDPE) og polypropylen (PP) som brukes til fleksible plastfilmer.

¹ Bioplast benyttes her som samlebetegnelse på plast som er enten i) bionedbrytbar eller ii) ikke nedbrytbar, men produsert av biologiske materialer eller fornybare råvarer.

² Tall hentet fra <https://www.statista.com>



Figur 3 Global produksjonskapasitet for biobasert plast i 2021. ¹PEF vil bli tilgjengelig i kommersiell skala i 2023. ²Regenerert cellulosefilm. (Kilde: European Bioplastics, nova-institute (2021)).

Biodolomer® er et biologisk nedbrytbart plastalternativ produsert i samsvar med krav i kommisjonsforordning (EU) nr. 10/2011 om plastmaterialer og plastgjenstander beregnet på kontakt med næringsmidler, og kan dermed brukes til emballering av fiskevarer. Biodolomer® oppfylder krav i eksisterende standarder for komposterbare og nedbrytbare polymerer, og er sertifisert av TÜV AUSTRIA i henhold til EN 13423:2000 (Krav til emballasje som er gjenvinnbar gjennom kompostering og biologisk nedbryting). Godkjenningen indikerer at produktet er fullt nedbrytbart i industriell kompostering (European Bioplastics, 2016). Granulat av Biodolomer® kan benyttes i ulike prosesser som filmblåsing, sprøytetøping og ekstrudering. Plastfilmene som er vurdert i dette prosjektet (Celnor CS101) er utviklet av Celnor Packaging Ltd., og er produsert med Biodolomer® som råvare.

Biodolomer® består av tre hovedkomponenter: En bionedbrytbar ester, kalsiumkarbonat/kalk (CaCO₃) og rapsolje. Den bionedbrytbare esteren består av tre monomerer; 1,4-butandiol (BDO), tereftalsyre (TPA) og adipinsyre (ADA) og benevnes ofte som **PBAT** (polybutylenadipatereftalat). Opphavet til de tre monomerne i PBAT kan være både fossilt og biobasert. Det er gjort kjent at én av de tre monomerene i PBAT som benyttes til Biodolomer® er av biobasert opphav, men hvilken er ukjent.

Både sammensetningen i, og produksjon av, plastemballasje er viktig med tanke på bruk til næringsmidler. Plastmaterialer og plastgjenstander skal ikke avgi bestanddeler til næringsmidler i mengder som overstiger den spesifikke migrasjonsgrensen fastsatt i regelverket. Endringer i sammensetning eller produksjon kan medføre endringer i migrasjonen fra plastmaterialet. Dette krever ny dokumentasjon og samsvarserklæring for produktet, inkludert oppdatert migrasjonstest.

I henhold til *Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer*³ skal emballasje være framstilt av materialer med tilstrekkelig mekanisk styrke, ha glatt overflate og slik utforming at den effektivt beskytter varen og sikrer dens kvalitet under normale transport- og oppbevaringsforhold. Dette omfatter hele verdikjeden, fra pakking og helt til varen ender opp hos konsument. Ved innføring av nye emballaseløsninger er det ofte utfordringer knyttet til ivaretagelse av produktkvalitet og holdbarhet. Alternative emballasjematerialer må tilfredsstille næringsmidlenes krav til holdbarhet, uten endringer i sensoriske, kjemiske, mikrobiologiske eller fysiske egenskaper over tid. De må også vurderes ut fra sammensetningen av produktet den skal beskytte og selve emballasjen. Dette er særlig viktig for produkter med lang holdbarhet, slik som frosne fileter av hvitfisk.

³ Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer (FOR-2013-06-28-844).

4 Problemstilling og formål

Norsk fiskeindustri benytter i dag store mengder plast- og blandingsemballasje for emballering av fiskevarer, og den britiske fish & chips-næringen har nylig utfordret norske produsenter om å redusere forbruket av konvensjonell plast på ombordfrysst filet. Mer miljøvennlige emballasjeprodukter kan bidra til å styrke omdømmet til norsk sjøfrossen filet, og kan på sikt være et viktig tiltak for å sikre markedsandeler og fremtidig eksport.

Formålet med prosjektet var å dokumentere effekten av Biodolomer® (Celnor CS101) som et alternativ til konvensjonell plast brukt til interleaved-pakking av hvitfiskfilet.

Delmål har vært å:

1. Identifisere og avklare utfordringer knyttet til praktisk bruk
2. Vurdere konsekvenser ved bruk av Biodolomer® som erstatning for plast

Prosjektets målsetning var å redusere bruk av fossil plast i fiskerinæringen ved å ta i bruk nye emballaseløsninger basert på gjenvinnbare materialer, og på denne måten bidra til innføring av plastalternativ som kan tilfredsstille økende krav fra kunder og forbrukere som etterspør bærekraftig emballasje.

Rammedirektivet for avfall krever at returselskapene premierer emballasje som lett lar seg materialgjenvinne. Vederlagssatsen skal justeres ut fra hvor bærekraftig eller gjenvinnbart materialet er (øko-modulering). Differensiering av vederlagssatser er ikke innført p.t., men bruk av plastalternativer vil i fremtiden kunne medføre reduserte vederlag i henhold til produsentansvarsordningen.

Marin forsøpling og plast i havet har stor innvirkning på offentlighetens oppfatning av sjømatindustrien. Norsk sjømatnæring kan innta en ledende posisjon i markedet ved å ta i bruk og fremme mer miljøvennlige emballasjealternativer. På denne måten kan næringen være i forkant av eventuelle fremtidige krav knyttet til bruk av plastemballasje.

5 Prosjektgjennomføring

Prosjektet har vært organisert i tre faglige arbeidspakker og en administrativ arbeidspakke.

Arbeidspakke 1 (AP1) har vurdert den praktiske bruken av Celnor CS101 med hensyn på egenskaper som tilfredsstillende krav til funksjonalitet gjennom verdikjeden. Erfaringer fra praktisk bruk er sett i sammenheng med resultat fra materialtekniske analyser. Resultater fra AP1 er beskrevet kapittel 6.1. I tillegg er det utarbeidet et faktaark som beskriver anbefalt metode for tining og avemballering av filet pakket med Celnor CS101.

I AP2 er det gjennomført en lagringsstudie som har sammenlignet Celnor CS101 med konvensjonell plast med hensyn på holdbarhet og kvalitet på filet, samt materialegenskaper til emballasjen. Resultater fra lagringsstudien er presentert i kapittel 6.2 i denne rapporten, samt i leveranse L2.1 som er en vitenskapelig presentasjon av forsøkene og funnene.

I arbeidspakke 3 er det vurdert muligheter for avfallshåndtering av Celnor CS101, i tillegg til kartlegging og vurdering av miljøaspekter ved innføring av plastalternativ til interleave-pakking. Resultater er presentert i kapittel 6.3.

5.1 Leveranseoversikt

Faglige leveranser

- L1.1 Oppsummerende notat fra AP1 – Materialegenskaper og praktisk bruk
- L2.1 Oppsummerende notat fra AP2 – Resultater fra lagringsstudie
- L2.2: Abstract sendt til konferanse/journal med peer review - Impact of biobased packaging materials on quality changes of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) during frozen storage
- L3.1 Oppsummerende notat fra AP3 – Avfallshåndtering
- L4.1 Faglig sluttrapport
- L4.2 Faktaark
- L4.3 Populærvitenskapelig artikkel

Administrative leveranser

- L4.4 Referat fra referansegruppemøte
- L4.5 Administrativ sluttrapport

5.2 Metoder

5.2.1 Praktisk bruk

Tre ulike tykkelser (35 μm , 45 μm og 55 μm) av Celnor CS101 ble testet i bruk om bord F/L Geir våren 2021. Visuelt uttrykk av fileter pakket med de ulike filmene og hvordan emballasjen presenterer seg ved bruk, ble vurdert under avemballering. Dette ble vurdert ved hjelp av bilder av både kjøtt- og skinnside på filet under plastfilm.

Praktisk bruk under avemballering ble vurdert i forbindelse med uttak i lagringsstudien.

5.2.2 Materialelegenskaper

Tre egenskaper ble analysert for de ulike plasttypene: strekkfasthet, bruddforlengelse og punkteringsstyrke. Målingene ble gjort ved bruk av Texture Analyzer TA-XT2 (Stable Microsystems). Resultatene ble analysert ved bruk av tilhørende programvare (Exponent version 4). Målinger ble utført på emballasje før innfrysing og etter uttak fra platene i forbindelse med lagringsstudie (etter frysing). For hver prøve ble det utført målinger på tre paralleller.

De ulike retningene av plasten defineres som "maskinretning" og "transversretning" (se Figur 4), men vil i rapporten heretter refereres til som henholdsvis "lengderetning" og "bredderetning".

Formler for beregning i forbindelse med teksturanalyser er angitt i Vedlegg 1.



Figur 4 Illustrasjon av de ulike retningene på en plastfilm.

