



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Fakultet for kjemi, bioteknologi og matvitenskap (KBM)

**Egnethet av cellulosebasert
emballasjematerialer i direkte kontakt
med mat – Evaluering av
materialegenskaper og produktkvalitet**

Suitability of cellulose-based packaging materials in
direct contact with food - Evaluation of material
properties and product quality

Katarina Marie Thun

Matvitenskap - Produksjon og utvikling av næringsmidler

Forord

Denne oppgaven ble skrevet våren 2021 i forbindelse med en toårig masterstudie i matvitenskap, retning produksjon og produktutvikling av næringsmidler ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven har blitt skrevet i samarbeid med Nofima innenfor innovasjonsprosjektet ReducePack og det strategiske forskningsprosjektet FutureFoodControl. Jeg vil rette en stor takk til Nofima og ReducePack, for bruk av lokaler, og ikke minst finansiering av denne oppgaven.

Jeg vil først og fremst takke min hovedveileder Marit Kvalvåg Pettersen (NMBU/Nofima) for god veiledning, råd og gode konstruktive tilbakemeldinger gjennom hele denne perioden. Takk for at du hatt nye løsninger på lur når ting ikke har fungert som det skulle. Videre vil jeg takke biveileder Julie Nilsen-Nygaard (Nofima) for god veiledning og gode svar på mine spørsmål gjennom hele perioden. Jeg vil også rette en stor takk til biveileder Magnhild Seim Grøvlen (Nofima) for all opplæring av instrumenter og maskiner, i tillegg til all hjelp og veiledning du har gitt meg i forbindelse med det praktiske arbeidet til denne oppgaven. Jeg vil takke Tove Maugesten (Nofima) for all opplæring og veiledning du har gitt meg i forbindelse med den mikrobiologiske analysen.

Til slutt vil jeg takke familie og venner for all oppmuntring og støtte gjennom hele studieforløpet.

Ås, juni 2021

Katarina Marie Thun

Sammendrag

Fokuset på bærekraft og sirkulær økonomi har ført til et økt behov for å utvikle nye konsepter for emballering av næringsmidler, inkludert cellulosebaserte materialer, som forhåpentligvis kan erstatte deler av emballasje produsert av fossil-basert plast. Dette medfølger et behov for økt kunnskap om cellulosebaserte materialer om deres materialegenskaper og effekt ved forskjellig påvirkninger (omgivelser, kontakt osv.) og dermed deres egnethet i kontakt med mat.

Hensikten med denne oppgaven var å evaluere egnetheten og egenskaper til cellulosebaserte pulpmaterialer for emballering av ferske matvarer. Dette ble gjort ved å fokusere på to delmål; Første delmål var å undersøke to cellulosebaserte pulpmaterialer, bestående av Pulp og Pulp med en mono-amorf polyetylentereftalat (APET) film, ved å evaluere deres materialegenskaper. Andre delmål var å undersøke Pulp m/APET i kontakt med matvarer av kyllingfilet og ytrefilet av storfe, ved å sammenligne med et konvensjonelt plastmateriale (APET), og evaluere matkvalitet under lagring.

Materialegenskapene til Pulp og Pulp m/APET ble undersøkt ved blant annet å måle oksyngjennomgang (OTR), gjennomføre lekkasjetest og Cobb test. I tillegg ble det utført material-testing i kontakt med simulanter, bestående av vann, olivenolje og uten simulatant lagret ved tre forskjellige lagringsbetingelser (4°C, 23°C/50% RF og 22°C) i opptil 21 dager. Etter lagringen ble materialene analysert for skålvekt absorpsjon, materialtykkelse og punkturstyrke.

Til lagringsforsøket med kyllingfilet og ytrefilet av storfe ble emballasjematerialene Pulp m/APET og referansen APET pakket i modifisert atmosfære med gassammensetningen 60% karbon dioksid (CO₂)/40% nitrogen (N₂) med gass/produkt (g/p) forhold på 1, og lagret ved 4°C. Lagringsforsøket med kyllingfilet gikk over 11 dager, og det ble tatt prøver ved dag 0, 5, 8 og 11. Lagringsforsøket med ytrefilet av storfe gikk over 12 dager, og det ble tatt ut prøver ved dag 0, 5, 8 og 12. Evaluering av matkvalitet ble gjort på bakgrunn av analysene; gassammensetning av oksygen- og karbondioksid i headspace, væsketap og mikrobiologisk analyse av «total vaible count» (TVC).

Resultatene viste ved målinger av oksyngjennomgang (OTR), lekkasjetest og material-testing med simulanter at Pulp og Pulp m/APET skåler ikke var tette. Dette skyldtes trolig mikroskopiske hull i skålene, som forårsaket lekkasje. Blant emballasjematerialene hadde Pulp m/APET høyest gjennomsnittlig materialtykkelse og punkturstyrke ved alle målingene etter lagring med simulanter (vann, olivenolje og u/simulant) uansett lagringsbetingelse. Målinger

av materialegenskaper ble det tydelig vist at Pulp med mono-APET film, hadde bedre evne til å motstå vannabsorpsjon og oljeabsorpsjon under lagring, sammenlignet med Pulp.

Lagringsforsøket med kyllingfilet og ytrefilet av storfe viste at Pulp m/APET var signifikant forskjellig fra referansen APET for alle målingene av gassammensetningen for oksygen- og karbondioksid i headspace. Pulp m/APET var også signifikant forskjellig fra referansen for alle målinger av mikrobiologiske analysen totalantall. Imidlertid ble det ikke vist signifikante forskjeller mellom emballasjematerialene på væsketapet for kyllingfilet og ytrefilet av storfe.

Det kan konkluderes med at de cellulosebaserte materialene, Pulp og Pulp m/APET, ikke er egnet til emballering av ferske kjøttprodukter, ettersom det ble avdekket at materialene ikke var tette. Slik det foreligger nå bidrar ikke de testede cellulosebaserte pulpmaterialene med å forbedre matkvalitet, men kan i stedet føre til mer matsvinn, sammenlignet med emballering i konvensjonelt plastmateriale. Cellulosebasert emballasjematerialer har potensiale, men krever optimalisering for å kunne være egnet til ferske matvarer. Pulp uten belegg/coating er kanskje mest egnet til tørre matprodukter.

Abstract

The focus on sustainability and circular economy has led to an increased need to develop new concepts for food packaging, including cellulose-based materials, which hopefully in the future can replace parts of packaging produced from fossil-based plastics. This requires a need for increased knowledge of cellulose-based materials, about their material properties and effect under different influences (environment, contact etc.), and their suitability in contact with food.

The aim of this thesis was to evaluate the suitability and material properties of cellulose-based materials for food packing. This was done by focusing on two sub-goals. The first sub-goal was to examine two cellulose-based materials, consisting of Pulp and Pulp with a mono-amorphous polyethylene terephthalate (APET) film, by evaluating their material properties. The second sub-goal was to examine Pulp w/APET in contact with chicken fillet and beef, by comparing with a conventional plastic material (APET) and evaluating food quality during storage.

The material properties of Pulp and Pulp w/APET were examined by measuring the «oxygen transmission rate» (OTR), leak test and Cobb test. As well as material-testing in contact with simulants, consisting of water, olive oil and without simulant, stored at three different storage conditions (4°C, 23°C/50% RF and 22°C) up to 21 days. The materials were analysed after storage for tray weight absorption, material thickness and puncture strength.

In the storage experiments with chicken fillet and beef tenderloin, the packing materials Pulp w/APET and the reference APET were packed in modified atmosphere with the gas composition 60% carbon dioxide (CO₂)/40% nitrogen (N₂) with gas/product (g/p) ratio of 1 and stored at 4°C. The storage experiment with the chicken fillet lasted for 11 days, and samples were taken at days 0, 5, 8 and 11. The storage experiment with the beef tenderloin lasted over 12 days, and samples were taken at days 0, 5, 8 and 12. Evaluation of food quality were conducted based on the analyses; gas composition (oxygen and carbon dioxide concentration in headspace), drip loss and microbiological analysis of the total viable count (TVC).

Based on measurements of oxygen transmission rate (OTR), leakage test and material-testing with simulants, showed that Pulp and Pulp w/APET were not tight. This was probably due to microscopic holes in the packaging trays, which caused leakage. Pulp w/APET had the highest average material thickness and puncture strength in all measurements after storage with simulants (water, olive oil and w/simulant), regardless of storage conditions. Measurements of

material properties showed that Pulp with mono-APET film, had a better ability to resist water absorption and oil absorption during storage, compared to Pulp.

Pulp w/APET was significantly different from the reference APET for all measurements of the gas composition for oxygen and carbon dioxide in headspace, in the storage experiments of chicken fillet and beef tenderloin. Pulp w/APET was also significantly different from the reference for all measurements of microbiological analysis (TVC). However, no significant differences were shown between the packaging materials on the drip loss for chicken fillet and beef tenderloin.

It can be concluded that the cellulose-based materials, Pulp and Pulp w/APET, are not suitable for packing fresh meat products, as it was discovered that the materials were not tight. As it stands now, the tested cellulose-based pulp materials do not help to improve food quality, but can instead lead to more food waste, compared to packaging in conventional plastic material. Cellulose-based materials have potential but requires optimization to be suitable for fresh food products. Pulp without coating is perhaps most suitable for dry food products.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	5
1. Innledning	9
1.1 Hensikten med oppgaven	11
2. Teori	12
2.1 Biobaserte materialer.....	12
2.1.1 Cellulose.....	13
2.1.1.1 Mekanisk pulp.....	14
2.1.1.2.Kjemi-termomekanisk pulp (CTMP).....	15
2.1.1.3 Form-pressing metode	16
2.2 Plastmaterialer.....	17
2.3 Emballasjens funksjonalitet.....	17
2.4 Oksyngengjennomgang (OTR)	18
2.5 Vannabsorpsjon.....	19
2.6 Emballeringsmetode: Modifisert atmosfære pakking (MAP)	19
2.6.1 Aktiv emballering	21
2.7 Holdbarhetstid og produktkvalitet.....	22
3. Materialer og metoder	24
3.1 Emballasjematerialer	24
3.2. Målinger av materialelegenskaper	25
3.2.1 Metallplater	25
3.2.2 Sveisebehandlinger	26
3.2.3 Lekkasetest	28
3.2.4 OTR med celler.....	28
3.2.5 Cobb test	30
3.3 Material-tester med simulant.....	31
3.3.1 Forberedelser til material-testing med simulanter.....	31
3.3.2 Praktisk gjennomføring av material-testing med simulanter	31
3.3.2.1 Skålvekt etter lagring med simulanter	32
3.3.2.2 Materialtykkelse.....	33
3.3.2.3 Punkturstyrke	34
3.4 Lagringsforsøket med næringsmidler.....	35
3.4.1 Emballasjematerialer til lagringsforsøket med næringsmidler	35

3.4.2 Forberedelser til lagringsforsøket med næringsmidler	36
3.4.2.1 OTR	36
3.4.2.2 Beregning av g/p-forhold.....	37
3.3.3 Lagringsforsøket med næringsmidler: praktisk gjennomføring.....	37
Ytrefilet av storfe	38
3.3.4 Pakkemethode	38
3.3.5 Analyser under lagringsforsøkene.....	39
3.3.5.1 Headspace gassmålinger	39
3.3.5.2 Væsketap.....	39
3.3.5.3 Mikrobiologisk analyse.....	39
3.5 Statistisk analyse	43
4. Resultat og diskusjon	44
4.1 Materialeegenskaper	44
4.1.1 OTR.....	44
4.1.1.1 Lekkasjetest	44
4.1.1.2 Headspace gassmålinger	45
4.1.3 Vannabsorpsjon/Cobb-verdi	46
4.1.4 Utseende observasjoner.....	46
4.1.5 Skålvekt absorpsjon etter lagring	49
4.1.6 Materialtykkelse.....	50
4.1.7 Punkturstyrke	54
4.1.8 Effekt av variablene; materiale, lagringsbetingelser og simulanter på materialeegenskaper (materialtykkelse, punkturstyrke og skålvekt absorpsjon).....	57
4.2 Lagringsforsøket med næringsmidler.....	59
4.2.1 Gassammensetning.....	59
4.2.2 Væsketap.....	62
4.2.3 Utseende observasjoner.....	66
4.2.4 Mikrobiologisk analyse.....	69
5. Konklusjon	72
6. Forslag til videre arbeid.....	73
7. Referanseliste	74
Vedlegg	79

1. Innledning

Emballasje har mange viktige funksjoner og formål, spesielt å sikre matvarens holdbarhet, beskytte matvaren, samt å forhindre matsvinn. Emballasjen har også en viktig rolle å gi beskyttelse til matvaren mot mikrobiell vekst, fysisk skade, samt fysisk barriere fra det ytre miljøet som lys, oksygen og fuktighet (Muthu, 2016). Med andre ord er emballering anerkjent for kvalitetsbevaring av matprodukter, og et viktig bidrag for bærekraftig utvikling, samt reduksjon av matsvinn (Lindh; et al., 2016; Svanes et al., 2010). I den sammenheng kan en ukritisk reduksjon av emballasje føre til mer skade for miljøet, enn miljøbelastningen fra emballasjen i seg selv (Muthu, 2016).

Relatert til miljøaspektet har plast fått negativ oppmerksomhet de siste årene, spesielt knyttet til at plast havner i naturen/havet og ikke i restavfallet. Etersom plast har en lang nedbrytningstid, vil den ikke brytes ned på lik måte som matavfall, som havner i naturen. På verdensbasis har det siden 2000-tallet blitt produsert like mye plast som alle de foregående årene til sammen, hvorav en tredjedel av plasten har havnet i naturen (Dalberg Advisors et al., 2019). Dersom ingenting endres, er det antatt ifølge rapporten til Ellen MacArthur Foundation og New Plastic Economy (2017) at havet vil inneholde 1 tonn plast for hver 3 tonn fisk innen 2025.

I tråd med sirkulær økonomi er det viktig at norsk næringsmiddelindustrien bidrar, som blant annet omhandler bruken av jordas ressurser på best mulig måte, samt mer effektiv bruk av ressursene som reduserer klimautslipp (Miljødirektoratet, 2020). I den sammenheng har næringsmiddelindustrien de siste årene fokusert på å redusere plastbruken og anvende mer gjenvinnbare materialer, samt erstatte fossilbaserte plastmaterialer med emballasjematerialer basert på fornybare ressurser. Dette kan være biobaserte emballasjematerialer, som er ifølge EN 16575:2014 helt eller delvis lagd av fornybare råmaterialer (biomasse) (CEN, 2014).

Fordelen med plast som emballasjemateriale kan forklares av mange faktorer, slik som lave kostnader, gode fysiske egenskaper (tetthet, molekylvekt) og mekaniske egenskaper, samt gode barriereegenskaper. Sammenlignet med fossilbaserte plastmaterialer, har bruken av biobaserte materialer noen fordeler relatert til miljøpåvirkninger, f.eks. redusert klimautslipp (Halonen et al., 2020; PlasticsEurope, 2021).

Cellulosebaserte materialer er biobaserte og biologisk nedbrytbare materialer. Bruken av cellulosefibrer fra tremasse til fremstilling av emballasje av kartong og papir er allerede godt etablert i næringsmiddelindustrien. Imidlertid har disse materialene tradisjonelt vært begrenset til tørr mat eller i kombinasjon med plast som ytre beskyttende emballasje. På grunn av deres vannfølsomhet (hygroskopisitet), relativt dårlig mekaniske egenskaper, varmestabilitet og prosesserings egenskaper (Nilsen-Nygaard et al., 2021; Rhim & Ng, 2007). Økt bruk av biobaserte og bionedbrytbare materialer, som cellulosebaserte, kan i fremtiden være en del av løsningen på noen av utfordringene som er knyttet til fossil-basert plast (Ahmed, 2018; Mangaraj et al., 2019).

En av utfordringene emballasjeindustrien står overfor i arbeidet med å produsere biobaserte emballasjematerialer, er å kombinere holdbarheten til emballasjen med holdbarheten på matvaren. De biobaserte emballasjematerialene må forbli stabilt i kontakt med matvarer under relevante lagringsbetingelser, uten endringer i mekaniske egenskaper og barriereegenskaper, samt fungere optimalt under lagring og frem til forbruker (Ahmed, 2018; Petersen et al., 1999). Dette medfølger et behov for økt kunnskap om cellulosebaserte materialer om deres egenskaper og effekt ved forskjellige påvirkninger (omgivelser, kontakt osv.), og dermed deres egnethet i direkte kontakt med mat.

1.1 Hensikten med oppgaven

Denne masteroppgaven er gjennomført hos Nofima, og er skrevet som en del av innovasjonsprosjektet ReducePack og det strategiske forskningsprosjektet FutureFoodControl. Målet til prosjektet ReducePack er «å redusere plastforbruket og de miljømessige utfordringene knyttet til plast. Samtidig som emballasjens funksjon ivaretas: bevare matkvalitet og unngå/ redusere matsvinn». For å oppnå dette skal flere strategier utvikles og testes, og to strategier fra dette prosjektet skal testes i denne oppgaven, nemlig å erstatte plast med fiber (Reduce by Replace) og øke bruken av materialer som kan materialgjenvinnes (Reduce by Recycle) (Nofima, 2019).

Hensikten med denne oppgaven var å evaluere egnetheten og materialegenskaper til cellulosebaserte pulpmaterialer for emballering av matvarer. Dette ble gjort ved å fokusere på to delmål;

Første delmål var å undersøke egnetheten til to emballasjematerialer bestående av 90-100% jomfruelig cellulosefiber, ved å studere deres materialegenskaper og effekt av ulike påvirkninger, slik som temperatur, relativ luftfuktighet (RF) og kontakt med simulanter.

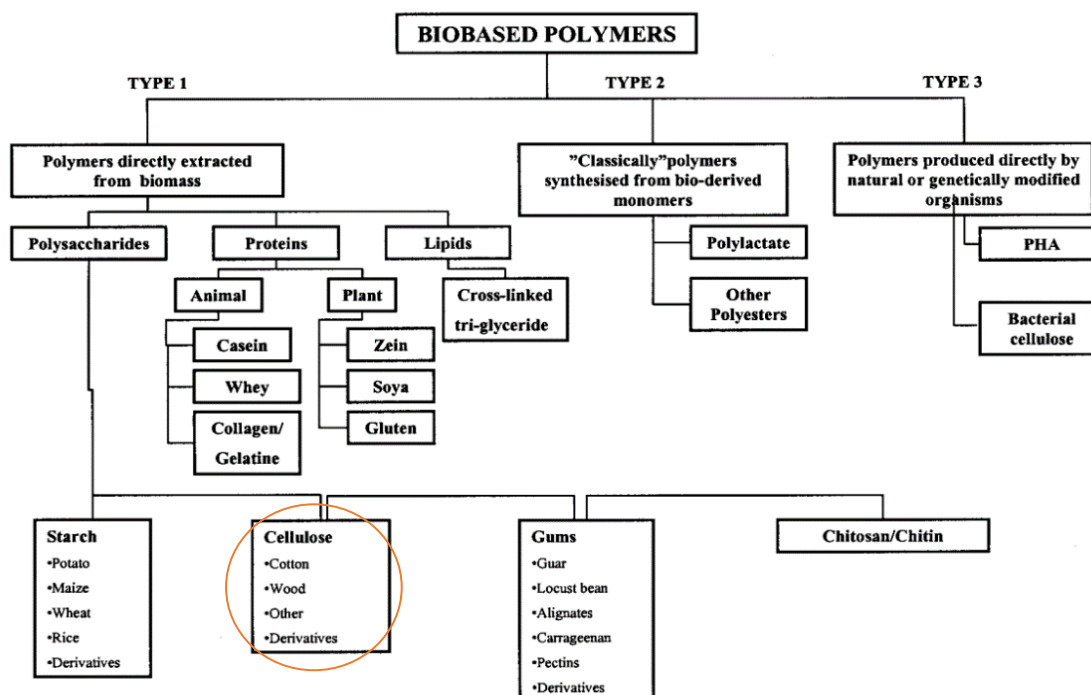
Andre delmål var å undersøke egnetheten for ett cellulosebasert emballasjemateriale for modifisert atmosfære pakking (MAP) av fersk kyllingfilet og ytrefilet av storfe, ved å sammenligne med et konvensjonelt plastmateriale (APET) som referanse, for å kunne evaluere effekt på matkvalitet.

2. Teori

2.1 Biobaserte materialer

Biobaserte polymere kan deles inn i tre hovedgrupper basert på opprinnelse og produksjon, en presentasjon av gruppene er illustrert i Figur 1 (Mangaraj et al., 2019; Weber et al., 2002). Gruppe 1 utgjør polymerer som er ekstrahert eller produsert fra biomasse. Visse polysakkarider som stivelse, cellulose og proteiner tilhører denne gruppen. Gruppe 2 innebærer at en finner monomeren i naturen, og ved anvendelse av biobaserte monomere kan polymerer bli produsert ved klassisk kjemisk syntese. Et eksempel er Poly Lactic Acid (PLA), som er en biopolymer polymerisert fra melkesyremonomere. PLA er en av mange lovende biobaserte polymere pga. tilgjengeligheten, komposterbarheten, biokompatibilitet og egenskaper nær konvensjonelle fossilbaserte polymerer (Farah et al., 2016).

Gruppe 3 inkluderer polymerer som produseres av mikroorganismer eller genmodifiserte bakterier (Ahmed, 2018; Halonen et al., 2020). Til dags dato består denne gruppen hovedsakelig av polyhydroksyalkanoater (PHA), men utviklingen med bakteriell cellulose og andre polysakkarider pågår også (Mangaraj et al., 2019). Blant alle de biobaserte polymerene har PHA fått et enda større fokus pga. sin biologisk nedbrytning, biokompatibilitet, kjemiske mangfold og produksjon fra fornybare karbonressurser ved biologisk fermentering (Wang et al., 2016).



Figur 1. Opprinnelse av forskjellige grupper av biologisk baserte materialer. Foto: (Weber et al., 2002).

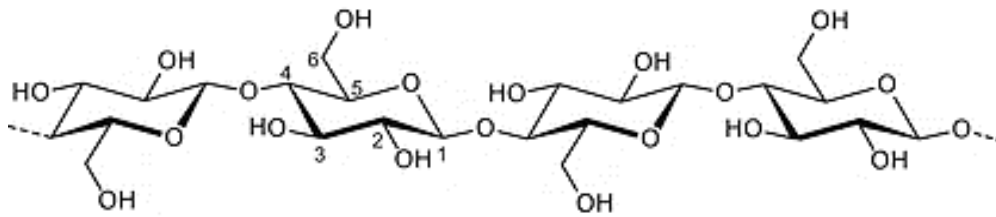
De mest kjente naturlige polymere som er i stand til å lage biologisk nedbrytbar emballasje er stivelse og cellulose (Tajeddin, 2014). Biologisk nedbrytning av emballasje er en kjemisk prosess der mikroorganismer som er tilgjengelig i miljøet rundt omdanner materialet til naturlige stoffer, slik som vann, karbondioksid, mineralsalter og ny biomasse innen en definert tidsperiode. Den biologiske nedbrytningsprosessen avhenger av omgivelsesfaktorene som temperatur, fuktighet og tilstedeværelse av oksygen. Biobaserte emballasjematerialer kan ha egenskapen å være biologisk nedbrytbar, mens biologisk nedbrytbare materialer må ikke nødvendigvis være biobasert (EEA, 2020; European Bioplastics e.V., 2018).

Det finnes ikke et detaljert regelverk for biobaserte emballasje enda, men materialet skal overholde bestemmelsene i matkontaktforskriftens § 2, som gjennomfører forordning nr. 1935/2004 rammeforordningen for materialer og gjenstander i kontakt med næringsmidler (matkontaktmaterialer) (European Commission, 2004).

Biobaserte materialer har vanligvis relativt dårlige vanddampbarriere egenskaper, og mekaniske egenskaper, varmestabilitet og prosesseringsegenskaper sammenlignet med fossilbaserte materialer (Nilsen-Nygaard et al., 2021; Rhim & Ng, 2007). Det er viktig å poengtere at ingen enkelt biobasert materiale vil tilfredsstillе alle de potensielle applikasjoner og markedskrav. Derfor er det en økende interesse for utvikling av emballasjekonsepter laget ved ulike fysiske, kjemiske og biokjemiske modifikasjoner, f.eks. bruk av antibakterielle komponenter og enzymatisk kryssbindinger. I tillegg til utvikling av flerlags biobaserte materialer, og den konvensjonelle tilnærmingen for å produsere flerlags høybarrierer, f.eks. for emballering av mat i beskyttet atmosfære. Men, på en annen side kan for mye modifisering av biobaserte og bionedbrytbare materialer gjøre de mindre bionedbrytbare/komposterbare (Imre & Pukánszky, 2013; Nilsen-Nygaard et al., 2021)

2.1.1 Cellulose

Cellulose med formelen $(C_6H_{10}O_5)_n$ er den mest utbredte og naturlige polymeren i biosfæren. (Rojas, 2016). Cellulose finnes naturlig i naturen i tre, planter, alger, dyr, sopp og mineraler. Det finnes flere ulike metoder for modifisering av cellulose, inkludert fysiske og kjemiske metoder, som gjør at cellulose kan benyttes ved en rekke bruksområder. For eksempel funksjonelle materialer, laminater og papir (Rojas, 2016). Cellulose applikasjoner som benyttes i emballasjeindustrien er blant annet å produsere cellulose plast, f.eks. celluloseacetat som brukes til emballering av bakevarer og grønnsaker (Tajeddin, 2014).



Figur 2. Illustrasjon av et cellulosemolekyl. Illustrasjon: (Rojas, 2016).

Cellulosemolekylet er illustrert i Figur 2. Den krystallinske strukturen til cellulose, dens hydrofile natur og lave løselighet vanskeliggjør det å anvende som emballasjemateriale før den går gjennom forbehandling. Cellulose har mange hydroksyl-sidekjerder langs cellulose-ryggraden, som kan påvirke emballasjen negativt pga. høye fuktighetsgjennomtrengelighet. Men, på en annen side kan cellulose med høy krystallinitetsgrad resultere i et sprøtt materiale med lavere fleksibilitet og redusert strekkstyrke (Ballesteros et al., 2018; Cazón et al., 2017).

2.1.1.1 Mekanisk pulp

Pulp er et lignocellulosisk fibermateriale fremstilt ved å kjemisk eller mekanisk separere cellulosefibre fra tre. Trefibre er bygd opp av polymere substanser, slik som karbohydratene cellulose og hemicellulose, samt lignin som består av aromatiske enheter. Sammensetningen av de ulike kjemiske bestanddelene (f.eks. cellulose og hemicellulose) kan variere fra treslag til treslag. Trefibrene er hovedsakelig holdt sammen av lignin, som er helt amorft, dvs. den absorberer lite vann. Hemicellulosen antas til å bidra til å gi fibrene en viss fleksibilitet, og være bindemiddel mellom cellulose og lignin (Shmulsky & Jones, 2011)

Mekanisk pulp kan produseres ved to forskjellige kommersielle prosesser, der trær blir bearbeidet enten i form av trekubber behandlet i en kverner eller trykksatte slipeapparater, eller i form av treflis som omdannes til pulp ved mekanisk behandling i et raffineri. Trekilden for mekanisk pulp i Europa og Canada, der omtrent 75% av all mekanisk pulp produseres, er hovedsakelig gran (Ek et al., 2009).

Selve prosessen starter ved at avbarkede tømmerstokker presses mot en roterende slipestein, som rengjøres og avkjøles samtidig ved å benytte dusjvann. Fibre og fiberfragmenter blir revet fra treet under intensiv behandling fra steinkornene. Raffinørpulp produserer i forskjellige typer diskraffinerier. I raffinøren blir flis først oppløst til fibre og fiberfragmenter, og disse blir deretter bearbeidet i et smalt gap mellom to parallelle raffineringsskiver som roterer. Det er hovedsakelig temperaturene ved forvarming og bearbeiding av trematerialet som skiller de ulike metodene. Grunnmasse har i lang tid blitt produsert i prosesser uten trykk, men i nyere prosesser benyttes forvarmede trestokker som behandles under damptrykk (Ek et al., 2009).

2.1.1.2. Kjemi-termomekanisk pulp (CTMP)

Pulp kan omdannes til en rekke forskjellige produkter med ulike bruksområder, for eksempel til papir og kartong. Pulp produseres vanligvis etter såkalte termomekaniske pulp-prosesser (TMP). Etter en kort forvarming av treflisene i damp i intervallet 115-155°C, blir treflisene raffinert i et trykksatt system. Raffinering av pulp innebærer separasjon og strukturelle/fysiske endringer av trefibre. Med andre ord gjennom denne prosessen deles fibermassen opp i enkeltfibre (Shmulsky & Jones, 2011). Utrykket «fiber» blir i denne oppgaven referert til alle treceller isolert i pulp- prosesser. Raffinert pulp som produseres uten forvarming er kalt raffinert mekanisk pulp (RMP) (Ek et al., 2009; Shmulsky & Jones, 2011).