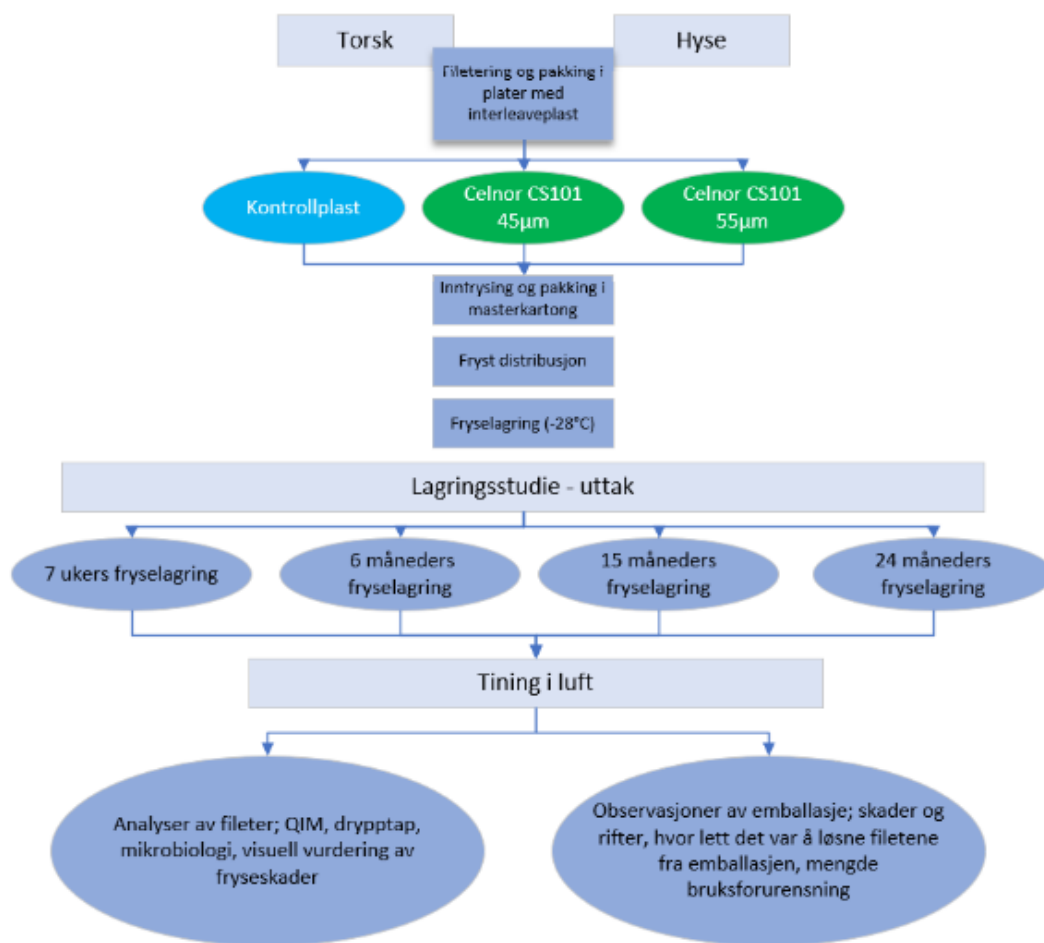
5.2.3 Lagringsstudie

5.2.3.1 Innfrysning

Fiskefiletene ble frosset inn i plater i horisontale platefrysere. Det ble plassert knappeloggere (IButton DS1922L Thermochron Data Logger, UK) i topp, midt og bunn i en plate for å logge temperaturforløpet under innfrysingen.

5.2.3.2 Analyse

Uttak og analyser i lagringsstudien ble utført som beskrevet i Figur 5. Produktkvalitet- og holdbarhet er vurdert sensorisk, ved mikrobiell kvalitet og uttørking/drypaptap. I tillegg er det gjennomført visuelle observasjoner av emballasjen ved totalt fire uttak.



Figur 5 viser forsøksdesign, uttak og analyser i lagringsstudien.

Følgende analyser ble gjennomført på fileter:

- Kjemiske analyser av vann, aske, protein og fett ved baseline-uttaket (NMKL Nr. 23, 1991), NMKL 6 (Kjeldahl), NMKL 160).
- Drypptap (n=8) enkeltfileter.
- Sensorisk vurdering (tekstur, farge, lukt, gaping) basert på Roiha et al. (2018), Uglem et al, (2022) og Erikson et al, (2009), n=8 fileter.
- Mikrobiologiske analyser av totalkim (NMKL 184), n=3 fileter.
- Visuell vurdering av uttørking og fryseskader, samt eventuelle emballasjerester på fisken.

Følgende vurderinger ble gjort av interleave-emballasjen:

- Hvor lett det var å løsne filetene fra emballasjen.
- Hvor mye rester av fisk og kartong som satt fast på emballasjen etter avemballering (bruksforurensning).
- Skader og rifter på emballasje under avemballering og etter tørking i 24 timer.

En mer utfyllende metodebeskrivelse er gitt i oppsummeringen av lagringsstudiet (L2.1).

5.2.4 Forbrukertest

I tillegg til analyser og sensorisk vurdering i lagringsstudiet ble det gjennomført en forbrukertest der torsk- og hysefileter som var fryselaagret i 24 måneder ble sammenlignet med torsk – og hysefileter som var fryselaagret i henholdsvis fem måneder og tre måneder. Prøvene ble vurdert av et smakspanel bestående av 16 deltakere. Deltakerne var vilkårlig valgt, for å representere potensielle forbrukere.

5.2.5 Avfallshåndtering

Vurderinger knyttet til avfallshåndtering er basert på litteratursøk, produktspesifikasjoner og sertifiseringer for Biodolomer®, offentlig statistikk på avfall i Storbritannia publisert av Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), og samtaler med ulike aktører innen avfallshåndtering i UK.

5.2.6 Statistikk

SPSS versjon 27 og Microsoft Excel ble brukt for dataprosessering, grafisk representasjon av resultater og statistiske analyser. I figurer er gjennomsnittsverdier med standardavvik gitt, om ikke annet er angitt. Antallet prøver som danner grunnlaget for beregning av gjennomsnitt og standardavvik er gitt i tekst, figurer og tabeller.

NOVA ble benyttet for å vurdere om det var signifikante forskjeller mellom de tre emballasjetypene ved de ulike uttakstidspunktene. Der det ikke ble observert signifikante forskjeller mellom de to ulike tykkelsene av Celnor CS101-filmene, for eksempel bruksforurensning, er de to Celnor CS101-filmene slått sammen i analysene og sammenlignet med kontrollen. T-test er da benyttet for å vurdere om det var signifikante forskjeller mellom emballasjetypene. Nivå for signifikans er satt til $p < 0,05$.

6 Resultater og diskusjon

6.1 Biodolomer® og Celnor CS101

Hovedfunn

Celnor CS101 er enkel å håndtere og fungerer godt til interleave-pakking om bord.

Plastalternativet er mindre gjennomsiktig sammenlignet med plasten som brukes i dag.

Celnor CS101 tåler noe mindre belastning før det oppstår brudd/skade på filmen sammenlignet med kontrollplasten. Det var likevel ingen endring i funksjonalitet eller utseende etter fryselagring i 24 måneder.

6.1.1 Visuelle egenskaper Celnor CS101

Normalt er plastfilmen som benyttes til interleave-pakking av hvitfiskfilet blå og gjennomsiktig. Biodolomer® er i utgangspunktet delvis gjennomsiktig med en hvit farge. Alle de tre tykkelsene av Celnor CS101 var mindre gjennomsiktig enn kontrollplasten.

Det er ulik oppfatning om hvorvidt redusert gjennomsiktighet oppleves som en utfordring siden kvalitetskontroll og sluttkontroll gjennomføres på ulike trinn i produksjonsprosessen på ulike fartøy. Plastfilmer basert på Biodolomer® vil aldri bli like gjennomsiktig som konvensjonell plast grunnet kalkinnholdet og den kjemiske sammensetningen.



Figur 6. Filet av torsk dekket med de ulike plastfilmene. Filetsiden til venstre og kjøttsiden til høyre.

Uten tilsatt farge kan produktet bli mer gjennomsiktig. Dette vil derimot gi hvitfarge på plasten, noe som øker risiko for at plastbiter kan følge med fisken etter tining uten å bli oppdaget. Gjennom diskusjoner i prosjekt- og referansegruppen ble det bestemt å produsere et testprodukt i grønn farge. Det var enkelt for bruker å skille de to plasttypene. Forskjellene mellom Celnor CS101 og kontrollplasten ble tydeligere når hele plasten i kartongen er pakket ut. Figur 6 viser hvordan fisken presenterer seg ved bruk av Celnor CS101 og konvensjonell plast.

Endringer i kjemisk sammensetning eller produksjon av plasten kan medføre endringer i migrasjonen fra plastmaterialet. Dette krever ny dokumentasjon og samsvarserklæring for produktet, inkludert oppdatert migrasjonstest.

Endringer i sammensetning kan også påvirke nedbrytningsevne. I sertifiseringen fastsettes biologisk nedbrytbarhet for hvert enkelt pakkemateriale eller for hver signifikant organisk bestanddel (> 1 % tørrstoff) i pakkematerialet.

Det er ikke gjort endringer i sammensetning eller produksjonen av Celnor CS101 i dette prosjektet som vil medføre oppdatering av eksisterende godkjenning eller samsvarserklæring for matkontakt, eller sertifisering i henhold til EN 13432 for Biodolomer®.

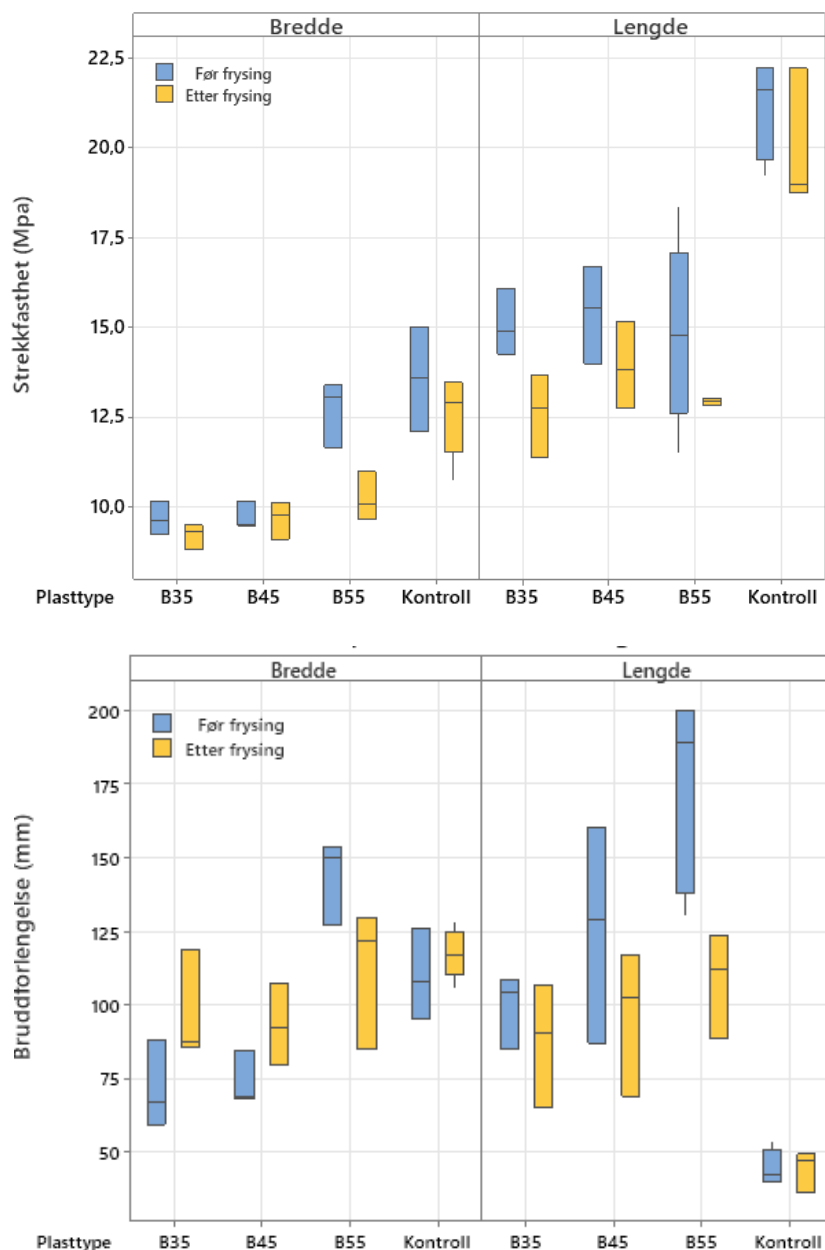
6.1.2 Materialeegenskaper

Resultatene fra materialtester er først og fremst egnet til å vise ulikheten mellom Celnor CS101-film og kontrollplasten, og skal ikke regnes som produktspesifikasjoner for Celnor CS101-filmene.