Kjemi- termomekanisk pulp (CTMP) er en prosess som ligner på TMP. I CTMP- prosesser impregneres treflisene med mykgjørende kjemikalier, f.eks. alkalisk sulfitt eller natriumsulfitt, for å hjelpe til med å myke og separere trefibre, for deretter å oppvarmes med damp til omtrent samme temperaturintervall som i TMP-prosessen. Den positive effekten av sulfittforbehandling på defibrering antas å være på grunn av sulfonering av ligninet i den midterste lamellen, noe som resulterer i lange fibre med mindre fiberpartikler (Konn et al., 2002).

Oppvarmingstemperaturene før den mekaniske behandlingen, samt impregnering av treet med mykgjørende kjemikalier kan ha en innvirkning på kvalitetsprofilen. Den endelige pulp-kvaliteten kan påvirkes av energitilførselen til den mekaniske behandlingen av fiber materialet. Intensiteten i form av energitilførsel og hastigheten på behandlingen har også stor innflytelse på de endelige egenskapene til fiber materialet (Ek et al., 2009). Mekanisk pulp består av en blanding av fibre, fiberfragmenter og fiberpartikler som dannes under behandlingen vist i Figur 3.



Figur 3. Mekanisk pulp består av en blanding av fibre, fiberfragmenter og fiberpartikler som er blitt opprettet under behandlingen. Illustrasjon: (Ek et al., 2009)

Begrepet «bulk» beskriver materialets opasitet og stivhet, og for å oppnå høy «bulk» er det spesielt viktig med en stor andel lange fibre. Bulk benyttes også om volum i forhold til flatevekt (Eie, 2007). CTMP ved et høyt utbytte (>90%) av lange fibermasse, er spesielt viktig for å oppnå høy kvaliteten. Ved produksjon av kjemi-mekanisk pulp blir tre-ligninet myknet både kjemisk og termisk, noe som gir en pulp som er preget av mer fleksible og lange fiberfraksjoner, samt et betydelig lavere såkalt «shives»-innhold, sammenlignet med pulp fra ren mekanisk pulpbehandling. En «shive» er en liten bunt med ufullstendig kokte trefibre.

De fysiske egenskapene til CTMP kan i stor grad relateres til dens avvanningsegenskaper, og til andelen fibre, fiberfragmenter og fiberpartikler. Pulp styrken kan være relatert til mengden cellulose så vel som forholdet mellom mengden cellulose og hemicellulose (Ek et al., 2009). Gitt økonomiske aspekter som bedre utbytte og klorfribleking, er CTMP et interessant råmateriale for fremstilling av formbar emballasje, selv om renhetsproblemer kan begrense bruken av de i matemballasjeapplikasjoner. Renhetsproblemer er spesielt knyttet til resirkulerbar pulp på grunn av migrasjonsproblemer (Laukala et al., 2019).

2.1.1.3 Form-pressing metode

Pulp skåler ofte laget av jomfruelig cellulosefibre kan bli produsert ved en form-pressing metode. Pulp skåler kan bli produsert ved å benytte en enkel maskin til alle prosesstrinnene. Metoden innebærer formingstrinn, pressing og tørking, tilsetning av eventuelle barrierer i form av belegg/coating, laminering og eventuelt tilsetningsstoffer. Når pulpmaterialet tørker kan overflaten bli ujevn, og for å glatte overflaten presses hvert produkt mot faste metall verktøy. I tillegg til at pulp skålen ser bedre ut, forbedrer pressingen også stabling for mer effektiv frakt og lagring. Kantene blir deretter skåret vekk, og til slutt kvalitetssjekket. Formpresset pulp skåler krever at kantene må være utformet nøyaktig for å sikre et sluttprodukt av høy kvalitet. Til støpning av pulp skålene benyttes høy kvalitet pulp med et utbytte på 90-95%, som er kjemi-termomekanisk (CTMP) behandlet på forhånd (Didone et al., 2017; Rottneros, 2020, u.å.).

2.2 Plastmaterialer

Fossilbaserte plastmaterialer er en integrert del av det moderne liv. Plast defineres som prosessbare materialer som er basert på polymerer. Begrepet «polymerer» kommer fra *poly-* (mange) og *-mer* (del). En polymer kan være et naturlig eller syntetisk makromolekyl, som kan bestå av repeterende enheter av et mindre molekyl (monomerer). Framstillingen av plastmaterialer fra monomere byggesteiner kalles polymerisasjon. I denne prosessen blir lavmolekylære byggesteinene (monomerer) satt sammen til lange kjeder som kan bestå av 1000-10.000 monomerledd (Geyer et al., 2017; Manas, 2018).

Egenskapene til polymerer bestemmes av deres molekylære struktur, molekylvekt, grad av krystallinitet og kjemisk sammensetning. Disse faktorene påvirker tettheten til polymere, og temperaturene der de gjennomgår en fysisk overgang (Robertson, 2013). Mesteparten av plasten utvinnes av petroleum, som er en fellesbetegnelse på naturgass og råolje. Plastemballasje som benyttes mye til næringsmidler er laget av petrokjemiske materialer som polypropylen (PP), polyetylen (PE), lavdensitetspolyetylen (LDPE) og polyetylentereftalat (PET) (PlasticsEurope, 2020).

2.3 Emballasjens funksjonalitet

Emballasje, spesielt plastemballasje er en essensiell del av det moderne samfunn, og spiller en avgjørende rolle i matforsyningskjeden. Emballasjen hjelper med å opprettholde matkvalitet og sikkerhet fra produksjon frem til sluttforbruker, ved å forhindre uønskede biologiske og kjemiske endringer. Med andre ord fungerer emballasje som en barriere for å beskytte maten mot påvirkninger som oksygen, lys, fuktighet, støv, lukt, og både kjemisk og mikrobiologisk forurensning (Yildirim et al., 2018).

Et av de mest allsidige emballasjemateriale er plast, som er ideell for et bredt spekter av forbruker- og industrielle applikasjoner. Dette er på bakgrunn av plastens egenskaper i form av høy styrke, lett vekt, gjennomsiktighet og at det er mulig å skreddersy egenskapene for ulike formål. Det er noen av hovedårsakene til at den benyttes mye til næringsmidler (Robertson, 2013; Tajeddin, 2014).

Funksjonen skilles ofte på primær, - sekundær, - og tertiær emballasje. Primær emballasje er den som kommer i direkte kontakt med maten, og er derfor en viktig komponent i emballeringsprosessen, hvorav emballasjens funksjon skal være å beskytte innholdet mot det som befinner seg på utsiden. Et eksempel på primær emballasje er plastbegre som inneholder mat. Primær emballasje kan ofte kalles for F-pakk (forbrukeremballasje).

Til primæremballasjen er det ofte inkludert sekundær- og tertiær- emballasje. Eksempel på sekundær emballasje, som ofte kalles for D-pakk (distribusjonsemballasje) kan være kartong eller plast-kasse bestående av femten plastbegre med mat, hvor kartongens/plast-kassens funksjon er å beskytte plastbegrene. Tertiær-emballasje, ofte kalt for T-pakk (transportemballasje) inkluderer flere D-pakk, og kan for eksempel være pakket med en strekkbar plastfilm rundt seg, på grunn av mer beskyttelse under distribusjon (Emblem & Emblem, 2012; Robertson, 2013).

2.4 Oksyngjennomgang (OTR)

Mange matvarer er følsom for oksygen og fuktighet, og emballasjens tetthet overfor oksygen og vanndamp, kan ha en påvirkende effekt på holdbarhetstiden til disse matvarene (Larsen & Grøvlen, 2021). Til å kunne vurdere om en emballasje egner seg til ulike næringsmidler, behøves det pålitelige metoder for å måle oksygen- og vanndampsgjennomgangen. «Oxygen transmission rate» (OTR) omtales på norsk som oksyngjennomgangen, sier noe om hvor mye oksygen (O_2) som penetrerer materialet i løpet av ett døgn, og benevnes som ml $O_2/m^2/døgn$. Relativ luftfuktighet (%RF) og temperatur ($^{\circ}C$) må oppgis siden oksyngjennomgangen varierer med temperaturen og luftfuktigheten.

Det er tre ulike måter oksygen og vanndamp kan trenge inn i emballasjematerialer, f.eks. for plastemballasje. Den første måten er gjennom selve emballasjematerialet, hvor plastmaterialer har ulike barriereegenskaper overfor vanndamp og gasser. Den andre måten er via mikroskopiske porer i forseglingen etter at emballasjen er lukket. Den tredje måten er gjennom påførte skader(ofte mikroskopiske hull) i emballasjematerialet (Larsen & Grøvlen, 2021).

Oksyngjennomgang kan bli påvirket av ulike faktorer, som pakke-tekniske forhold f.eks. sveisekvalitet, pakkemetode og materialtykkelse. Andre faktorer som materialtekniske forhold, for eksempel polymertype og laminat kan ha en innvirkning, samt målebetingelsene, som innebærer temperatur og luftfuktighet. I henhold til en studie av Pettersen et al., (2004) så var OTR for pakningene oppbevart ved tre ulike forhold ($23^{\circ}C/50\%$ RF med 0% RF på innsiden, $6^{\circ}C/80\%$ RF med 0% RF på innsiden, og $6^{\circ}C/80\%$ RF med 100% RF på innsiden) generelt mer følsom for temperaturen enn for fuktigheten (Pettersen et al., 2004).

En metode for måling av oksyngjennomgang i pakninger kalles for AOIR-metoden, som står for «Ambient Oxygen Ingress Rate», beskrevet av Larsen; et al. (2000). Sammenlignet med «Ox-Tran» metoden skal AOIR-metoden ha flere fordeler som billigere utstyr, høyere kapasitet, og testingen gjøres ved mer realistiske testforhold, for både relativ luftfuktighet (RF) og

temperaturer. Denne metoden er statisk, og kan brukes for hele pakninger, flate materialer og materialer med mikroperforering. Prinsippet for AOIR-metoden er at testgass blir fylt i emballasjen før den legges ved ønskede temperatur- og fuktighetsbetingelser. I testperioden blir to til tre gassmålinger utført, dermed kan gjennomgang av oksygen bregnes (Larsen & Grøvlen, 2021). Dersom det er en stor andel O₂ i næringsmidlers headspace vil dette ha en innvirkning på holdbarheten, ettersom det kan føre til økt vekst av aerobe mikroorganismer (Emblem & Emblem, 2012). For eksempel til emballerte kjøttprodukter er det ønskelig å hindre tilgang til O₂ for å begrense bakterievekst (Adams et al., 2015), dermed ønskes det en så lav OTR for emballasjematerialer til disse produktene.

2.5 Vannabsorpsjon

Fibermaterialer og papir er kjent for å ha tendens til å tiltrekke og absorbere vannmolekyler fra det omkringliggende miljøet (Zendano, 2017). Vannabsorpsjonsevnen er en funksjon av de ulike materialers karakteristikk, f.eks. porøsitet, størrelse, tykkelse, osv. For eksempel vil bølgepapp miste sin styrke, form og funksjon når det har blitt absorbert for mye væske (Frank, 2020). Vannabsorpsjonsevnen er angitt i g/m² (Zendano, 2017).

Cobb test er en metode for å måle vannabsorpsjon i pulp og fibermaterialer, og en slik test kan utføres i henhold til ISO (535:2014) -standard eller TAPPI (T441) -standard (Pulp and Paper Services, u.å.). Cobb-verdien definerer mengden vann som kan absorberes av overflaten av pulp, - papir, - eller pappmaterialer over en gitt tid. Denne metoden gjør det mulig å bestemme hvilket nivå fuktigheten behøver å ligge under, for at pulp og andre fibermaterialer kan opprettholde styrke og evne til å beskytte produktet (Frank, 2020). Høy Cobb-verdi tilsier at prøvematerialet har en tendens til å absorbere og holde på fuktigheten, mens lav Cobb-verdi tilsier at prøvematerialet har motstand mot absorpsjon av vann (Butkinaree et al., 2008; Zendano, 2017).

2.6 Emballeringsmetode: Modifisert atmosfære pakking (MAP)

Modifisert atmosfære pakking (MAP) benyttes i stor grad i næringsmiddelindustrien, og har en hensikt ved å forsinke forringelse av produktet. På den måten kan det gi lengre holdbarhet til det pakkede produktet, siden det begrenser tilgang på mikrobiologisk aktivitet, samt de kjemiske prosessene, som kan være noen av årsakene til bederelse av matproduktet (Adams et al., 2015; Robertson, 2013).

Modifisert atmosfære kan deles inn i tre grupper: Vakuumpakking (VP), kontrollert atmosfære pakking (CAP) og modifisert atmosfære pakking (MAP). Vakuumpakking innebærer at all luft suges ut av pakningen, etterfulgt av forsegling. CAP skiller seg fra MAP ved at forholdene rundt produktet holder seg konstant gjennom hele lagringstiden (Adams et al., 2015).

Modifisering av atmosfæren i emballasje innebærer bruk av atmosfærer som er ulik fra sammensetningen av luft ved havnivå. Gassene som oftest blir brukt til MAP er: nitrogen (N_2) karbondioksid (CO_2), og av og til oksygen (O_2) (Robertson, 2013). Gassblandingen bør vurderes på bakgrunn av hvilken matvare som skal pakkes, og krav til holdbarhetstid. I den sammenheng må det tas hensyn til hvilke forandringer som kan oppstå under lagringstiden, nemlig for å bevare produktets kvalitet så lenge som mulig (Robertson, 2011).

Karbondioksid (CO_2) er definert som den viktigste gassen i MAP for matvarer, pga. dens bakteriehemmende egenskaper (Robertson, 2013). CO_2 har en inhiberende effekt på flere mikroorganismer, slik som Gram- negative bakterier, aerobe bakterier, mugg og noen gjærarter (Robertson, 2011). Denne funksjonen har best effekt dersom konsentrasjonen av CO_2 er høy, og temperaturen er lav. Ifølge en studie av Holck et al. (2014) viste det at å pakke med 100% CO_2 har størst bakteriehemmende effekt, sammenlignet med å pakke med lavere andel CO_2 . CO_2 har evnen til å trenge inn i bakterieceller, som vil forbedre evnen til å hemme cellemetabolismen. CO_2 virker også til å surgjøre cellens pH, og kan derfor redusere metabolske aktiviteter. Derimot kan høye konsentrasjoner av CO_2 føre til økt væsketap i pakningen, og ha en negativ effekt på fargen på matproduktet (Eie, 2007; Robertson, 2013).

Emballasje til kjøttprodukter er det vanlig i Norge å benytte en gassblanding bestående av 60% CO_2 og 40% N_2 . Denne gassblandingen gir kjøttet en brunaktig farge, og avhenger også at O_2 reduseres til et lavt nivå (<0,2%) for å unngå at fargen på kjøttet blir grått.

I henhold til en reviewartikkel av Jacobsen & Bertelsen (2002) viste det at å pakke i 100% CO_2 , ikke ga noen negativ påvirkning på kjøttfargen, hvis den totale mengden rest O_2 i pakningens headspace var redusert til et minimum, samt at emballasjematerialer med lav gasspermeabilitet ble brukt, som hindrer O_2 å penetrere pakningen. I reviewartikkelen blir det i tillegg skrevet om funn i tidligere studier som har gitt indikasjoner om at økt væsketap hadde en sammenheng med at store mengder CO_2 i headspace løste seg i kjøttet, som resulterte i at deres evne til å holde på væsken ble redusert (Jakobsen & Bertelsen, 2002).

Helt frem til nådd likevekt blir CO₂ absorbert inn i kjøttet, som vil si at konsentrasjonen av CO₂ i pakningens headspace synker helt frem til likevekt. Absorpsjonen har en påvirkning på partialtrykket til CO₂ i pakningen, som avhenger av forholdet mellom gass og produkt. Dette forholdet blir kalt «g/p forhold» (Yildirim et al., 2018).

Nitrogen (N₂) er en inert gass uten lukt eller smak. Den har lavere tetthet enn luft og lav løselighet i vann og andre næringsmidler, noe som gjør den til en nyttig fyllgass i MAP, for å hindre kollaps av pakningen forårsaket av CO₂- oppløsning i matvaren (Robertson, 2013). Oksygen (O₂) er en reaktiv, luktløs og fargeløs gass. Oksygen i MAP kan påvirke kvaliteten og holdbarheten til matvaren negativt, da det kan føre til oksidasjon av produktet, og fremme vekst av aerobe mikroorganismer. I tillegg resultere i fargemodifikasjoner, sensoriske endringer, eller ernæringsmessige tap (Eie, 2007; Yildirim et al., 2018). Ifølge Kim et al. (2010) kan anvendelse av høy oksygen i MAP- pakkesystemer av storfekjøtt forårsake en drastisk økning i lipidoksidasjon under lagring, samt påvirke myoglobinstabiliteten, mørheten og saftigheten til kjøttet (Kim et al., 2010).

I en studie av Leminen et al. (2015) ble det vist at bruken av MAP i polymerbelagte kartongskåler forseglet med flerlags polymerfilm var ansett for å være tilfredsstillende for bruk av emballasje til næringsmidler. Oksygeninnholdet i begge analyserte kartongskålene med ulike geometrier (rektangulær og oval) ble funnet til å være mindre enn 1%, 14 dager etter forsegling. I tillegg viste denne studien at endringer i overflatekvaliteten var tydeligere for skåler med rektangulær geometri enn de med oval geometri (Leminen et al., 2015).

2.6.1 Aktiv emballering

Ved tilføring av absorberende pads eller emitter til MAP, som aktivt påvirker den indre gassatmosfæren kan dette klassifiseres som aktiv emballering. Aktiv emballering er definert som emballasje hvor det bevisst er inkludert substituerte bestanddeler i emballasjematerialet (Robertson, 2013). I henhold til den europeiske forskriften nr. 450/2009, er aktiv emballering designet for å bevisst innlemme komponenter som vil frigjøre eller absorbere stoffer i eller fra den matvaren som er pakket eller miljøet rundt maten (European Commission, 2009).

Aktiv emballering innehar flere funksjoner, og er blant annet ment for å forlenge holdbarheten eller opprettholde, eller forbedre kvaliteten til emballerte matvarer. I tillegg brukt til å fjerne uønskede komponenter, inhibere mikrobiologisk vekst, tilføre ønskede komponenter, og gass permeabiliteten til filmen, som kan i tillegg endres ved temperaturendringer (Robertson, 2013). En væskeabsorbent benyttes ofte i pakker med ferskt kjøtt og fisk, frukt og grønnsaker med høy

vannaktivitet. Absorberende pads kan i tillegg brukes i kombinasjon med antimikrobielle midler, pH-kontrollmidler og/eller karbondioksidgeneratorer, for å hindre f.eks. lekkasje (Yildirim et al., 2018). Væskeabsorberens kapasitet er ofte designet for å sikre adsorpsjon av alt væsketap, og kanskje ikke designet for spesifikke matprodukter (Pettersen et al., 2017).

2.7 Holdbarhetstid og produktkvalitet

Det er kjent at kvaliteten til de fleste næringsmidler blir redusert ved økt lagringstid. I henhold til EUs lovgivning (EF-forskrift nr. 1169 / 2011) kreves det at holdbarheten til matvarer er angitt med enten en "best før"-dato eller «siste forbruksdag» (Galanakis, 2019). Faktorer som kan påvirke endringer av matkvaliteten er fysisk-kjemiske, som pH og vannaktivitet (a_w), mikrobiologiske, som spordannende bakterier, eller organoleptiske, referert til som iboende faktorer; eller det kan være lagringstilstanden, f.eks. emballasjen osv. referert til som ytre faktorer (Galanakis, 2019; Robertson, 2011).

Konsum av kyllingfilet har økt de siste årene i flere land. Holdbarheten til kyllingfilet blir påvirket av flere faktorer slik som pH, lagringstemperatur og andel psykrotrofe iboende bedervelsesorganismer. Rå kyllingfilet er lett bederelig pga. deres komplekse biologiske sammensetning med høy vannaktivitet og næringsinnhold, og derfor utsatt for vekst av mikroorganismer under lagring. (Robertson, 2011). For den mikrobiologiske holdbarheten på fersk kyllingfilet viser studier at er den øvre grensen bør helst ligge på log 7 kolonidannende enheter per gram (kde/g) (Balamatsia et al., 2007). I dag pakkes kommersiell kyllingfilet i Norge med 50-70% CO₂ og 50-30% N₂, og kan ha en holdbarhet på opptil 19 dager ved 4°C Den mest brukte gassammensetningen for kjøtt i Norge er 60% CO₂/ 40% N₂ (Holck et al., 2014; Pettersen et al., 2020).

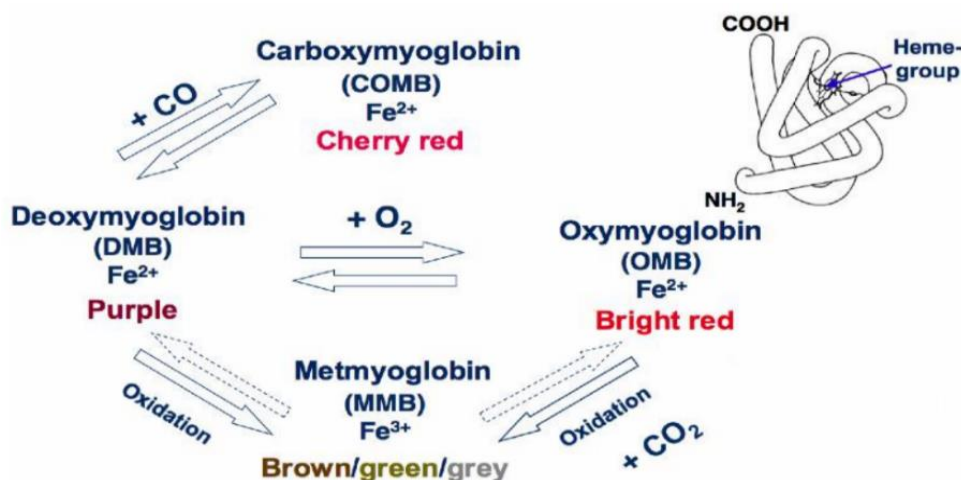
Lagringstemperaturen, gassammensetning, lysintensitet og emballasjeegenskapene har en stor påvirkning på holdbarhet og kvalitet til kjøttprodukter (Nollet, 2012; Robertson, 2011). Visuelle egenskaper, som farge, utseende, mengde fett og synlig væske, mørhet og smak, har en betydelig påvirkning på forbrukernes forventninger og tilfredshet med produktet.

Gassene som blir brukt til MAP for fersk kjøtt er CO₂, O₂ og N₂. I Europa blir MAP med høye verdier av O₂ (70-80%) og CO₂ (20-30%) mye brukt, pga. deres evne i å redusere mikrobiell vekst og opprettholde den røde kjøttfargen, som ønskes av forbrukere. Imidlertid kan MAP med høye nivåer av O₂ akselerere lipidoksidasjon, som medfører til dannelse av uønskede smaksforbindelser, samt proteinoksidasjon, som forårsaker ugunstige effekter på mørheten og saftigheten til kjøttet (Conte et al., 2020).

Holdbarheten på fersk kjøtt, slik som storfe kjøtt avhenger bl.a. antall og typer av mikroorganismer som er til stede, samt deres vekst. Mikroorganismer er ansvarlige for størstedelen av tap av kvalitet ved lagring. Mikrobiologisk kvalitet av kjøtt har retningslinjer som fastsetter akseptabelt og tilfredsstillende antall psykrotrofe, mesofile og koliforme mikroorganismer. Dersom antallet overstrider akseptabelt antall mikroorganismer kan det utgjøre en fare for folkehelsen (Galanakis, 2019; Warriss, 2010). Den mikrobiologiske analysen totaltall, på engelsk kalt «total viable count» (TVC), kan bestemme antall levende aerobe mikroorganismer i næringsmidler. Kimtall (aerobt) benyttes ofte som indikator på fordervelsesgraden og kvaliteten til et produkt under en lagringsperiode (NMKL, 2013).

Myoglobin- fargen på kjøttet

Fersk kjøtt er lett bederelig og utsettes lett for fargeforandringer, og mikrobiell nedbrytning. Det er proteinet myoglobin som er fargebærer i kjøttet (Jakobsen & Bertelsen, 2000). Emballasjemetoder og lagringstilstanden kan påvirke fargestabiliteten til kjøttprodukter, f.eks. ytrefilet av storfe, og farge forandringen skyldes i stor grad myoglobinoksidasjon (Pettersen et al., 2014). Hemgruppen kan bare binde små molekyler, slik som O_2 , NO_2 og CO , som alle gir forskjellige røde farger på kjøttet. Illustrert i Figur 4 kan myoglobin, som har en lilla farge, binde oksygen og danne en lyserød oksymyoglobin. Det kan oksidere til brunt metmyoglobin, dersom det er rikelig med oksygen. I modifisert atmosfære pakking av CO_2 eller CO_2/N_2 kan lave konsentrasjoner av rest O_2 danne metmyoglobin på kort tid (Abdalhai et al., 2014).



Figur 4. Former av myoglobin og farger av kjøtt. Illustrasjon: (Pettersen, 2018)

3. Materialer og metoder

Første del av det eksperimentelle arbeidet fokuserte på å undersøke materialegenskaper og egnetheten til to ulike cellulosebaserte pulpmaterialer ved å teste med simulanter (vann, olivenolje og u/simulant) over en lagringsperiode opptil 21 dager, oppbevart ved tre ulike lagringsbetingelser. For å undersøke egnetheten og materialegenskapene til de cellulosebaserte materialene ble det målt materialtykkelse, punkturstyrke og absorpsjonsevnen.

Andre del av det eksperimentelle arbeidet fokuserte på å evaluere hvordan emballasjemateriale av cellulosebasert pulp, sammenlignet med dagens plastmateriale av APET, ble påvirket i direkte kontakt med ferske kjøttprodukter. I dette tilfellet modifisert atmosfære pakket kyllingfilet og ytrefilet av storfe med gassammensetningen er 60% CO₂/ 40% N₂, ved en lagringstid på opptil 12 dager, for å undersøke effekten på matkvaliteten.

Det vil først bli presentert målinger av materialegenskaper, med blant annet beskrivelse av metodeutvikling for å måle oksyngjennomgang. Deretter en beskrivelse av material-tester med simulanter, og tilslutt blir lagringsforsøket med næringsmidler presentert.

3.1 Emballasjematerialer

Det ble benyttet tre ulike emballasjematerialer i denne oppgaven, som er presentert i Tabell 1.

1. Pulp (LB 227x178x45 1200N) er laget av 100% jomfruelig cellulosebasert pulp. Emballasjematerialet ble levert av leverandøren Døvigen AS, og produsert av Rottneros AB i Sverige.
2. Pulp med APET (MB 187x137x45 720T) er laget av $\geq 90\%$ jomfruelig cellulosebasert pulp med et mono-amorf polyetylentereftalat film ($\leq 10\%$). Emballasjematerialet ble levert av leverandøren Døvigen AS, og produsert av Rottneros AB i Sverige.
3. APET (2187-1F) er et plastmateriale som benyttes mye i matindustrien i dag. Emballasjematerialet ble levert fra leverandøren Færch AS i Danmark, og brukt som referanse i lagringsforsøkene med næringsmidler.

Overbanen «Burst Peel * MonoPET» ble benyttet i lagringsforsøkene med næringsmidler.

Overbanen ble levert av Døvigen AS, og var satt sammen av PET/PE/EVOH.

Tabell 1. Oversikt over skålmaterialet og overbane, produktnavn/struktur og leverandør.

Materiale/struktur	Produktnavn/(Art.nr)	Leverandør
Pulp skål	LB 227x178x45 1200N (3100) ¹⁾	Døvigen AS ⁴⁾
Pulp med APET skål (3024) ²⁾	MB 187x137x45 720T (3024) ²⁾	Døvigen AS ⁴⁾
APET skål ³⁾	2187-1F ³⁾	Færch AS
MonoPET overbane PET/PE/EVOH (53 mm)	Burst Peel	Døvigen AS

¹⁾Pulp (3100, LB 227x178x45 1200N) blir heretter referert i teksten som pulp.

²⁾Pulp med APET (3024, 187x137x45 720T) blir heretter referert i teksten som pulp m/APET.

³⁾ APET (2187-1F) blir heretter referert i teksten som APET.