Før frysing er strekkfastheten for Celnor CS101 lavere enn for kontrollplasten (Figur 7), noe som betyr at det biobaserte plastalternativet tåler mindre belastning før det oppstår brudd/skade på filmen. Celnor CS101 er sterkest i lengderetningen, som også vil være den retningen det påføres mest kraft i når filetene emballeres om bord. Resultatene fra våre tester viser generelt lavere strekkfasthet (i begge retninger av Celnor CS101-filmen) sammenlignet med produktspesifikasjonen for Biodolomer® F⁴. Det spesifiseres der at materialeegenskapene ikke skal tolkes som spesifikasjoner, men som eksempler på typiske egenskaper.

I lengderetningen har Celnor CS101 (før frysing) gjennomgående høyere bruddforlengelse sammenlignet med kontrollplasten (Figur 7). Det er liten forskjell i bruddforlengelse mellom fryst og ikke-fryst kontrollplast, men eksponering for frysetemperatur (ned mot -28 °C) har tilsynelatende en viss negativ innvirkning på bruddforlengelsen til Celnor CS101. Dette kan påvirke integriteten til plastfilmen og medføre at fragmenter avsettes på produktene under avemballering, særlig dersom fisken ikke er tilstrekkelig tint og plasten må skilles fra fisken. Forskjellen i bruddforlengelse i lengderetning mellom ikke-fryst og fryst Celnor CS101 øker med økt tykkelse, og forskjellene i bruddforlengelse mellom den fryste og den ikke-fryste plasten er mindre i lengderetning enn bredderetning.

⁴ https://qaabiomaterials.com/datasheet/Biodolomer_F_eng-900375.pdf



Figur 7 Boksplott av strekkfasthet (MPa) og bruddforlengelse (mm) for de ulike tykkelsene av Celnor CS101 og kontrollplasten før og etter frysing. B35, B45 og B55 er Celnor CS101-filmene med henholdsvis tykkelsene 35, 45 og 55 μm .

6.1.3 Punkteringsstyrke

Celnor CS101 tåler mindre kraft før punktering inntreffer sammenlignet med kontrollplasten, og plastalternativet tåler derfor noe mindre belastning før det blir hull i filmen. Før frysing tåler kontrollplasten en kraft opp mot 3 ganger større enn Celnor CS101 før punktering, men denne forskjellen utjevnes noe etter frysing siden frysing ikke reduserer punkteringsstyrken til Celnor CS101.

Deformasjon før punktering hos de tre ulike tykkelsene av Celnor CS101 er nærmest identisk før og etter frysing, og etter frysing er deformasjonen i Celnor CS101 tilnærmet lik kontrollplasten før frysing. Avstanden som er oppnådd før punktering inntreffer kan være et mål for hvor skjørt materialet er. Mer elastiske material vil oppnå større avstander under deformasjon sammenlignet med skjøre materialer. Resultatene indikerer at Celnor CS101 blir mindre skjøre etter eksponering for frysetemperaturer.

6.1.4 Praktisk bruk

Tilbakemeldingen fra mannskapet var at filmen var god å jobbe med, og at den var langt mindre glatt enn plasten som brukes i dag. Dette førte til at emballasjen var enkel å håndtere, selv med våte hansker/hender.

Blant de tre tykkelsene av Celnor CS101 som ble testet om bord F/L Geir, var det ingen merkbar forskjell mellom de to tykkeste filmene (45 og 55 μm), men den tynneste varianten (35 μm) opplevdes som for tynn under pakking. Inntrykket fra mannskap om bord var likevel at den tynneste filmen var sterk nok for bruksområdet, men ble vanskeligere å håndtere. Ved et par tilfeller opplevde de at den tynneste Celnor CS101-filmen spjæret i lengderetning når den ble kuttet (i bredderetning) fra rullen med kniv. En mulig løsning på dette kan være at filmen produseres som ark, og med det unngå å måtte kutte filmen fra rullen.

Erfaring fra pakking med plastark av Celnor CS101 om bord i F/L Geir var også positive, og bruk av plastark gikk ikke ut over produksjonskapasiteten. Det er viktig at plastarkene ikke er statisk ladet for at løsningen skal være gjennomførbar. Tilpasning av arkstørrelse til kartongen er viktig for å sikre god tildekking av fisken og unngå unødvendig forbruk av plastfilm. Bruk av ark kan potensielt redusere forbruket av plast sammenlignet med sammenhengende plastfilm (omsvøp). Det er ikke vurdert kvalitet/holdbarhet på fisk pakket med plastark i prosjektet, men gitt at fisken tildekkes tilsvarende som ved omsvøp er det rimelig å anta at metoden gir tilsvarende beskyttelse som ved omsvøp.

I tillegg til praktisk test med manuell pakking om bord F/L Geir er det også gjennomført tester med interleave pakking på en ny automatisk pakkelinje for filet utviklet hos Optimar gjennom FHF-prosjektet "Automatisk sortering og interleave-pakking av filet om bord" (FHF 901490). Denne pakkelinjen baseres på kutting av film mellom hvert lag av filet, samt et lag plast i bunnen og toppen av hver kartong. Det var ingen observerbar forskjell mellom Celnor CS101 (45 μm) og kontrollplast (37 μm) ved automatisk pakking.

Lengden plastfilm per rull varierer med tykkelsen på plasten. Den begrensede faktoren for hvor stor en rull kan være er størrelsen på rammen/krybben om bord. Standard lengde på plastrull med 45 μm tykkelse er 1000 meter, og 650 m for 60 μm . Standard bredde på rullene er 56 cm. Uansett hvilke av de tre tykkelsene av Celnor CS101 som blir valgt, vil den kunne produseres innenfor normal lengde.

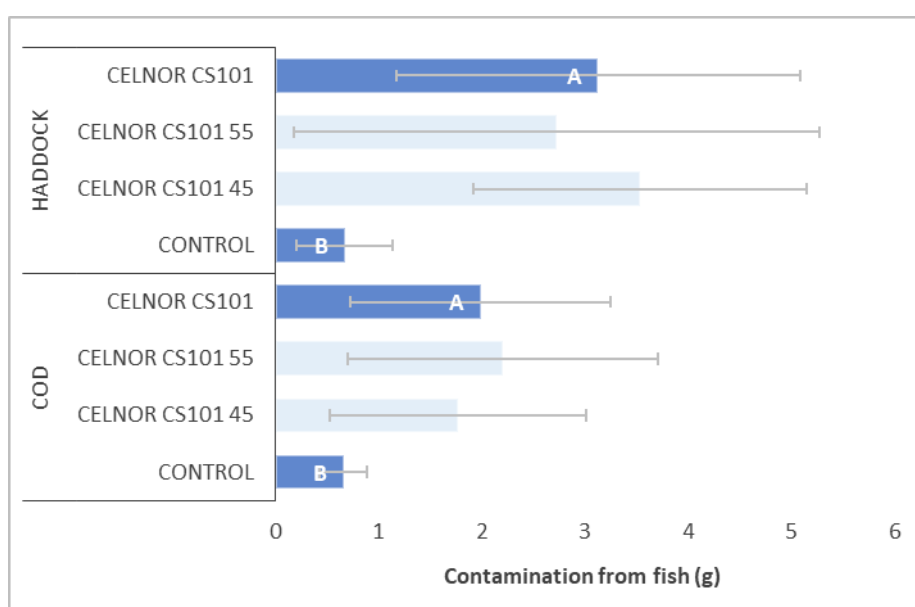
Biodolomer® har høyere massetetthet enn kontrollplasten. Med utgangspunkt i standarddimensjoner, og 45 μm tykkelse, vil én rull kontrollplast veie om lag 18,5 kg. En tilsvarende rull med Celnor CS101 veier ca. 27,5 kg. Rullene løftes av mannskap over hodehøyde ved plassering i rammen, og vekt per rull *kan* bli en begrensende faktor for valg av tykkelse på filmen. Det kan være nødvendig å minske lengden per rull Celnor CS101 for å redusere vekten og dermed også den fysiske belastningen ved håndtering av rullene. Dette vil igjen føre til økt antall operasjoner med skifte av ny rull.

Den største utfordringen med Celnor CS101 ser ut til å kunne knyttes til vedheft ved avemballering av tint fisk (Bilde 1). Fiskefiletene (kjøttsiden) henger fast i Celnor CS101-filmene og det observeres signifikant mer bruksforurensning til Celnor CS101-filmene sammenlignet med kontrollplasten ($p < 0,05$) (Figur 8). Det var ingen forskjell mellom ulike tykkelser av Celnor CS101.

På tross av vedheftet var det likevel ingen synlig skade på fileten etter avemballering. Kontrollplasten var enklere å avemballere, selv om den også hang noe mer fast til de nederste filetene og i bunnen av kartongen. Det ble ikke observert at Celnor CS101-filmene hadde endret funksjonalitet eller utseende gjennom lagringstiden på 24 måneder, og resultatene indikerer at materialegenskapene ikke endrer seg over tid.



Bilde 1 Vedheft av fileten mot Celnor CS101 etter tining (venstre og midt). Bruksforurensning børstet av en Celnor CS101-film (høyre).



Figur 8. Figuren viser gjennomsnitt og standardavvik for mengden fiskerester (g) som kunne ristes av de ulike emballasjetypene. Det var ingen signifikante forskjeller i mengden bruksforurensning mellom de to tykkelsene på Celnor CS101. Disse er derfor slått sammen i de statistiske analysene. De lyseblå søylene viser resultat for de ulike tykkelsene av Celnor CS101, mens de mørkeblå viser gjennomsnittlig resultat for begge tykkelsene. Ulike bokstaver (A, B) viser signifikante forskjeller mellom emballasjematerialene for hver art.