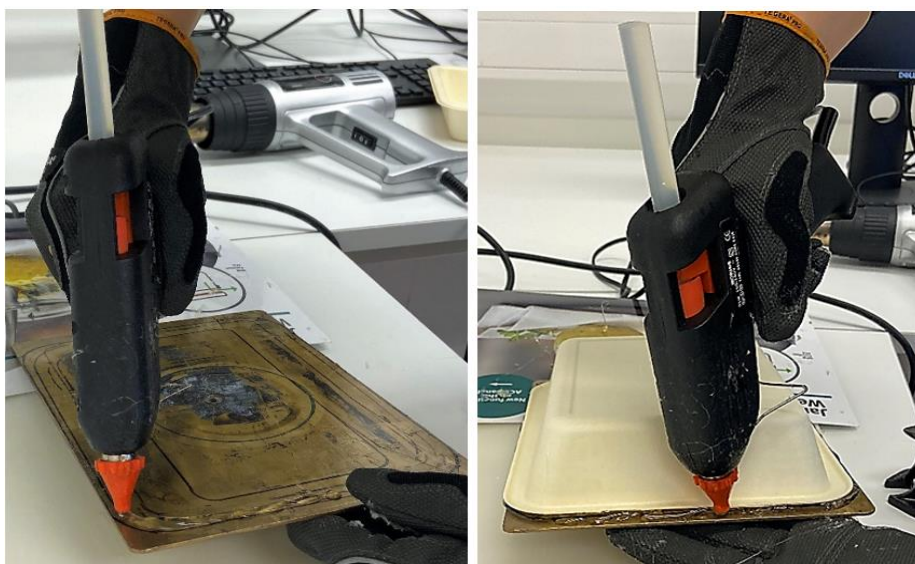
⁴⁾ Produsert av Rottneros AB (Söderhamn, Sverige).

3.2. Målinger av materialelegenskaper

Emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET (presentert i Tabell 1) ble benyttet til å målinger av materialelegenskaper, bl.a. for å måle oksyngjennomgang (OTR). Pulp-skålene passet ikke i tilgjengelige formsett til skålpakkemaskinen Multivac T200 (Multivac, Wolfertschwenden, Germany), som er en maskin som både fyller gass og sveiser overbane. Dermed ble det forsøkt å måle oksyngjennomgang ved å lime fast metallplater til Pulp og Pulp m/APET. En metodeutvikling ble utført underveis i forsøket for å måle oksyngjennomgang (OTR) av emballasjematerialene, siden de planlagte metodene ikke fungerte optimalt, og måtte utelukkes. Andre metoder som ble testet underveis var blant annet forskjellige sveisebehandlinger med flushing av gass, samt bruke celler til tidsintervall-målinger. De forskjellige metodene som ble testet vil bli beskrevet nærmere.

3.2.1 Metallplater

For å måle oksyngjennomgang av emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET ble det forsøkt å lime fast metallplater. Forsøket ble utført ved å først varme opp metallplaten med en varmluftpistol (2000W, Kina). Med hjelp av en limpistol (Ironside Standard) ble det limt direkte på den oppvarmede metallplaten, for deretter å raskt feste på plass pulpskålen, som er illustrert i Figur 5. Det ble limt spesielt mye rundt hjørnene, for å sikre at skålen ble tett. Etter at limet hadde størknet, ble pulpskålen med metallplaten flushet i 3 minutter med en gassblanding bestående av 20% CO₂/ 0,3% O₂ i N₂. Flushingen ble gjennomført på 5 av hver variant av Pulp og Pulp m/APET. Alle skålene ble deretter lagret på kjølerom innstilt på 4°C.



Figur 5. Illustrasjon av metallplate limt på Pulp skål ved hjelp av limpistol. Foto: privat

Første gassmåling ble utført 24 timer etter flushing, slik at temperaturen fikk stabilisert seg. Deretter ble OTR målt, som blir nærmere beskrevet i avsnitt [3.2.4 \(OTR med celler\)](#). Det ble forsøkt en annen metode for å måle oksyngjennomgang (OTR) for Pulp og Pulp m/APET, ettersom denne metoden med metallplater ikke fungerte som planlagt, og måtte utelukkes. Den nye metoden innebar testing med ulike sveisebehandlinger.

3.2.2 Sveisebehandlinger

Til Pulp-skålene ble det benyttet egen manuell forseglingsmaskin Duniform[®] (DF10, Duni AB, Sverige) levert fra leverandøren Døvigen. De forskjellige overbanene som ble testet var «Burst Peel*MonoPET» (Døvigen, Norge), «Mylar OL» (Petroplast GMBH, Tyskland), og «Biaxer 65» (Wipak, Nastola, Finland). Duniform[®] var kun en sveisemaskin uten mulighet til gass-pakking, derfor ble det forsøkt en alternativ metode for å få flushet Pulp-skålene med gass. Dette ble gjort ved å stikke to små hull med nål i overbanen, og deretter flushe via et av hullene med gassblandingen 20% CO₂ / 0,3% O₂ i N₂. Etter 4 minutter flushing ble det raskt satt på to septa på hullene, for å tette for lekkasje. Det ble raskt målt for oksyngjennomgang etter flushing, for å sjekke om det var lekkasje i pakningene.

Pulp m/APET passet i skålpakkemaskinen Multivac T200 (Multivac, Wolfertschwenden, Germany). Skålene ble plassert i skålpakkemaskinen, og tilsatt gassblandingen 20% CO₂ / 0,3% O₂ i N₂, og forseglet med overbane. Flere forskjellige overbaner og sveisebehandlinger ble testet underveis, og formålet var å teste og finne kombinasjonen som var egnet til emballasjematerialene, i forhold til at de hadde god gassbarriere mot luft.

De forskjellige overbanene som ble testet var «Burst Peel*MonoPET» (Døvigen, Norge), «Mylar OL» (Petroplast GMBH, Tyskland), «Crystal-Lid» (Eurocast, Polen) og «Biaxer 65» (Wipak, Nastola, Finland). Tykkelsene på overbanene var hhv. 53 µm, 38 µm, 53 µm, 63 µm. Overbanen Biaxer 65 var satt sammen av PET/EVOH/PE (fra utside til sveisesjiktet), Mylar OL var satt sammen av en biaksialt orientert polyester, og en coating av amorf polyester. Crysta-Lid var satt sammen av PET. En oversikt over alle de forskjellige sveisebehandlingskombinasjonene er presentert i Tabell 3, med produktnavn for overbaner, temperatur (°C), tid (sek) og trykk (bar).

Tabell 2. Pulp med APET forseglet med forskjellige overbaner, temperaturer (oC), tid (sek) og trykk (bar).

Pulp med APET - Sveisebehandlinger			
Produktnavn overbane	Temperatur (°C)	Tid (sek)	Trykk (bar)
Burst peel*MonoPET	165	2,0	2,0
	175	1,7	2,0
	175	2,0	2,5
	180	2,0	2,5
	180	1,5	3,0
	180	1,5	4,0
	180	2,5	2,5
Crysta-Lid	165	1,5	2,0
Biaxer 65 XX FP AFM	186	2,0	2,0
Mylar OL	190	2,0	2,0

Det ble laget 2 paralleller av Pulp m/APET for alle sveisebehandlingskombinasjonene presentert i Tabell 2. Det ble satt på et septa, og flere pakninger ble målt for oksyngjennomgang en time etter forsegling, for å sjekke O₂- og CO₂-konsentrasjonene. Deretter ble pakningene lagret på kjølerom innstilt på 4°C. Det ble igjen målt 18-24 timer etter forsegling for flere av pakningene. Etter målingene ble utvalgte Pulp m/APET skåler benyttet til lekkasjetesting. For først og fremst å undersøke om det var lekkasje. Deretter ble det undersøkt om sveisebehandlingen hadde en påvirkning til en eventuell lekkasje, eller om det kunne være selve emballasjemateriale.

3.2.3 Lekkasjetest

For å undersøke om det var lekkasje i pakningene, ble det testet tilfeldige utvalgte Pulp m/APET skåler, med ulike overbaner som ble forseglet med ulike overbaner ved bruk av forskjellige sveisetemperaturer og trykk. Via en nål gjennom septa festet på overbanene ble det tilsatt 5 ml blåfarget utstyrs desinfeksjon (95% etanolbasert, Arcus Kjemi), som ble fordelt i pakningene for å detektere områder for lekkasje. For å teste om sveisebehandlingen hadde en påvirkende effekt på lekkasje, ble også Pulp m/APET uten forseglet overbane testet med blåfarget utstyrs desinfeksjon.

3.2.4 OTR med celler

En annen metode for å måle oksyngjennomgang (OTR) for Pulp og Pulp m/APET, ble testet ved å bruke celler i henhold til «Ambient oxygen Ingress Rate Method» (AOIR) (Larsen; et al., 2000). En illustrasjon av en celle er presentert i Figur 6. Det ble laget 5 paralleller av hver variant, som ble flushet med en gassblanding bestående av 20% CO₂/ 0,3 O₂ i N₂ i 2 minutter. Etter flushing ble alle cellene plassert på kjølerom ved 4°C. Første gassmålinger ble utført 24 timer etter flushing, slik at temperaturen fikk stabilisert seg. Siden denne metoden ikke fungerte optimalt for Pulp skålene, ble denne metoden kun brukt til Pulp m/APET.



Figur 6. Illustrasjon av celle festet med pulp med APET. Foto: privat

Til gassmålingene ble det benyttet instrumentet CheckMate II O₂/CO₂ analysator (PBI Dansensor, Danmark) vist i Tabell 6. Dette instrumentet fungerte slik at den sugde til seg 3 ml gass fra pakningenes headspace gjennom en nål, som hadde blitt stukket gjennom en septa (utskåret sirkel av gummi) og gass -resultatene ble målt i prosent. Gasskonsentrasjonene ble benyttet til å regne ut oksyngjennomgangen (Larsen; et al., 2000). OTR og CO₂TR beregninger ved AOIR-metoden ble gjort i Excel med et eget beregningsark, og resultatet ble oppgitt som «ml O₂ / (pkn x døgn)» og «ml CO₂ / (pkn x døgn)».



Figur 7. Illustrasjon av O₂-og CO₂-måleren CheckMate II (PBI Dansensor, Danmark). Foto: Privat

Det ble i tillegg laget 4 paralleller med celler av Pulp m/APET (totalt 12 celler), som ble flushet med testgass og plassert på tre ulike lagringsrom innstilt på 4°C, 23 °C/ 50% RF og 22 °C. Det ble gjort 2 målinger med 5 dagers mellomrom imens cellene ble lagret ved de ulike lagringsrommene. OTR for Pulp m/APET lagret ved de ulike betingelsene er vist i Tabell 3.

Tabell 3. OTR (ml O₂/(pkn x døgn)) målt for Pulp m/APET ved fuktighetsbetingelser (relativ fuktighet) og ulike temperaturer (°C).

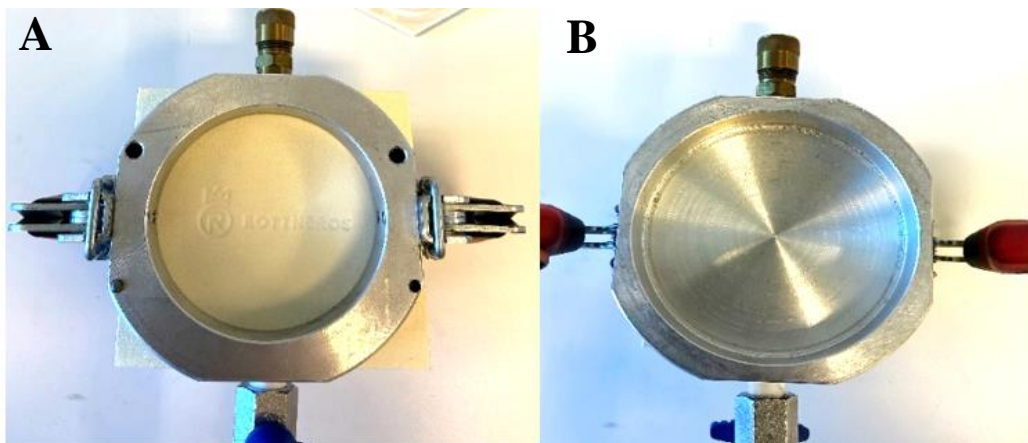
Emballasjemateriale			
Temperatur (°C)	Relativ fuktighet i rommet (%)	Relativ fuktighet i pakningen (%)	Pulp m/APET
4	70	0	0,39 ± 0,05
23	50	0	0,46 ± 0,11
22	27	0	0,33 ± 0,03

En justering av metoden ble utført for Pulp-skålene for å få gjennomført målinger av O₂- og CO₂-konsentrasjoner. Justeringen bestod av tidsintervall-målinger med celler, som gikk ut på å ha tre målinger med 3 minutters mellomrom rett etter flushing med gassblandingen bestående av 20% CO₂/ 0,3 O₂ i N₂. Denne metoden testet i stedet hvor lang tid (min) gassblandingen ble byttet ut med luft i testrommet. Denne metoden ble i tillegg utført på celler med Pulp m/APET, nemlig for å kunne sammenligne resultatene opp imot hverandre.

3.2.5 Cobb test

Prosedyren for Cobb test ble gjennomført i henhold til TAPPI T441- standard (Frank, 2020). Med følgende modifisering: Det ble benyttet en tett celle, som ble fylt med 100 ml vann. Arealet 10 x 10 cm² ble klippet ut av Pulp-skålene, med 5 paralleller for hver variant. Etersom Pulp m/APET ikke hadde stort nok areal til å dekke 10 x 10 cm², ble det i stedet brukt 9 x 9 cm², med 5 paralleller. På den måten dekket arealet cellen, slik testen krevde. Når arealet som ble brukt var mindre (81cm²), ble det brukt mindre vann, ca. 81 ml for å opprettholde en dybde på 1,0 cm ± 0,1 cm.

Når alle prøvene var klippet til riktig areal så ble de veid på en vekt. Pulpmaterialet ble festet til cellen med 100 ml vann, og deretter snudd opp ned. Når cellen ble snudd opp ned kom vannet i kontakt med overflaten til pulpmaterialet, og tiden 120 sekunder ble tatt. En illustrasjon av cellen med emballasjematerialet er presentert i Figur 8. Etter 120 sekunder ble cellen snudd tilbake på plass, og materiale ble løsnet i fra cellen raskt. Absorberende papir ble brukt for å tørke vekk overflødig vann på overflaten, deretter ble pulpmateriale veid på vekten Mettler Toledo» (New Classic MF, Sveits). Den samme prosedyren ble gjort for Pulp m/APET materialprøvene, bare med forskjellig mengde tilsatt vann til cellen.



Figur 8. Illustrasjon av celle brukt til Cobb test. **A:** Celle med tilfestet emballasjematerialet, tilsatt 81/100 ml vann i bunnen. **B:** Samme celle snudd opp ned, slik at vannet kom i kontakt med pulp-materialet.

Utregning av Cobb- verdier ble gjort på følgende måte:

$$\text{Vekt av vann } g/m^2 = [\text{Sluttvekt, g} - \text{betinget vekt, g}] \times 10\,000$$

For et mindre testområde på 81 cm², er multiplikatoren i stedet 12 345.

3.3 Material-tester med simulat

Emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET (vist i Tabell 1) ble brukt til material-tester med simulat. **Feil! Fant ikke referanseilden.** viser detaljer om emballasjematerialenes skålvekt (g) og skålvolum(ml).

Feil! Fant ikke referanseilden.. Informasjon over skålmateriale, vekt (g), volum (ml) brukt til

Skålmaterialet	Mengde tilsatt vann (ml)	Mengde tilsatt olivenolje (ml)
Pulp	910	760
Pulp med APET	530	465

lagringsforsøket med simulanter.

3.3.1 Forberedelser til material-testing med simulanter

Det ble målt vekt av Pulp og Pulp m/APET skåler med vekten «Mettler Toledo» (New Classic MF, Sveits), og deretter beregnet gjennomsnittlig vekt av 5 paralleller for hver av skålene. Det ble utført målinger av volum ved først å fylle maksimal mengde vann (ml) i hver av skålene, for deretter måle hvor mye vann det behøvdes før det var igjen 1 cm til skåloverflaten. Det ble beregnet hvor mye olivenolje som behøvedes til lagringsforsøket, ved å ta utgangspunktet i gjennomsnittlig skålvolum (ml) i fra hver skålvariant, legge til antall skåler og regne med slingring på 10-20 % ekstra olivenolje. Skålene benyttet til vann og olivenolje ble målt og markert flere plasser med en sprittusj, der hvor det var 1 cm igjen til skåloverflaten. På den måten ble betingelsene like ved alle målinger under lagringsforsøket med simulanter.

3.3.2 Praktisk gjennomføring av material-testing med simulanter

Til forsøket ble Pulp og Pulp m/APET testet med vann, olivenolje og uten simulat ved tre ulike lagringsbetingelser med temperaturer innstilt på 4°C, 23°C/50% RF og 22°C, ved en lagringsperiode på opptil 21 dager. To temperaturloggere (Kooltrak, Kiedrich, Tyskland) ble plassert på ulike steder i hvert lagringsrom, for å kontrollere temperatur og luftfuktighet gjennom hele lagringsperioden. Fem paralleller av hver emballasjemateriale ble testet med vann, olivenolje og uten tilsatt simulat, som til sammen ble 90 materialprøver. Alle skålene ble veid (g) med vekten «Mettler Toledo» (New Classic MF, Sveits) før vann eller olivenolje ble tilsatt. Deretter ble mengden tilsatt simulat (g) veid i emballasjeskålen, og disse målingene er presentert i Tabell 5. Til slutt ble skålene plassert og stablet i plastkasser med plastbrett på toppen for beskyttelse.

Tabell 4. Oversikt over skålmaterialer, gjennomsnittlig mengde tilsatt vann (ml) og olivenolje (ml) i skålmaterialene.

Skålmaterialet	Mengde tilsatt vann (ml)	Mengde tilsatt olivenolje (ml)
Pulp	910	760
Pulp med APET	530	465

3.3.2.1 Skålvekt etter lagring med simulanter

Under forsøket ble det observert utseende, mengde simulant og absorpsjon av simulant til skålene ved de ulike lagringsbetingelsene. Etter 14 og 21 dagers lagringstid ble skålene (utenom skåler u/simulant) veid for eventuell gjenværende mengde simulant (g), for så å tørke over skålene med papir for å fjerne overflødig vann og olje, og til slutt veie kun skålene. Differansen mellom skålvekt etter 14 og 21 dager med skålvekt ved dag 0, ble beregnet for å finne skålvekt absorpsjon (g). Absorpsjon menes i dette tilfellet med væske som trenger inn i et annet materiale, og fordeler sine molekyler over det indre av materiale. Hjørnene på alle skålene ble deretter klippet vekk for å måle materialtykkelse, og deretter punkturstyrke.

Målte lagringsbetingelser

Det ble brukt 2 temperaturloggere i hvert lagringsrom, som loggførte temperaturen (°C) og relativ fuktighet (% RF) gjennom hele lagringsforøket. Gjennomsnittlig temperatur og fuktighet ble beregnet fra de to loggerne i hvert av lagringsrommene, og er presentert i Tabell 5. Temperaturen i kjølerommet innstilt på 4 °C, holdt ca. 4,7°C med en varierende fuktighet på ca. 70,4 %. Lagringsrom nr. 2 var innstilt på 23°C/ 50% RF, holdt ca. 22 °C og en fuktighet på ca. 50,6 %. Lagringsrom nr. 3 (i romtemperatur) holdt ca. 21,5 °C, og en fuktighet på ca. 27,7% RF gjennom lagringsforsøket (se Vedlegg 4- Vedlegg 6.)

Tabell 5. Gjennomsnittlig målt temperatur (°C) og relativ fuktighet (% RF), samt standardavviket av to temperaturloggerne i tre forskjellige lagringsrom hvor skålene ble oppbevart

Lagringsrom nr.:	Temperatur (°C)	Luftfuktighet (%RF)
1	4,7 ± 0,53	70,4 ± 5,69
2	21,9 ± 0,28	50,6 ± 3,07
3	21,5 ± 0,85	27,7 ± 5,31

3.3.2.2 Materialtykkelse

Materialtykkelse ble målt med instrumentet «Qualitest» (Model 543-MX Gauge, Tokyo, Japan). Tykkelsen ble målt etter 21 dager for Pulp og Pulp m/APET lagret med vann, olivenolje og uten simulat. Det ble det besluttet å ta 3 pulpskåler (av totalt 5 skåler) med olivenolje fra hvert lagringsrom (4°C, 23 °C/50% RF og 22 °C) etter 14 dager lagringstid. Beslutningen var på bakgrunn av oljelekkasje fra Pulp-skålene.

En oversikt over utførelsen er presentert i Tabell 6 som gir informasjon om materialer, lagringsrom, lagringstid (dager) og antall paralleller av hver emballasjemateriale.

Etter endt lagringstid, ble alle hjørnene til skålene klippet vekk, siden hjørnene gjorde det komplisert å utføre målingene. Instrumentet kunne måle materialets tykkelse ved å benytte en målefot, som kunne heves og senkes ned på materialet. Materialtykkelsen ble målt i mikrometer (µm). Det ble utført flere målinger på tvers av prøvematerialet, og tre bestemte punkter ved hver måling, som var i midten, i midten til høyere og i midten til venstre. I tillegg ble det også utført målinger av referanseprøver for 5 paralleller av hvert emballasjemateriale.

Det ble utført målinger av tykkelse i midtpunktet av hjørnene for alle emballasjematerialene etter lagring med/uten simulat, ved de tre ulike betingelsene. Men, resultatene i fra disse målingene ble besluttet å utelukke, siden det var komplikasjoner å få målingene plant i midterdelen av hjørnene, som medførte i unormalt høye verdier. Det ble i stedet utført nye målinger av emballasjematerialenes hjørner, men disse materialene hadde ikke vært lagret med simulat. Målingene ble utført for 5 paralleller av hvert emballasjemateriale, og ved et nytt punkt nærmere bunnen. Målingene ble utført på tre hjørner for hvert materiale.

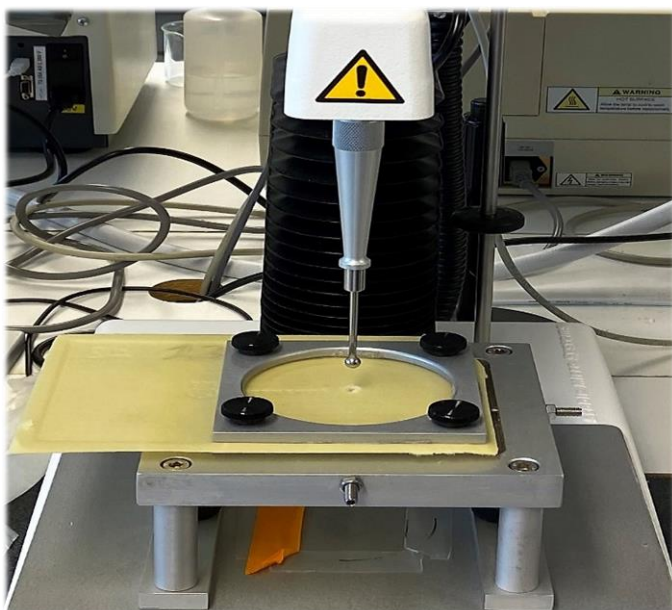
Tabell 6. Oversikt over materialer, lagringsbetingelser (4°C, 23°C/50 % relativ fuktighet og 22°C), lagringstid (dager) og antall skåler med vann, olivenolje og uten simulant.

		Lagringstid (dager)		
		21	14 og 21	21
Materiale	Lagringsbetingelser	Antall skåler med vann	Antall skåler med olivenolje	Antall skåler uten simulant
Pulp	4°C	5	3*	5
	23 °C /50% RF	5	3*	5
	22 °C	5	3*	5
Pulp med APET	4°C	5	5	5
	23 °C /50 %RF	5	5	5
	22 °C	5	5	5

* 3 paralleller (av totalt fem) av Pulp-skåler med olivenolje lagret ved betingelsene 4°C, 23°C/50% RF og 22°C ble lagret i 14 dager i stedet for 21 dager.

3.3.2.3 Punkturstyrke

Måling av punkturstyrken til emballasjematerialene ble gjennomført med instrumentet «Texture Analyser TA-XT. plusC» (Stable Micro Systems, Surrey, Storbritannia). Dette instrumentet målte hvor mye kraft (N) som krevdes for å bryte igjennom midtpunktet av materialene med en utvalgt kuleformet probe, vist i Figur 9. Instrumentet var koblet opp til dataprogrammet «Exponent Connect microsystem» på en stasjonær datamaskin. Det ble brukt et eget tilpasset program for analysene av emballasjematerialene. Etter at målingene var gjennomført, ble resultatene overført til Excel for videre behandling. Tre av Pulp-skålene med olivenolje fra hvert lagringsrom ble målt for punkturstyrke etter 14 dager, mens de resterende emballasjematerialene med/uten simulant ble målt etter 21 dagers lagringstid med 5 paralleller av hvert emballasjemateriale. Det ble også målt 5 referanseprøver av hvert emballasjemateriale.



Figur 9. Illustrasjon av punkturstyrke analyse av Pulp m/APET materiale. Foto: Privat.

3.4 Lagringsforsøket med næringsmidler

Til lagringsforsøkene ble det benyttet kyllingbrystfilet og ytrefilet av storfe. Lagringsforsøket med kyllingfilet gikk over 11 dager, og det ble tatt ut prøver ved dag 0, 5, 8 og 11. Mens, lagringsforsøket til ytrefilet av storfe gikk over 12 dager, og det ble tatt ut prøver ved dag 0, 5, 8 og 12. Utseende observasjoner, gassammensetning, væsketap og mikrobiologisk analyse ble gjort for alle pakninger etter deres spesifikke uttaksdag.

3.4.1 Emballasjematerialer til lagringsforsøket med næringsmidler

Til lagringsforsøkene med næringsmidler ble Pulp m/APET og referansen APET benyttet, presentert i Tabell 1. Emballasjematerialene ble pakket i MAP med pakkegasskombinasjonen 60% CO₂/ 40% N₂, med g/p-forhold 1 til lagringsforsøkene med kyllingbrystfilet og ytrefilet av storfe. Tabell 7 viser en detaljert beskrivelse av overbane, skålvolum, skålvekt, gassammensetningen, g/p-forholdet og pakkemetode som ble brukt i lagringsforsøkene.

Pakningene fikk tilsatt væskeabsorber (absorberbtype MP-2501-70, Færch, Danmark) kun til lagringsforsøket med kyllingbrystfilet. Overbanen «Burst Peel * MonoPET» hadde en «peel»-funksjon, dvs. at den var avtrekkbar.

Tabell 7. Detaljert informasjon over skålmateriales navn, vekt (g) og volum (ml), og overbanens produktnavn. I tillegg til gassammensetningen, g/p-forhold for emballasjematerialene benyttet i lagringsforsøkene.

Skålmaterialet	Produktnavn overbane	Skålvolum (ml)	Skålvekt (g)	g/p-forhold	Gass-sammensetning	Pakkemetode
Pulp m/APET	Burst Peel* MonoPET	720	20,7	1	60% CO ₂ / 40% N ₂	MAP + væskeabsorber
APET	Burst Peel* MonoPET	685	17,2	1	60% CO ₂ / 40% N ₂	MAP + væskeabsorber

3.4.2 Forberedelser til lagringsforsøket med næringsmidler

3.4.2.1 OTR

Emballasjematerialene APET (ref.) og Pulp m/APET sin oksyngjennomgang (OTR) ble målt, for å få kjennskap om materialenes barriereegenskaper. Målingene av OTR ble gjort i henhold til «Ambient Oxygen Ingress Rate Method» (AOIR) (Larsen; et al., 2000).

Skålpakkemaskinen Multivac T200 (Multivac, Wolfertschwenden, Germany) ble brukt til å sveise 5 paralleller av APET (ref.) med overbanen Burst Peel* MonoPET. Alle pakningene ble fylt med gassblandingen 20% CO₂ / 0,3% O₂ i N₂, og deretter lagret ved 4°C. Den første målingen ble gjort 24 timer etter pakking, og igjen med 5 dagers mellomrom. Måledata i % og måletidspunkt ble notert underveis. En annen metode for å måle oksyngjennomgang (OTR) ble utført for emballasjemateriale Pulp m/APET. I stedet ble det brukt 4 celler (nærmere forklart i avsnittet [3.2.4 OTR med celler](#)). Det ble gjort 2 målinger med 5 dagers mellomrom, imens Pulp m/APET cellene ble lagret ved 4°C. OTR for emballasjematerialene benyttet i lagringsforsøkene med næringsmidler er vist i Tabell 8.

Tabell 8. Emballasjematerialenes OTR (ml O₂ / (pkn x døgn)) ved temperatur (4,0°C)- og fuktighetsbetingelsen (0% RF)

Temperatur (°C)	Relativ fuktighet i pakningen (%)	Emballasjematerialer	
		Pulp m/APET	APET
4	0	0,39 ± 0,05*	0,31 ± 0,04

*OTR er gjennomsnittlig beregnet fra 4 celler med volum 276 ml

3.4.2.2 Beregning av g/p-forhold

Volumet til de to ulike emballasjematerialene ble brukt til utregninger av produktmengde, som måtte tilsettes for å oppnå et g/p-forhold på 1 til hver emballasjemateriale. Til utregningene av g/p-forholdet ble formelen omgjort for utregning av produktmengde; gram ytrefilet av storfe i pakningen, og tilsvarende for gram kyllingfilet i pakningen. En generell utregning av produktmengde illustrert under, og ble benyttet til å finne riktig produktmengde presentert i Tabell 9. Både skåls volum og g/p-forhold var kjente faktorer, som ble benyttet i formelen for utregning av produktvekt (g).