Gjennom prosjektperioden har prosjektgruppen vært kontakt med ulike bransjeorganisasjoner og fish & chips-restauranter i UK for å kartlegge tinepraksis. Tilbakemeldingene har vist stor variasjon i metode og tid, og det er vanskelig å definere en "normal" praksis. Filetene tines ofte uten adskillelse, uten vann, og ved en kombinasjon av romtemperatur og kjøletemperatur. Noen avemballerer også i frossen tilstand.

For å adressere utfordringen med vedheft til emballasje ble det gjennomført tester med ulike metoder for tining og avemballering. Resultatene er publisert i en egen veileder til fish & chips-restaurantene i UK. Platene ble avemballert fryst, delvis eller helt tint. Effekten av tining med eller uten kartong, retning (bunn eller topp av plate vendt oppover), og med eller uten et "kakk" før avemballering ble også vurdert.

Metoden som gav best avemballering, uten vedheft, er en kort temperering av platen før et bestemt kakk mot en hard overflate. Videre kan filetene tines enkeltvis, noe som tillater mer effektiv tining i både vann og luft.

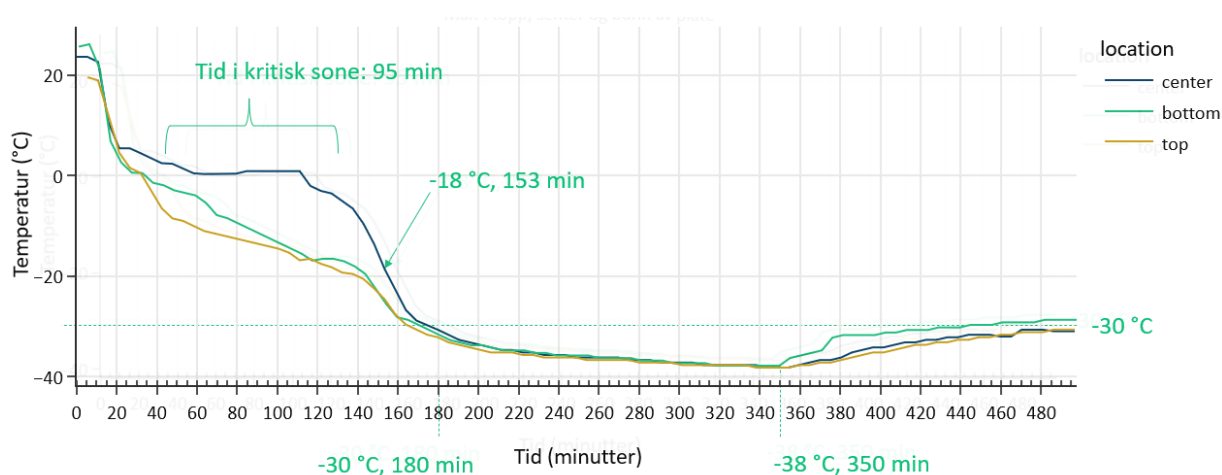
6.2 Lagringsstudie

Hovedfunn

Basert på sensoriske vurderinger og mikrobiologisk analyse holder kvaliteten på fisken seg svært godt gjennom fryselagringsperioden på 24 måneder for begge plasttyper.

Den største utfordringen med Celnor CS101 ser ut til å kunne knyttes til vedheft ved avemballering av tint fisk. Dette gir likevel ingen synlig skade på fileten etter avemballering.

6.2.1 Innfrysning

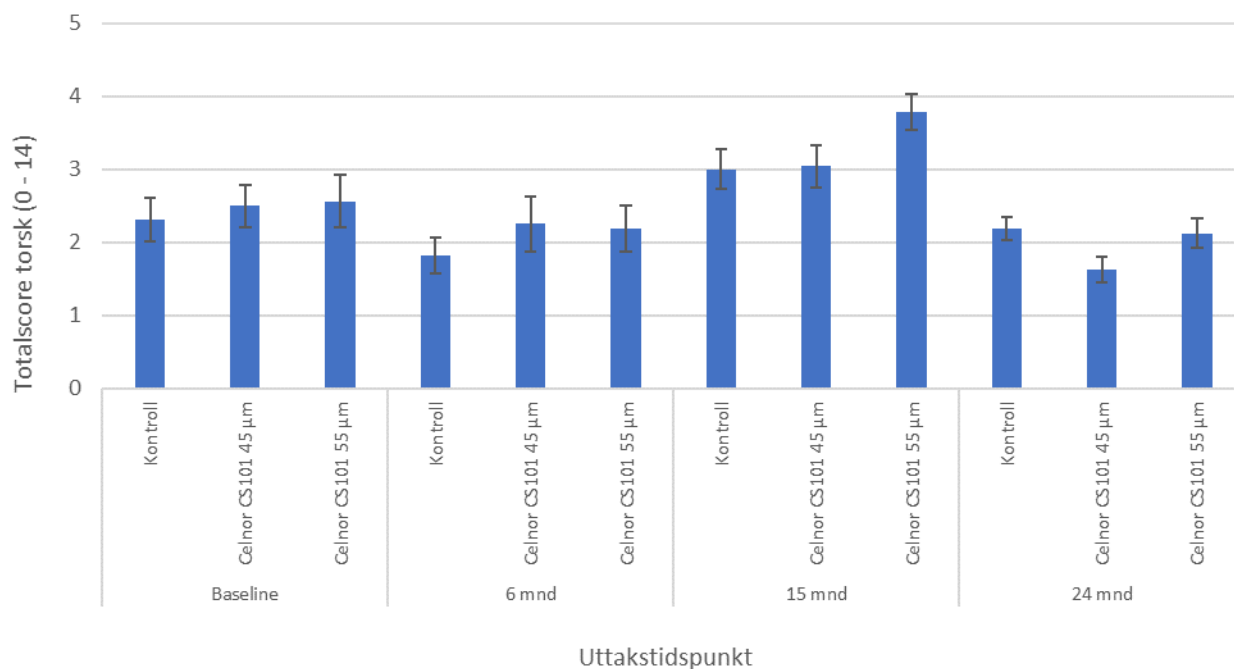


Figur 9 viser temperaturen under innfrysning.

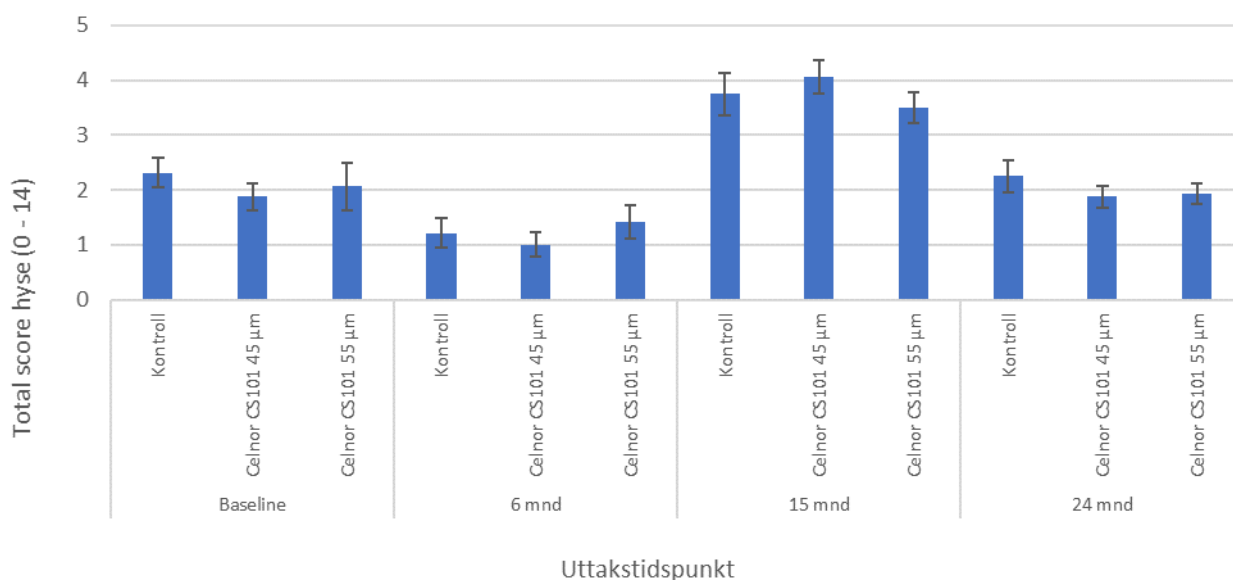
Som Figur 9 viser foregikk innfrysningen svært raskt og temperaturen målt i kjernen på platene var under -18 °C etter 153 minutter.

6.2.2 Kvalitetsvurdering

Det ble observert at fisk fra begge artene og alle tre filmtypene hadde svært god kvalitet gjennom hele fryselagringsperioden på 24 måneder. Det ble ikke observert signifikante forskjeller mellom Celnor CS101 og kontrollplasten ved vurdering av sensorisk kvalitet ved noen av uttakene (totalscore presentert i figur 10 og 11). På tross av at filetene heftet til Celnor CS101-filmene, og derfor så litt "ruglete" ut i overflaten på kjøttssiden rett etter avemballering, var skaden reversibel og det ble ikke observert skade på filetene under den sensoriske vurderingen.



Figur 10. Figuren viser totalscore (0-14) for vurdering av rå torskfileter (n=8) (gjennomsnitt og standardfeil) for de ulike emballasjematerialene og uttaksdagene. Score 0 indikerer ingen tap av kvalitet. Dess høyere score, dess lavere har dommerne vurdert den sensoriske kvaliteten.



Figur 11. Figuren viser totalscore (0-14) for vurdering av rå hysefileter (n=8) (gjennomsnitt og standardfeil) for de ulike emballasjematerialene og uttaksdagene. Score 0 indikerer ingen tap av kvalitet. Dess høyere score, dess lavere har dommerne vurdert den sensoriske kvaliteten.

Heller ikke når det gjelder mikrobiologisk kvalitet, ble det observert systematiske forskjeller mellom de ulike emballasjetypene. Det ble observert at torskefiletene emballert i kontrollplasten hadde signifikant høyere drypptap ($p < 0,05$) sammenlignet med Celnor CS101-filmene ved baselineuttaket. Videre, hadde hysefilet som var emballert i kontrollplast signifikant høyere drypptap enn den tykkeste Celnor CS101-filmen ($55\mu\text{m}$) ved uttaket etter 24 måneders fryselagring ($p < 0,05$). Det var imidlertid ingen systematikk i at drypptapet var høyere for noen av emballasjetypene eller artene.

Observasjoner av uttørking og fryseskader (maksimalt en - to fileter per uttak) var lokalisert enten helt i toppen eller på siden av platen på enkeltfileter, og det var ingen systematikk i at det var mer uttørking for noen av emballasjetypene eller lagringstidene. Årsakene til uttørking var emballeringsfeil hvor det hadde oppstått bretter i emballasjen under pakking, slik at filetene ikke var tilstrekkelig dekket.