Generell utregning av produktmengde:

$$G/p\text{-forhold} = \frac{Gassvolum}{Produktvolum}$$

$$G/p\text{-forhold} = \frac{(Skålvolum - Produktvolum)}{Produktvolum}$$

$$Produktvolum = \frac{\frac{Skålvolum}{g/p\text{-forhold}}}{2}$$

$$Produktvekt (g) = Produktvolum \times Tettheten \text{ til matproduktet}$$

(Tettheten til kyllingfilet og storfe basert på tidligere gjennomførte forsøk på Nofima var 1,1)

Tabell 9. Produktmengde (g) av kyllingfilet og ytrefilet av storfe for de ulike emballasjematerialene (Pulp m/APET og APET). Produktmengden ble beregnet fra de kjente parameterne: g/p-forhold, skålvolum og gassvolum.

Matprodukt	Skålmaterialet	g/p-forhold	Skålvolum (ml)	Gassvolum (ml)	Produktmengde (g)
Kyllingfilet	Pulp m/APET	1	720	324,00	396,00
	APET	1	685	308,25	376,75
Ytrefilet av Storfe	Pulp m/APET	1	720	324,00	396,00
	APET	1	685	308,25	376,75

3.3.3 Lagringsforsøket med næringsmidler: praktisk gjennomføring

Kyllingfilet

Kyllingfiletene ankom Nofima (Ås, Norge) den 18. februar i ti kilos esker, og ble bestilt fra en kommersiell leverandør (Norsk kylling AS, Støren, Gauldal). Kyllingfiletene ble pakket i Nofima's pakkehall av tre personer. Det ble pakket 7 paralleller av emballasjemateriale Pulp m/APET, og 5 paralleller av APET til hver uttaksdag. Det resulterte i at det ble pakket ((5 paralleller + 7 paralleller) x 4 lagringstider)) 48 pakninger med kyllingfilet til hele

lagringsforsøket ved dag 0. Emballasjematerialene ble analysert ved uttaksdag 5, 8, og 11, og den siste tiltenke lagringstiden (uttaksdag 16) ble besluttet å utelukke fra forsøket. På pakkedagen ble det utført mikrobiologisk analyse for 4 ferske kyllingfileter, for å undersøke og dokumentere startkvaliteten.

Ytrefilet av storfe

Totalt 7 ytrefilet av storfe med ca. 2,5 - 3,5 kg for hver filet ble bestilt fra en kommersiell leverandør (Grilstad avd. Brumunddal), og ankom Nofima (Ås, Norge) mandag 8. februar. Ytrefiletene hadde en mørningsperiode på 16 dager før de ble pakket onsdag 24. februar i Nofima's pakkehall. På lik linje med lagringsforsøket med kyllingfilet ble det pakket 7 paralleller av Pulp m/APET, og 5 paralleller av APET til hver uttaksdag. Det resulterte i at det ble pakket ((5 paralleller + 7 paralleller) x 4 lagringstider)) 48 pakninger med kyllingfilet til hele lagringsforsøket ved dag 0. Emballasjematerialene ble analysert ved uttaksdag 5, 8 og 12, siden den siste tiltenke uttaksdagen (dag 16) ble besluttet å utelukkes fra forsøket. På pakkedagen ble det utført mikrobiologisk analyse for 4 ferske ytrefilet av storfe, for å undersøke og dokumentere startkvaliteten.

3.3.4 Pakkemetode

Til pakking av kyllingfilet og ytrefilet av storfe ble skålpakkemaskinen Multivac T200 (Multivac, Wolferschwenden, Tyskland) brukt. Skålene ble plassert i skuffen i maskinen, produktet var lagt manuelt i skålen på forhånd, og skuffen ble skjøvet inn. Her byttes luften med en gassblanding bestående av 60% CO₂ /40% N₂, og overbanen (Burst Peel*monoPET) ble ført ned og sveiset til skålen ved hjelp av trykk og varme. Skuffen ble deretter skjøvet ut igjen når prosessen var ferdig.

Væskeabsorber ble kun tilsatt emballasjematerialer til pakkeforsøket med kyllingfilet, som bestod av en coating med polyetylen (PE). For ytrefilet av storfe pakningene ble det en ren observasjon hvordan emballasjematerialene, spesielt Pulp m/APET, taklet å ha direkte kontakt med matproduktet.

Det ble gjort gassmålinger for 3 paralleller av hver emballasjemateriale for pakningenes headspace, rett etter pakking for både kyllingfilet og storfe. Dette ble gjort for å undersøke om gass sammensetningen var rett i henhold til pakking med 60% CO₂ / 40% N₂. Alle pakningene med kyllingfilet og ytrefilet av storfe ble lagret på kjølerom innstilt ved 4°C, og det ble plassert 2 temperaturloggere i rommet (Kooltrak, Kiedrich, Tyskland) på ulike plasser, som loggførte temperaturen under hele lagringsperioden.

3.3.5 Analyser under lagringsforsøkene

3.3.5.1 Headspace gassmålinger

Konsentrasjonen av oksygen og karbondioksid i headspace ble målt med CheckMate 9900 O₂/CO₂- måleren (PBI Dansensor, Danmark), og prøvene ble tatt med sprøyte gjennom et septa ved hver uttaksdag for kyllingfilet og ytrefilet av storfe. Andelen O₂ og CO₂ konsentrasjonen ble målt for 7 paralleller av pulp m/APET og 5 paralleller av APET fra samme uttaksdag. I den sammenheng kunne det undersøkes hvordan gassammensetningen utviklet seg under lagringsperioden for alle pakningene, og om det hadde vært lekkasje. Rett etter emballering på pakkedagene for kyllingfilet og storfe ble fire pakninger av hver emballasjemateriale målt for O₂ og CO₂ konsentrasjonen i headspace, for å forsikre at det var rett gassammensetning, og undersøke om det var lekkasje.

3.3.5.2 Væsketap

Væsketapet ble beregnet på alle pakningene ved hver uttaksdag. På pakkedagen ble alle pakninger veid med vekten «Mettler PC16» (Zürich, Sveits), for at væsketap kunne beregnes. Vekten som ble notert bestod av emballasje (g) med produkt (g) + evt. væskeabsorber (g) (væskeabsorber ble kun beregnet for pakninger med kyllingfilet). På uttaksdagene ble pakningene veid med væsketapet av væsken som lå igjen etter at produktet var fjernet. Dermed ble emballasjen ((med væske og uten produkt) (g) (+væskeabsorber) (g)) notert ved uttaksdagene. Ligningen for væsketapet for hver prøve er som følger:

Væsketap (g) = Vekt (emballasje + væske + væskeabsorber) – Vekt (tom emballasje)

$$\text{Væsketap \%} = \frac{\text{Væsketap (g)}}{\text{Vekt produkt ved pakking (g)}} \times 100$$

3.3.5.3 Mikrobiologisk analyse

Mikrobiologisk analysen totaltall (TVC) ble det tillaget medie av Plate Count Agar (PCA) (CM0463, Oxoid, UK). Dette mediet ble laget i henhold til oppskriften som var gitt på den tilhørende boksen. Den utvalgte mikrobiologiske analysen ble utført på kyllingbrystfileter og ytrefileter av storfe fra tre av pakningene ved hver uttaksdag, for å se utviklingen og antallet av levende aerobe mikroorganismer i fra næringsmidlene. Det ble i tillegg tatt fem mikrobiologiske prøver fra uttaksdag 0 av kyllingfilet og ytrefilet av storfe for å kontrollere utgangspunktet og kvaliteten av fersk råvare.

Prøvepreparering

Til den mikrobiologiske analysen totalantall ble det tillaget prøvemateriale av kyllingfilet og ytrefilet av storfe. Ved hjelp av pinsett og skalpell ble det skåret ut en bit i fra en kyllingfilet og en ytrefilet av storfe per pakning. Under prøveuttakningen ble det arbeidet sterilt. Det ble på forhånd bestemt hvor biten skulle bli tatt fra, slik at det ble likt for alle prøvene. En illustrasjon er vist Figur 10, som demonstrerer hvor biten skulle bli skåret ut ifra kyllingfileten og ytrefiletten av storfe. For kyllingfilet ble prøvebiten skåret ut ifra motsatt ende av «halen». For ytrefilet av storfe ble biten skåret ut der hvor området var bredest, samt hadde minst marmorering, altså intramuskulært fett.



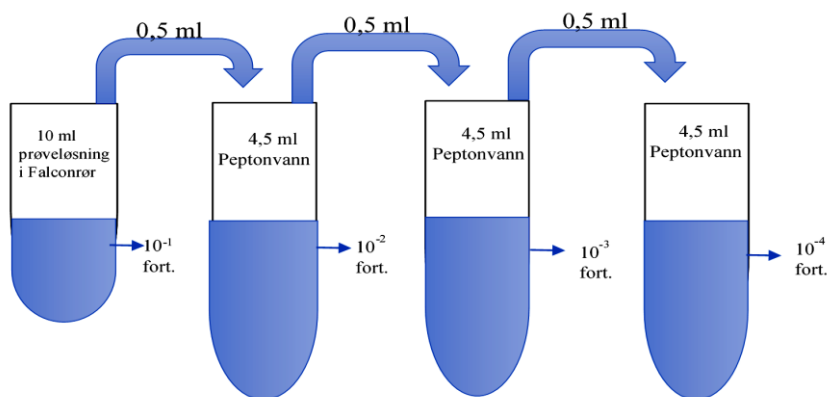
Figur 10. Illustrasjon av utskåret prøvemateriale av ytrefilet av storfe og kyllingfilet med målene 3x3x1 cm.
Illustrasjon: Privat

Den utskårede biten hadde en overflate på 3 x 3 cm² med en tykkelse på 1 cm, som tilsvarer en vekt på ca. 10 gram. Kyllingbiten og storfebitten ble deretter overført til en steril stomacherpose (VWR International AS, Aventor™).

Alle stomacherposene med uttaksprøvene ble veid automatisk av Dilumat[®]3 MK2 (AES laboratorie (P) Ltd., Noida, India), og riktig mengde saltvannspeptonløsning ble deretter beregnet (ca. 90 ml) og tilsatt posen. Dette ga et blandingsforhold på 1 : 9, og konsentrasjonen på prøveløsningen ble 10⁻¹. Fortynningsvæsken saltvannspeptonløsningen bestod av pepton, destillert vann og natriumklorid (NMKL, 2010). Videre ble posene med prøveløsningene homogenisert i en Stomacher (Smasher-AESAP 1064, AES Laboratorie, Frankrike) i 60 sekunder. Det ble tilsatt 10 ml med homogen prøveløsning fra stomacherposen til et 14 ml falconrør (PEF 352059, Dickinson and Company, USA) (NMKL, 2010). Denne prosessen ble gjentatt for hver uttaksdag, totalt 18 prøver for kyllingfilet (6 paralleller*3 uttaksdager) og 18 prøver for ytrefilet av storfe (6 paralleller*3 uttaksdager).

10-folds fortynninger

I henhold til spesifikasjoner av Nordisk metodikkomité for næringsmidler ble det laget til 10-folds fortynninger med saltvanns-peptonløsning (NMKL, 2010). En illustrasjon av 10-folds fortynninger er vist i Figur 11, som illustrerer at 0,5 ml av prøveløsningen (10^{-1} -fortynning) blir tilsatt til et nytt fortynningsrør med 4,5 ml saltvanns-peptonløsning. Den nye fortynningsfaktoren i dette fortynningsrøret 10^{-2} . Om det blir overført 0,5 ml fra dette fortynningsrøret (10^{-2}) over i et nytt fortynningsrør med 4,5 ml peptonløsning, blir den nye fortynningsfaktoren 10^{-3} . For hver ny overføring til et nytt fortynningsrør ble det røret med prøveløsningen først Vortexet (Vortex mikser, Scientific Industries), slik at væsken var homogen før overføringen.



Figur 11. Fremstilling av 10-folds fortynninger, hvor en bestemt mengde prøveløsning blir overført til fortynningsrør med 4,5 ml saltvanns-peptonløsning for å oppnå ønsket fortynningsfaktor. Illustrasjon: privat.

Denne 10-folds fortynningsmetoden presentert i Figur 11 kan videre fortsettes til den ønskede fortynningsfaktoren er oppnådd.

Totaltall (TVC)

Med følgende modifisering for den mikrobiologiske analysen totaltall (TVC), ble det i stedet for innstøping benyttet platespredning på Plate Count Agarmedium (PCA) i petriskåler (NMKL, 2013). Til undersøkelsene ble det benyttet ferdigstøpte skåler med PCA. Hvilke fortynningsfaktorer som skulle benyttes av prøvematerialet til mikrobiologiske undersøkelser av totaltall ble bestemt på forhånd. Nemlig, for å få akseptabelt antall kolonier på deteksjonsmediet. Det ble benyttet 10-folds fortynningsmetode for opparbeiding av riktig fortynningsfaktor (se 10-folds fortynninger

Der det var forventet lave bakterietall i fra prøvematerialet, ble det benyttet manuell overflatespredning. Var det forventet skåler med høyere bakterietall ble det benyttet platesprederen «Whitley Automatic Spiral Plater», kalt WASP (Don Whitley Scientific Ltd., West Yorkshire, UK) når det var forventet et bakterienummer mer enn log 5 kde/g. Instrumentet lagde via en overflatespredningsteknikk tre ulike fortynningsfaktorer per petriskål med PCA. Forventningen til bakterietallet kunne være usikkert, og i de tilfellene ble prøvematerialet overflatespredt manuelt og ved hjelp av WASP, for å være sikker på å få tellbare skåler.

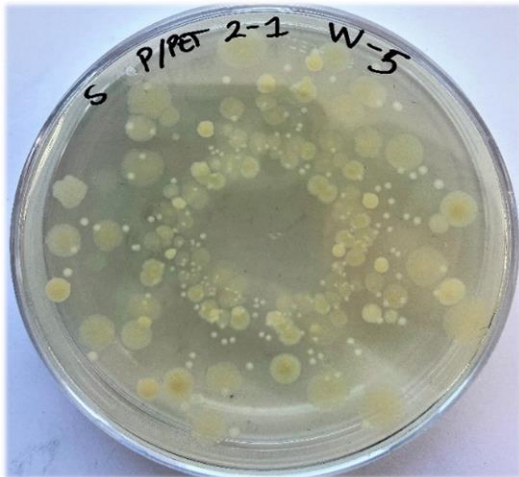
Overflatespredning på PCA

Manuell overflatespredning ble utført i et avtrekkskap, og ble utført ved å pipettere 100 mikroliter (μl) prøvemateriale på en ferdigstøpt PCA-skål. Deretter ble løsningen spredt utover med en steril vinkelstav, og så tørket i avtrekkskapet uten lokk. Ved overflatespredning med instrumentet WASP, ble en ferdigstøpt PCA-skål plassert i platesprederen. Instrumentet sugde opp 1 ml av prøveløsningen, og benyttet så en overflatespredningsteknikk på PCA-skålen. Deretter ble skålen tørket i et avtrekkskap før inkubering. Inkubering foregikk under aerobe forhold ved 30°C i 3 døgn (NMKL, 2013).