6.2.3 Forbrukertest

For begge artene hadde filetene som var fryselagret i 24 måneder generelt høyere score enn filetene som var fryselagret kortere tid for alle parametere, noe som indikerer at dommerne foretrakk fisken som hadde vært fryselagret i 24 måneder. For hyse var det imidlertid bare for egenskapen konsistens at det ble observert signifikante forskjeller mellom de to lagringstidene. Tilsvarende, for torsk, var det kun signifikante forskjeller for totalopplevelsen. Også tidligere studier gjennomført ved SINTEF (*QualiFish*⁵) har vist at fryselagret fisk kan ha like god eller bedre kvalitet enn fersk fisk. Det er imidlertid tre viktige faktorer for å opprettholde den gode kvaliteten, og alle disse faktorene ble ivaretatt i denne studien; *rask innfrysing før rigor inntreffer, lav og stabil temperatur under fryselagringen og tining under kontrollerte former*. Andre studier har vist at hvitfisk får smaksendringer ved lagring ved lave og stabile temperaturer opp til et år (Nielsen & Jessen, 2006)

⁵ <https://www.sintef.no/prosjekter/2014/qualifish/>

6.3 Avfallshåndtering av Celnor CS101

Hovedfunn

For å utnytte de bionedbrytbare egenskapene til Biodolomer® vil biologisk avfallsbehandling være prioritert over forbrenning. Basert på dagens avfallsinfrastruktur i Storbritannia vil kompostering være den mest aktuelle metoden for avfallsbehandling.

Det er viktig å sikre at komposterbare materialer går til riktig sluttdestinasjon med hensyn på miljøgevinst, noe som legger et stort ansvar på aktørene der interleavede plaster oppstår som avfall.

Plaster som i dag benyttes til interleavede pakking av filet sendes som regel til forbrenning eller deponi. Dette kan være et godt argument for å bytte til biobasert bionedbrytbar plast som i begge scenarioer (kompostering og forbrenning) vil være bedre enn forbrenning av fossilbasert plast.

Avfallshåndteringen i Storbritannia preges av regionale ulikheter når det kommer til infrastruktur og hvor mye avfall som gjenvinnes. En stor del av avfallet i Storbritannia går fortsatt til landdeponi. Husholdningsavfall og annet avfall, herunder avfall som er igjen etter utsortering av materialer til resirkulering (recyclates), var i 2018 den nest største avfallsfraksjonen som ble levert til deponi.

Samlet sett er "Resirkulering og annen gjenvinning" angitt som den mest vanlige behandlingsmetoden for avfall i Storbritannia. To tredjedeler av dette stammer fra gjenvinning av mineral- og jordavfall fra bygning, rivning og utgravningsaktiviteter. I 2018 utgjorde plast kun 1 % av mengden avfall som ble resirkulert eller gjenvunnet. Disse tallene kan være noe misvisende siden mineral- og jordavfall veier betydelig mer enn plastavfall per kubikk. I 2020 ble om lag 60 % av alt emballasjeavfall resirkulert, mens en liten andel (< 5 %) ble gjenvunnet som energi ved forbrenning (DEFRA, 2021).

6.3.1 Avfallsforebygging

Avfallsforebygging kan være en utfordring for bruksområdet vurdert i dette prosjektet, da det stilles strenge krav til emballering for å beskytte matvarer og for å ivareta produktets kvalitet under transport og oppbevaring (jf. *Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer*). Forebygging av avfall vil her innebære enten å pakke fisken på en mer sparsommelig/alternativ måte eller redusere tykkelsen på plastfilmen. Å vurdere endringer i måten fisken pakkes på (i dette tilfellet interleavede pakking) for å redusere plastforbruket vil gå utenfor prosjektets opprinnelige rammer. Prosjektet har vurdert flere tykkelser av Celnor CS101-film, og de tynnere filmene vil naturligvis gi mindre volum avfall.

6.3.2 Ombruk

Med bakgrunn i erfaringer vi har gjort gjennom dette prosjektet, og med hensyn til regelverkskrav knyttet til emballering av næringsmidler og næringsmiddelhygiene, er ombruk av Celnor CS101 eller kontrollplaster vurdert som lite aktuelt. I henhold til Normpack⁶-sertifiseringen er Biodolomer® F (og dermed Celnor CS101) begrenset til engangsbruk.

6.3.3 Materialgjenvinning

I utgangspunktet er produkt av Biodolomer® egnet for resirkulering, men per i dag eksisterer det ingen muligheter for industriell resirkulering. Ifølge en livssyklusanalyse fra Profu (2019) skyldes dette i hovedsak begrensninger ved sorteringsanlegg og verdikjeden for resirkulerte polymerer. Plastemballasje brukt på næringsmidler er ofte kontaminert, og i stedet for at plaster blir gjenvunnet går den derfor ofte til forbrenning. Rester av fisk på Celnor CS101 (og kontrollplaster) etter bruk kan derfor gjøre resirkulering utfordrende i seg selv. Rengjøring av plaster vil være både energi- og tidkrevende og trolig ikke praktisk mulig hos alle som mottar fileter. Dersom Biodolomer-produkter leveres sammen med annen plast til

⁶ <https://www.ri.se/en/normpack>

resirkulering vil den, i motsetning til konvensjonell plast og bio-PE, sorteres ut og normalt gå videre til forbrenning (Profu, 2019).

6.3.3.1 Kompostering

Nedbrytbare plastprodukter, både biobaserte og petroleumbaserte, kan være egnet for avfallshåndtering i komposteringsanlegg. Til tross for at enkeltprodukt, som Biodolomer®, er sertifisert etter standarder for industriell kompostering, er det knyttet stor usikkerhet til hvordan materialene faktisk presterer under industrielle betingelser siden industrielle betingelser ofte er svært ulike fra testkriteriene. Selv om Biodolomer® er utviklet med tanke på å være tilpasset i reelle komposteringsmiljø, og i biogassanlegg, vil nedbrytningsrate variere i ulike anlegg.

Det var om lag 272 komposteringsanlegg i Storbritannia i 2019⁷. Mesteparten av råstoffet som blir behandlet i komposteringsanleggene er hageavfall, mens en begrenset andel (2 %) var matavfall. Under 1 % av avfallet kommer fra matprodusenter og supermarkeder. Det er ikke kjent hvor mye komposterbar emballasje og plast som i dag behandles i slike komposteringsanlegg.

En undersøkelse av retningslinjer gitt av lokale myndigheter ulike steder i Storbritannia har vist at emballasjeprodukter som er godkjent for hjemmekompostering kan komposteres hjemme, men at slike produkter ikke kan leveres sammen med mat- eller hageavfall. Kompostering hos den enkelte fish & chips-aktør er ikke vurdert som aktuell avfallshåndtering av Celnor CS101.

De fleste komposteringsanlegg har en forprosess der forurensinger separeres fra avfallsfraksjonen som skal til biologisk behandling. Dette innebærer at all plast fjernes fra den organiske fraksjonen. Forsorteringen hos de aller fleste komposteringsanleggene vil i dag ikke klare å skille mellom Celnor CS101 og konvensjonell plast. Dette vil redusere den reelle miljøgevinsten ved at Celnor CS101 ikke behandles sammen med annet organisk avfall. Det vil også redusere resirkuleringsgraden for emballasjen.

I dag er det i utgangspunktet to alternativ som kan hindre at Celnor CS101 sorteres ut før kompostering:

i) Celnor CS101 tilføres som en egen sidestrøm ii) Celnor CS101 kan etter avtale sorteres sammen med annet organisk avfall og sorteres bort i forprosessen, men tilbakeføres i komposten som egen sidestrøm. Dette forutsetter at Celnor CS101 er den eneste plastemballasjen som leveres sammen med det organiske avfallet.

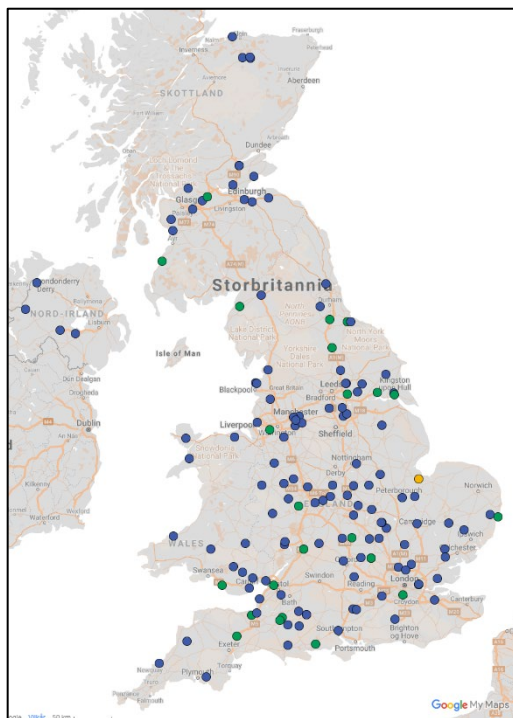
Vi har identifisert flere anlegg i Storbritannia som håndterer komposterbar emballasje sammen med matavfall, blant annet Keenan Recycling (Skottland), The Maltings (England) og Severn Trent (England). To andre bedrifter som også tar imot komposterbar emballasje, er Silverwoods Waste Management Ltd og First Mile. Løsningen deres kan tilpasses til mindre bedrifter, som fish & chips-restauranter, avhengig av hvor mye emballasje de må kvitte seg med. Bedriftene bestiller sekker for innsamling av komposterbar emballasje, og fastsetter tidspunkt og frekvens for henting. Avfall kan hentes daglig slik at det er mulig å unngå utfordringer knyttet til lukt ved lagring av avfall over tid. Løsningen vil medføre en ekstra kostnad i tillegg til søppelhåndteringstjenestene de allerede betaler for. First Mile antyder en kostnad på rundt 1,3 £ per sekk⁸ (ca. 5 kg avfall). Dette inkluderer både henting og avfallsbehandling. Kostnaden vil kunne være høyere alt etter hvor i Storbritannia bedriftene befinner seg.

⁷ <https://wrap.org.uk/sites/default/files/2021-01/AD%20%26%20Composting%20Market%20Survey%20Report.pdf>

⁸ Prisantydning fra 2021.

6.3.3.2 Anaerob nedbrytning

I 2011 ble det fastsatt en strategi for utviklingen av biogassproduksjon i Storbritannia⁹, og i løpet av få år var det en stor økning i antall anlegg. I dag finnes det over 670 anlegg, hvor 108 av disse fører biometan direkte på gassnettet. En oversikt over anaerobe nedbrytningsanlegg fra 2019 (Figur 12) viser at det finnes mange anlegg spredt ut over store deler av Storbritannia. En stor andel av anleggene er knyttet direkte til jordbruk/gårdsbruk eller innlemmet som del av et mer eller mindre lukket behandlingssystem for avfall.



Figur 12 Kart over anaerobe nedbrytningsanlegg i Storbritannia (per 2019). Hvordan energien unyttes ved anlegget er gitt av de ulike fargene: varme og strøm (Blå), varme, strøm og biogass (Grønn) og varme (Gul). Skjermdump av UK Biogas Map 2019 utarbeidet av National Non-Food Crops Centre (NNFCC, 2019).

Biogassaktørene har strenge kriterier for råmaterialet som skal inngå i behandlingen, og noen av anleggene er begrenset til behandling av visse typer avfall, som for eksempel avfall fra en spesifikk industri. Dette begrenser antall anlegg som i teorien kan ta imot Celnor CS101 for biogassproduksjon. Mange av anleggene har matavfall eller organisk fraksjon fra kommunalt avfall som hovedkilde til råmateriale. I likhet med komposteringsanlegg har også biogassanlegg en forbehandling der blant annet plast (og Celnor CS101) vil sorteres ut og utelates fra biogassprosessen.

SINTEF har kontaktet noen av de større aktørene innen anaerob nedbrytning i UK. De bekrefter at anleggene per i dag ikke tar imot bionedbrytbar plast. Biogassproduksjon av Celnor CS101 er derfor lite sannsynlig slik infrastrukturen og anleggene opererer i dag. De største utfordringene ved å behandle Celnor CS101 i anaerobe nedbrytningsanlegg er 1) fjerning av Celnor CS101 under forbehandling og 2) usikkerhet knyttet til nedbrytningsevnen i industrielle anlegg.

Klare politiske målsetninger både nasjonalt (UK) og internasjonalt for gjenvinning av emballasjeavfall kan legge til rette for økt bruk av bionedbrytbar plast i biogassanlegg. Likevel tyder tilbakemeldinger fra aktørene vi har snakket med på at det ikke er sannsynlig med særlige endringer i prosessen/forbehandling i nærmeste fremtid.

⁹https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69400/anaerobic-digestion-strat-action-plan.pdf

6.3.4 Energiutnyttelse

Forbrenning med energigjenvinning har vært ansett som en mulig metode for gjenvinning av emballasjeavfall, men rangeres som en mindre bærekraftig avfallshåndtering siden den ikke medfører materialgjenvinning. Forbrenning av plast vil kunne gi energigjenvinning dersom anlegget er tilpasset utnyttelse av den termiske energien som oppstår. I hvilken grad plastavfall vil ende i denne typen anlegg, avhenger i stor grad av hvor plasten oppstår som avfall. Biodolomer® inneholder mest biogent og inert råstoff (Profu, 2019). I motsetning til fossilbasert plast vil ikke forbrenning av plast fra biobaserte råstoff tilføre ny CO₂ til miljøet siden CO₂ som slippes ut fanges fra atmosfæren under produksjon av råstoffet (Wojnowska-Baryła et al., 2020). Derfor vil Biodolomer® gi lavere GWP (global warming potential) ved forbrenning sammenlignet med konvensjonell plast.

I Storbritannia er forbrenning en mindre utbredt behandlingsmetode for avfall enn resirkulering og annen gjenvinning, og deponi. En rapport fra DEFRA (2018) viser at det i 2018 var 130 forbrenningsanlegg i Storbritannia. Mange av disse er bygget det siste tiåret, og det har samtidig vært en økning i antall forbrenningsanlegg som gjenvinner energi. Per 13.10.21 var det 40 forbrenningsanlegg med såkalt R1 status (anlegg med energigjenvinning) i England¹⁰. I Skottland var det i 2018 14 anlegg med energigjenvinning, der seks av disse kunne ta imot kommunalt avfall og tilsvarende avfall¹¹. Majoriteten av avfallet som behandles ved slike anlegg er husholdningsavfall, mens anlegg uten R1 status behandler mest "annet avfall" som inkluderer rester fra fysisk behandling, industrielle prosesser og kloakk.

Nytteverdien av varmen produsert av forbrenningsanlegg i Storbritannia er lav. Det er svært få som eksporterer varme ut fra anlegget, og kun 1 av 5 anlegg nyttiggjør seg av overskuddsvarmen de produserer¹².



Figur 13 Kart over forbrenningsanlegg med R1-status i England.

6.3.5 Oppsummering

De tre mest aktuelle løsningene for avfallshåndtering av Biodolomer® og Celnor CS101 er identifisert som; 1. Kompostering, 2. Anaerob nedbrytning og 3. Forbrenning med energigjenvinning.

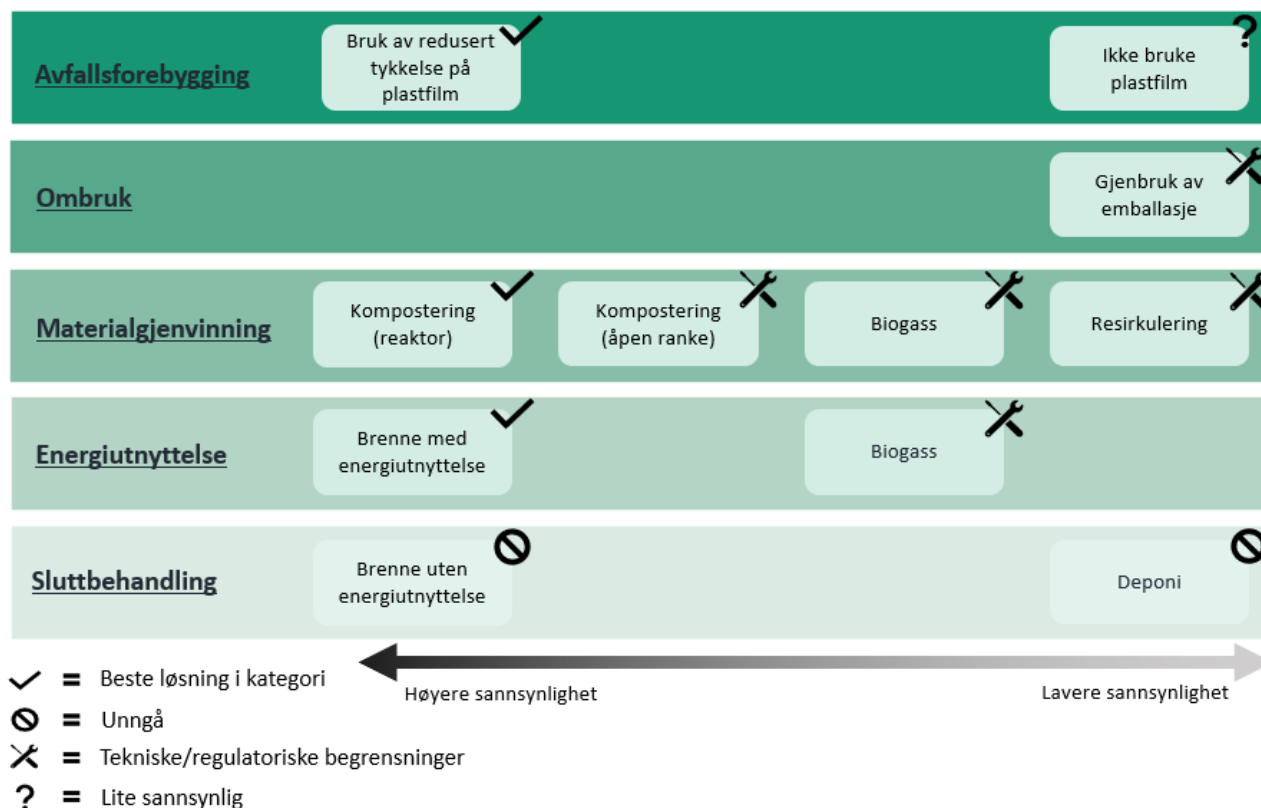
For å utnytte de bionedbrytbare egenskapene til Biodolomer® vil de biologiske behandlingene være prioritert over forbrenning. Denne prioriteringen er også i samsvar med prioriteringene i avfallshierarkiet, hvor materialgjenvinning (i form av kompost, biogass og biogjødsel) er foretrukket over forbrenning med energiutnyttelse. Kompostering faller under materialgjenvinning, mens anaerob nedbrytning vil, avhengig av det spesifikke anlegg, kategoriseres som energiutnyttelse (varme- og strømproduksjon) eller materialgjenvinning (biogassproduksjon med utnyttelse av biorest).

¹⁰ <https://data.gov.uk/dataset/8287c81b-2288-4f14-9068-52bfda396402/r1-status-of-incinerators-in-england>

¹¹ *The climate change impacts of burning municipal waste in Scotland – Technical report. Juni 2021.*

¹²https://www.era.ac.uk/write/MediaUploads/Other%20documents/EfW_Policy_Commission_Report_accessible.pdf

Mulig håndtering av Celnor CS101



Figur 14 Muligheter for Celnor CS101 i et avfallsperspektiv. Ulike metoder for avfallsbehandling er angitt med fallende sannsynlighet fra venstre mot høyre. Sannsynlighet baseres i hovedsak på nåsituasjonen i Storbritannia, men vil også være gjeldende for flere land i Europa.

Materialgjenvinning av Celnor CS101 i form av kompostering, biogass og biogjødsel er per i dag løsningen som vil gi avfallsbehandling høyest opp i avfallshierarkiet. Den beste løsningen når det kommer til avfallshåndtering av disse produktene avhenger av flere faktorer, blant annet kontaminering og infrastruktur. I fremtiden vil nye løsninger i verdikjeden for resirkulering av polymerer, og ved sorteringsanlegg, kunne legge til rette for resirkulering av produkter av Biodolomer®, som Celnor CS101. Basert på dagens avfallsinfrastruktur i Storbritannia, og utfordringer knyttet til bruken av Celnor CS101 i industrielle biogassanlegg, vil kompostering være den foretrukne metoden for avfallsbehandling.

Rundt 8000 tonn komposterbar plast var på markedet i Storbritannia i 2019 (Massey et al., 2019) og det er antydnet en signifikant økning frem mot 2025. Denne utviklingen vil komme brått på avfallsindustrien, som i dag har en infrastruktur som ikke er tilpasset en hensiktsmessig behandling av komposterbar emballasje.

Vår kartlegging viser at det finnes alternativer for kompostering av Celnor CS101, men at det er klare begrensninger knyttet til denne løsningen. Når det kommer til næringsavfall, er det stort sett opp til bedriften selv hvilke avtaler de har for avfallshåndtering. Dette gir fish & chips-restaurantene stor frihet til selv å inngå avtaler som passer deres behov og ønsker, men slike løsninger vil ofte komme som en ekstrakostnad til avfallshåndteringstjenestene de allerede har. Det er viktig å sikre at komposterbare materialer går til riktig sluttdestinasjon med hensyn på miljøgevinst, noe som legger et stort ansvar på aktørene der interleaved plasten oppstår som avfall. I en situasjon der en restaurant eller bedrift har en avtale om å levere inn Celnor CS101 til kompostering, er løsningen avhengig av at det kun er Celnor CS101 som

leveres, og at dette sorteres for seg selv uten innblanding av konvensjonell plast eller biobasert plast som ikke er nedbrytbar.

I tilfeller der en ikke lykkes med å finne løsninger for å sortere Celnor CS101 i en egen avfallsfraksjon for videre behandling ved kompostering, og den i stedet sorteres sammen med annet biologisk avfall til kompostering eller anaerob nedbrytning, vil den etter all sannsynlighet sorteres ut og sluttbehandles ved forbrenning eller ende på avfallsdeponi. For Storbritannia er det estimert at dersom plast (uavhengig av type) ikke blir sortert ut fra annet avfall, vil om lag 90 % gå til forbrenning mens det resterende går til deponi¹³. Hvor emballasjen faktisk vil ende opp avhenger av flere faktorer, som for eksempel geografisk plassering og hvilke avtaler emballasjemottaker har for håndtering av materialet som blir utsortert. Det er nødvendig med mer kunnskap hos forbruker eller enkeltpersoner i bedrifter, som ofte sitter med ansvaret for å sortere avfall, samt at produsenter av plastprodukter i større grad tar ansvar for merking og informasjon om produktet som omsettes og hvordan det skal sluttbehandles.

Nytteverdien i energi skapt fra gjenvinningsanlegg hvor det produseres varme, elektrisitet eller begge deler varier i stor grad. European Bioplastics (EUBP) vurderer forbrenning med energigjenvinning som et mulig valg for sluthåndtering av biobasert plast, men siden motivet for innføringen av nedbrytbare plastprodukter baseres på nettopp denne egenskapen, bør ikke energigjenvinning være den foretrukne behandlingsmetoden for dette avfallet. Forbrenning med energigjenvinning vil i denne sammenhengen først og fremst være en "siste utvei", forutsatt at det kan gjøres kontrollerte valg når det kommer til avfallshåndtering. I alle tilfeller vil deponering av emballasjen være den minst gunstige sluthåndteringen, om man ser bort fra forsøpling som et alternativ.

I den fremtidige strategien for avfall i Storbritannia inngår blant annet et mål å redusere mengden avfall som går til deponi, og nå 75 % materialgjenvinning av emballasje. I tillegg vil et utvidet produsentansvar for emballasje tre i kraft i 2023. For å nå dette målet er det også viktig at bedrifter kildesorterer i større grad enn det gjøres per i dag. Det er ofte dyrere for bedrifter, sammenlignet med husholdninger, å sortere mat- og emballasjeavfall separat for gjenvinning, og i strategien er dette et av punktene som krever handling fra myndighetene sin side.

I april 2022 innførte Storbritannia skatt på produksjon og import av plastemballasje. Skatten omfatter all import av plastemballasje, inkludert varer som allerede er emballert. Skatten skiller ikke mellom ulike typer plast, og det er ikke gjort unntak, eller gitt redusert avgift, for bionedbrytbar eller komposterbar plast. Dette blir blant annet begrunnet med at disse emballasjetypene ikke er egnet for dagens avfallsinfrastruktur i Storbritannia¹⁴.

¹³ *Plastics in the Bioeconomy. Report for the Biomass Biorefinery Network. ED12430.*

¹⁴ <https://www.veolia.co.uk/insight/plastic-packaging-tax-your-questions-answered>

6.4 Miljøpåvirkning

Hovedfunn

Det er usikkert om, eller i hvilken grad, "bioplast" er mer miljøvennlig enn konvensjonell plast. Det er viktig med optimale verdikjeder for å sikre et bærekraftig livsløp for nye plastalternativer, men dette kan være utfordrende siden dagens avfallsinfrastruktur ikke er tilstrekkelig utviklet.

Klimaindikatorer som karbonavtrykk, globalt oppvarmingspotensial, bruk av fornybare råvarer, eller sluttbehandlingsalternativ, blir ofte benyttet når biobaserte eller nedbrytbare plastalternativer vurderes med hensyn på miljøpåvirkning. Bruk av fornybare råvarer og bionedbrytbarhet gjør at "bioplaster" ofte betegnes som et miljøvennlig alternativ siden dette bidrar til målene for sirkulærøkonomi. Energibehovet ved produksjon av bioplaster er også lavere sammenlignet med konvensjonell plast, noe som gir mindre innvirkning på global oppvarming (Sharma et al., 2020).

Fra litteraturen er det likevel ingen entydig konklusjon om at bioplast³ er mer miljøvennlig enn konvensjonell plast. Anaerob nedbrytning frigir metangass, en drivhusgass som er mer potent enn CO₂, og prosessen bidrar derfor til global oppvarming. Bruk av plantematerialer medfører at landområder benyttes til produksjon av plast i stedet for å brukes til produksjon av mat. Globalt brukes 0,016 % av matjorden til plastproduksjon (Hann et al., 2018). Bruken av kunstgjødsel og plantevernmidler på områder benyttet til produksjon av råstoff til biobasert plast er også konkretisert som en miljømessig utfordring. Det er også rapportert at bioplast bidrar mer til nedbrytningen av ozonlaget enn konvensjonell plast (Atiweh et al., 2021).

Biobaserte plaster kan kategoriseres basert på hvor råstoffet kommer fra (se tekstboks). Miljøpåvirkningen fra en biobasert plast vil kunne reduseres ved bruk av mer andre- og tredje-generasjons plaster.

En gjennomgang av livssyklusanalyser av 50 biobaserte og 39 fossilbaserte plaster (Walker & Rothman, 2020) konkluderte med at det ikke var mulig å angi om biobasert eller petroleumsbasert plast var best i noen av kategoriene for påvirkningsfaktorer.

6.4.1 Plast på avveie

Beskrivelsen av plastemballasje som *nedbrytbar*, *komposterbar* og *hjemmekomposterbar* i kommunikasjon til konsumenter, kan skape forvirring hos forbruker, både med hensyn på avfallssortering og plast-forurensing. Det er en vanlig misoppfatning at all biobasert plast brytes ned i naturlig miljø, noe som gjør at forsøpling til en viss grad er akseptert (Rujnic-Sokele & Pilipovic, 2017; Kershaw et al., 2015; Gerassimidou et al., 2021) og at markedsføring/merking som "biologisk nedbrytbar" kan øke sannsynligheten for uønsket forsøpling (UNEP, 2015). Det at enkelte plasttyper er nedbrytbare eller komposterbare, betyr ikke at denne typen avfall kan kastets i naturen. Betegnelsen tillater derimot en spesifikk metode for avfallshåndtering som kan være gunstig for enkelte produkt og bruksområder.

Det er ikke kjent hvor lang tid en fullstendig mineralisering av plast vil ta, men det er antydning at all konvensjonell plast som noen gang er laget fortsatt eksisterer i en form som er for stor til biologisk nedbrytning, så lenge den ikke er brent (Andrady, 2005). Det eksisterer ingen objektiv og akseptabel tidsskala for søppel, og det er vanskelig å definere hva som er *rask nok* nedbrytningstid i miljøet. Nedbrytningen av plast vil over tid føre til stadig mindre og mindre biter. En delvis nedbrytning av plastprodukter kan føre til dannelsen av nanopartikler og syntetiske nedbrytningsprodukt (Lambert et al. 2008), og mikroplast kan videre spres over store områder. Dersom bionedbrytbar plast ikke blir fullstendig nedbrutt i miljøet, har den

Opprinnelse av biobasert plast

Første generasjon: laget av et råstoff som egentlig er mat. (i) Fra planteoljer (soyabønne, palmeolje etc.), (ii) stivelse (mais, hvete etc.) eller (iii) glukose (sukkerør).

Andre generasjon: Råstoffet som brukes er ikke-mat og kan være et biprodukt av matdyrking. (i) Fra biomasse som skog eller biprodukter fra dyrking av mat. (ii) Fra planteoljer som ikke er mat (kastor bønner eller biprodukter matoljer).

Tredje generasjon: Disse råstoffene blir fremstilt uten bruk av mat eller matjord. (i) Sukker som produseres av for eksempel alger, bakterier, sopp og gjær. (ii) kilden er for eksempel matavfall.

likevel lavere risiko for å forårsake skadelige konsekvenser enn produkter som ikke brytes ned (van den Oever et al., 2017).

Biodolomer® har en massetetthet høyere enn vann og vil (avhengig av utformingen) kunne synke fra overflaten ned i vannsøylen, enten til bunns eller til det punktet der tettheten til sjøvannet er lik tettheten til plasten.

Bruken av Biodolomer® eller andre bionedbrytbare plastprodukter vil ikke løse utfordringen knyttet til forøpling, særlig ikke i marint miljø.

6.5 Kostnadsvurdering

Det kan brukes normalt mellom 2,3 og 2,7 meter plastfilm per plate (6,81 kg). Dette utgjør litt over 7 gram kontrollplast per kg fisk ved standard tykkelse (40 µm) og forbruk på 2,7 meter per plate. Til sammenligning vil bruk av Celnor CS101 øke emballasjevekten per kg fisk med 50 %, til litt under 11 gram plast per kg fisk.

Basert på normalt forbruk og markedspris for konvensjonell interleave-plast (per august 2023) gir dette en kostnad på om lag 0,35 – 0,40 NOK/kg fisk. Prisestimat for Celnor CS101 på rull for to ulike tykkelser (35 µm og 45 µm) ligger på 2,5 – 2,8 NOK/meter (basert på valutakurs for euro per august 2023). Prisen er inkl. frakt til Norge). Dette gir en kostnad per kg fisk mellom 1,0 - 1,18 NOK, noe som er en betydelig høyere kostnad.

Prisen på plastark av Celnor CS101 (545 x 330 mm) er noe lavere enn på rull. Med samme forutsetninger nevnt over, har plastarkene en pris på 0,8 – 1,0 NOK/kg fisk. Med utgangspunkt i salgspris for torskefilet på 105 - 110 NOK/kg (per august 2023), utgjør vanlig interleave-plast om lag 0,35 % av salgsprisen. Til sammenligning vil Celnor CS101 utgjøre mellom 0,7 til 1,1 % av salgsprisen, noe som tilsvarer en prisøkning på 0,4 - 1,0 % for torskefilet.

Fraktkostnader har stor innvirkning på pris, og kan for eksempel utgjøre så mye som 30 % av prisen for Celnor CS101. Dette avhenger blant annet av hvor plasten fraktes fra og til, samt volum på enkeltbestillinger. Det er ikke nødvendigvis en lineær økning mellom vekt og pris for frakten.

Et stadig økende fokus på bærekraft gjør at forbrukere i større grad er villige til å betale en høyere pris for produkter som er produsert mer bærekraftig. Forbrukerne er også i større grad villig til å endre vaner for å handle mer bærekraftig. Bedrifter og foretak som legger vekt på bærekraft i sine produkter, har derfor mulighet til å øke prisene for å hente inn de økte kostnadene som følger av å velge mer kostbare løsninger, som for eksempel nye emballasjeprodukter. Produsenter av både hvitfisk og emballasje opplever at sine kunder i stor grad ønsker produkter som vektlegger nettopp bærekraftighet.

7 Hovedfunn

- Celnor CS101 er enkel å håndtere og fungerer godt til interleave-pakking om bord.
- Plastalternativet er mindre gjennomskiktig sammenlignet med plasten som brukes i dag.
- Celnor CS101 tåler noe mindre belastning før det oppstår brudd/skade på filmen sammenlignet med kontrollplasten. Det var likevel ingen endring i funksjonalitet eller utseende etter fryselagring i 24 måneder.
- Basert på sensoriske vurderinger og mikrobiologisk analyse holder kvaliteten på fisken seg svært godt gjennom fryselagringstiden på 24 måneder for begge plasttyper.
- Den største utfordringen med Celnor CS101 ser ut til å være knyttet til vedheft ved avemballering av tint fisk. Dette gir likevel ingen synlig skade på fileten etter avemballering.
- For å utnytte de bionedbrytbare egenskapene til Biodolomer® vil biologisk avfallsbehandling være prioritert over forbrenning. Basert på dagens avfallsinfrastruktur i Storbritannia vil kompostering være den mest aktuelle metoden for avfallsbehandling.
- Det er viktig å sikre at komposterbare materialer går til riktig sluttdestinasjon med hensyn på miljøgevinst, noe som legger et stort ansvar på aktørene der interleave plasten oppstår som avfall.
- Plasten som i dag benyttes til interleave pakking av filet sendes som regel til forbrenning eller deponi. Dette kan være et godt argument for å bytte til biobasert og bionedbrytbar plast som i begge scenarioer (kompostering og forbrenning) vil være bedre enn forbrenning av fossilbasert plast.
- Det er usikkert om, eller i hvilken grad, "bioplast" er mer miljøvennlig enn konvensjonell plast. Det er viktig med optimale verdikjeder for å sikre et bærekraftig livsløp for nye plastalternativer, men dette kan være utfordrende siden dagens avfallsinfrastruktur ikke er tilstrekkelig utviklet.
- Bionedbrytbare polymerer koster ofte mer enn petroleumsbaserte polymerer. Dette er også tilfelle for Celnor CS101. Det kan være nødvendig med økonomiske insentiv for at nye nedbrytbare plastalternativer skal foretrekkes.

8 Referanser

Asgher A, Qamar SA, Bilal M, Iqbal HNN (2020) *Bio-based active food packaging materials: sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials*. Food Research Materials, 137, 109625.

ASTM (2004) ASTM D6400-04 standard specification for compostable plastics. ASTM International, West Conshohocken.

Andrady, A.L. (2005) in Proc. Plastic Debris Rivers to Sea Conf., Algalita Marine Research Foundation, California, USA.

Atiweh, G., Mikhael, A., Parrish, C.C. et al. (2021). Environmental impact of bioplastic use: a review Heliyon, 7 2021, p. e07918.

DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). (2021). Waste Management Plan for England. Tilgjengelig fra:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/955897/waste-management-plan-for-england-2021.pdf

DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). (2018). *Our waste, our resources: a strategy for England*. Tilgjengelig fra:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/765914/resources-waste-strategy-dec-2018.pdf

Deloitte (2019) Sirkulær plastemballasje i Norge. Kartlegging av verdikjeden for plastemballasje.

European Bioplastics. (2016). *Guidelines for the Use of Seedling Logo*. Tilgjengelig fra: https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/EUBP_Guidelines_Seedling_logo.pdf

European Bioplastics. (2021). Bioplastics market development update 2021. Tilgjengelig fra: https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2021_short_version.pdf

Erikson U, Bye G, Oppedal K. (2009). Fastere filet – industritest og opplæring. SINTEFrappport nr SFH80 A095028. https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900109/?fileurl=https://fhfno.sharepoint.com/sites/pdb/Dokumenter/900109/Kvalitetsbrosjyre%20laks_medres12022010.pdf&filename=Faktaark:%20Veiledning%20til%20bed%C3%B8mmelse%20av%20tekstur%20i%20laks%20fil%C3%A9

Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer (2013). Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer (FOR -2013-06-28-844). Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-06-28-844?q=kvalitet%20p%C3%A5%20fisk>

Gerassimidou, S., Martin, O. V., Chapman, S. P., Hahladakis, J. N. & Iacovidou, E. (2021). *Development of an integrated sustainability matrix to depict challenges and trade-offs of introducing bio-based plastics in the food packaging value chain*. Journal of Cleaner Production, Volum 286, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125378>.

Hann, S., Scholes, R., Briedis, R. & Kirkevåg, K. (2018). Bio-Based and Biodegradable Plastics. Rapport fra Mepex og Eunomia på oppdrag fra Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1206/m1206.pdf>

Kale, G., Auras, R., Singh, S.P. (2007a). Comparison of the degradability of poly (lactide) packages in composting and ambient exposure conditions. Packag. Technol. Sci., 20, pp. 49-70.

Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S.E. and Singh, S.P. (2007b). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. Macromol. Biosci., 7: 255-277.

Kershaw, P.J. (2015). Biodegradable Plastics, Marine Litter Misconceptions, Concerns and Impacts on Marine Environments. (UNEP GPA).

Kourmentza, C.; Plácido, J.; Venetsaneas, N.; Burniol-Figols, A.; Varrone, C.; Gavala, H.N.; Reis, M.A.M. (2017). Recent Advances and Challenges towards Sustainable Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production. Bioengineering 2017, 4, 55.

Lambert, S., C. J. Sinclair, E. L. Bradley and A. B. A. Boxall. (2013). "Environmental fate of processed natural rubber latex." Environmental Science-Processes & Impacts 15(7): 1359-1368.

Massey, S.; Pitcairn, J.; Minty, N. (2019) *Plastics in the Bioeconomy*; Report for the Biomass Biorefinery Network ED12430; Ricardo Energy Environment: Glasgow, UK.

Meld. St. 45 (2016–2017). Avfall som ressurs – avfallspolitikk og sirkulær økonomi. Klima- og miljødepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-45-20162017/id2558274/>

Miljødirektoratet (2018). Notat. Relevante begreper – biobasert og bionedbrytbar plast. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/bilder/nyhetsdokumenter---old/notat-om-relevante-begreper--biobasert-og-bionedbrytbar-plast2.pdf>

Miljødirektoratet (2019). Svar på oppdrag om biobasert og bionedbrytbar plast - en overordnet vurdering. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/tema/avfall/biobasert-og-bionedbrytbar-plast---svar-pa-oppdag-del-2.pdf>

Nielsen J & Jessen F (2007). Quality of Frozen Fish. In book: Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality pp.577 – 586.

NNFCC. (2019). *UK Biogas Map 2019 (en del av "Anaerobic Digestion Deployment in the UK Report 2019)*. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1PMuhQ28ZLLiZohXjQ0nhTUfLMZ2PvjQP&ll=53.35966022844206%2C0.19226714603655104&z=7>

Profu (2019). LCA for Biodolomer® within EU LIFE15 ENV/SE/000315. Tilgjengelig fra: https://gaiabiomaterials.com/datasheet/LCA_for_Biodolomer_Final_version.pdf

Prosperi, M.; Sisto, R.; Lombardi, M.; Zhu, X. Production of bioplastics for agricultural purposes: A supply chain study. Riv. di Studi Sulla Sostenibilit  2018, 119–136.

Roiha I. S., Tveit, G. M., Backi, C., J nsson,  ., Karlsd ttir, M., & Lunestad, B. T. (2018). Effects of controlled thawing media temperatures on quality and safety of pre-rigor frozen Atlantic cod (*Gadus morhua*). LWT, 90, 138-144.

Rujnic-Sokele, M., & Pilipovic, A. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. Waste Management & Research, 35(2), 132–140.

Sharma, P.; Gaur, V.K.; Kim, S.H.; Pandey, A. Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. Bioresour. Technol. 2020, 299, 1–11.

Uglem, S., Svendsen, E. S., Widell, K., Nordtvedt, T. S., Tveit, G. M., & Schei, M. (2021). Holdbart - Refreshkjeder for laks. Rapportnummer 2021:01135, SINTEF.

UNEP. (2015). Biodegradable Plastics and Marine Litter – Misconceptions, concerns and impacts on marine environments, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.

Van den Oever, M. et al. (2017). Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures: focus on food packaging in The Netherlands. Wageningen Food & Biobased Research.

Walker, S., & Rothman, R. (2020). Life cycle assessment of bio-based and fossil-based plastic: A review. Journal of Cleaner Production, 261, 121158.

Wojnowska-Bary a, I., Kulikowska, D. & Bernat, K. (2020). *Effect of Bio-Based Products on Waste Management*. Sustainability, 12(5), p.2088. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/su12052088>.

Vedlegg 1

Beregninger

Strekfasthet (nominell stress) ble beregnet med følgende formel:

$$\text{Strekfasthet}, \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Hvor σ = stress (Pa), F = kraft (N) og A_0 = areal av tverrsnittet av legemet (m^2). Omregning fra gram kraft til Newton ble gjort med følgende formel:

$$F_N = \frac{\left(\frac{F_g}{1000}\right)}{0,10197162 \text{ kg}} \quad (2)$$

Hvor F_N = kraft (N) og F_g = kraft (g). Konstanten brukt for omregning fra gram til newton, $k = 0,10197162 \text{ kg} = 1 \text{ N}$. Beregning av tetthet ble gjort med følgende formel:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Hvor ρ = tetthet (g/cm^3), m = masse (g) og V = volum (cm^3).