Telling av skåler

Etter inkubasjonstiden på 3 døgn ble PCA skålene avlest for å kunne detektere bakterieveksten. Ved avlesning av PCA-skålene ble skåler med 25-250 kolonier telt, og koloniene kunne observeres som gul-hvite (NMKL, 2013). PCA-skåler med prøvemateriale av ytrefilet av storfe, ble det i tillegg telt med *Carnobacterium divergens*, og en illustrasjon på en slik PCA-skål med små hvite kolonier er vist i Figur 12. Skålene som hadde blitt manuelt overflatespredt, ble avlest manuelt ved å markere kolonier på skålen med penn, for å kunne holde oversikt under tellingen. Skåler fra samme prøveløsning, men med ulik fortynningsfaktor, ble skålen med passende antall kolonier i henhold til spesifiseringen telt.

Avlesning av skåler hvor WASP ble brukt, ble utført av en koloniteller Protocol 2 (Symbiosis), siden disse skålene ikke kunne telles manuelt. Resultat av antall talte kolonier ble oppgitt i gjennomsnittlig koloniformede enheter per gram (kde/g). Gjennomsnittlig totalantall for 3 paralleller per emballasjemateriale, ved samme uttaksdag ble gjennomført. Ved å ta «log10» av kde/g, ble resultatet gitt logaritmisk.



Figur 12. Illustrasjon av detekterte kolonier av gule kolonier av totaltall, og hvite små kolonier av *Carnobacterium divergens* av prøvematerialet med ytrefilet av storfe etter dag 5. Foto: privat.

3.5 Statistisk analyse

Alle de statistiske analysene ble gjennomført ved hjelp av programvaren Minitab®19 (versjon 19.2020.1) (State College, Pennsylvania, USA). Det ble benyttet ANOVA «general linear model» (GLM) for å undersøke effekt av; materialer læringsbetingelser og simulanter. I denne modellen ble både hovedeffekter (Pulp og Pulp m/APET, temperatur og luftfuktighet, vann, olje og uten simulant) og samspillseffekter undersøkt. Dette ble gjort for alle responsene; absorpsjon skålvækt, materialtykkelse og punkturstyrke. Hypotesene ble testet med et signifikansnivå på 5%.

En-veis ANOVA med «Tukey Pairwise Comparison», også kalt Tukey test, ble brukt på resultatene for responsene gassutvikling (O_2 og CO_2), væsketap og totaltall for emballasjematerialene brukt i lagringsforsøkene med næringsmidler. En-veis ANOVA sammenlignet de to emballasjematerialene for å se om det var signifikante forskjeller mellom prøvene med samme uttaksdag. Testen ble utført med et 5% signifikansnivå, og signifikante forskjeller med p-verdi $\leq 0,05$ mellom de ulike variablene rangeres ved bruk av Tukey test. Gjennomsnittene som ikke hadde noen bokstaver til felles, var signifikant forskjellige fra hverandre.

4. Resultat og diskusjon

4.1 Materialelegenskaper

Resultatet fra målinger av materialelegenskaper, samt material-testing med simulanter er presentert under, med OTR og lekkasjetest presentert først.

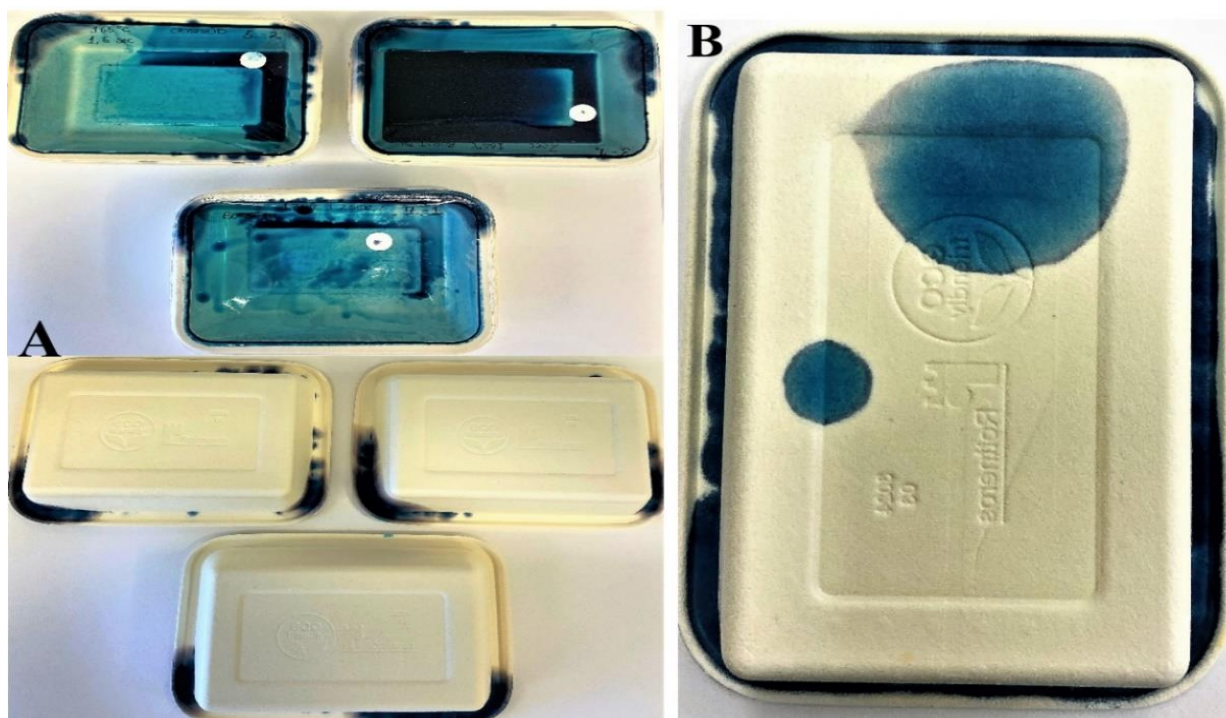
4.1.1 OTR

Det ble forsøkt å måle oksyngjennomgang av emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET ved å lime fast metallplater. Allerede etter første måling av oksyngjennomgang, viste resultatene høye O₂ konsentrasjoner og lav CO₂ konsentrasjoner for alle prøvene, som indikerte at skålene med metallplater ikke var tette. Derfor ble det testet forskjellige sveisebehandlinger for Pulp og Pulp med APET, og for Pulp-skålene ble testet en alternativ metode for flushing med testgass via to hull i overbanen. Denne metoden var ikke optimal, siden resultatene ved måling av oksyngjennom viste høye O₂ konsentrasjoner. Pulp m/APET skålene forseglest med ulike sveisebehandlinger viste også høye O₂ konsentrasjoner. Derfor ble det besluttet å utføre lekkasjetesting blant utvalgte Pulp m/APET skåler. Til slutt ble metoden med celler testet, som fungerte optimalt for Pulp m/APET. Mens, for Pulp-skåler ble det i stedet utført tidsintervall-målinger av oksyngjennomgang, og resultatet blir vist i avsnitt [4.1.1.2](#).

4.1.1.1 Lekkasjetest

Resultatene fra lekkasjetesten for Pulp m/APET skåler kunne bekreftet at det var lekkasje. I Figur 13 vises både forsiden og baksiden av tre Pulp m/APET skåler, forseglest med tre ulike overbaner og sveisebehandlinger (bildet A, t.v.). Blant alle disse tre skålene var det lekkasje både rett ved forseglingen, men også for akkurat de samme hjørnene. Det kan indikere at skålene har mikroskopiske hull i materiale, spesielt ved hjørnene, og eventuelt mikroskopiske porer i forseglingen, som er mest sannsynlig årsaken til lekkasjen.

Pulp m/APET ble i tillegg testet med flere sveisebehandlinger og overbaner. I Figur 13 (bildet B, t.h.) er det illustrert en annen Pulp m/APET skål med overbanen «Mylar OL» forseglest ved 190°C i 2 sek ved 2 bar, og resultatet viste lekkasje rundt hele skålen ved hjørnene, samt gjennom skålen. I dette tilfellet kan det være pga. for høy sveisetemperatur i kombinasjon med høyt trykk. For å teste om det var sveisebehandlingen som kunne være mulig årsak til lekkasjen, ble Pulp m/APET skåler uten forseglest overbane testet med blåfarget etanol, og det var ingen tydelig tegn på lekkasje ved denne metoden. Dermed kan ikke sveisebehandlingen utelukkes som en medvirkende årsak til lekkasje for Pulp m/APET.



Figur 13. **A:** Forsiden og baksiden av tre Pulp m/APET skåler forseglet med forskjellige overbaner og sveisebehandlinger bestående av: «Crysta-Lid» ved 165°C i 1,5 sek ved 2 bar (i venstre hjørne), «Burst peel* MonoPET» ved 165°C i 2,0 sek ved 2 bar (i høyere hjørne) og «Biaxer 65» ved 186 °C i 2,0 sek ved 2 bar (i midten nederst). **B:** Pulp m/APET forseglet med «Mylar OL» ved 190 °C i 2 sek ved 2 bar. Foto: privat

4.1.1.2 Headspace gassmålinger

Intervallmålinger for emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET ble utført for å undersøke hvor raskt cellenes testgass (20% CO₂ / 0,3% O₂ i N₂) ble byttet ut med oksygen (O₂) i fra luften i rommet. Resultatet fra tidsintervallmålingene er presentert i Tabell 10.

Tabell 10. Gjennomsnittlig resultat for intervallmålinger av O₂ (%), med 3 minutter mellom hver måling for celler med emballasjematerialene pulp og pulp med APET.

Materiale	1.måling (% O ₂) (3 min)	2.måling (% O ₂) (6 min)	3.måling (% O ₂) (9 min)
Pulp	4,70 ± 2,37	14,82 ± 1,38	18,58 ± 0,77
Pulp med APET	0,24 ± 0,04	0,24 ± 0,02	0,25 ± 0,03

Etter tredje tidsmåling (9 min) var gjennomsnittlig O₂-konsentrasjon for celler med Pulp på ca. 18,6 %. Siden luft består av ca. 21% O₂, kan det tyde på at cellenes testgass ble relativt fort byttet ut med luft i fra rommet. Det var liten forskjell for gjennomsnittlig O₂-konsentrasjon for pulp m/APET celler, som holdt seg på 0,24 - 0,25 % for alle tre målingene.

4.1.3 Vannabsorpsjon/Cobb-verdi

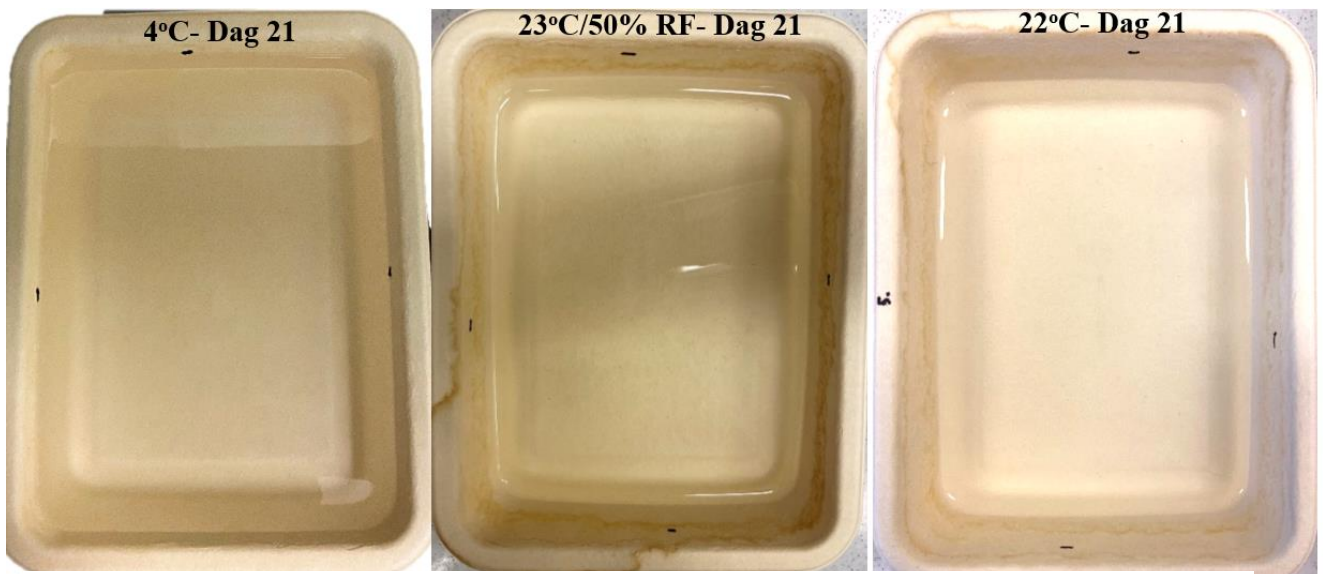
Resultatet av gjennomsnittlig Cobb-verdi med standardavvik for Pulp materiale ble $5700 \pm 0,08 \text{ g/m}^2$. Mens, for Pulp m/APET ble Cobb-verdien $494 \pm 0,01 \text{ g/m}^2$. Denne testen angir materialenes evne til å motstå vannopptak. En lav Cobb-verdi, slik pulp m/APET fikk, kan indikere at materiale har evnen til å motstå vannopptak, som var forventet. Vannabsorpsjonsevnen henger sammen med materialets egenskaper, som porøsitet og størrelse. En årsak til at Cobb-verdien ble så forskjellig for de to emballasjematerialene kan være pga. at Pulp m/APET består av en mono-amorf polyetylentereftalat film. Denne filmen bidrar med barriere mot vannmolekyler, samt gode termiske og mekanisk egenskaper (Robertson, 2013).

Målt Cobb-verdi av Pulp materialet var relativt høy (5700 g/m^2), sammenlignet med målt verdi for Pulp m/APET materialet (494 g/m^2), som betyr at materialet hadde mindre motstand mot vannabsorpsjon, som var forventet. Vannabsorpsjonen i disse biobaserte pulpmaterialene kan skyldes både diffusjonsfenomener, og effekten av kapillærkrefter, men ifølge Céline et al. (2013) er de nøyaktige mekanismene som regulerer transport av vann i cellulosefibrene fortsatt usikkert.

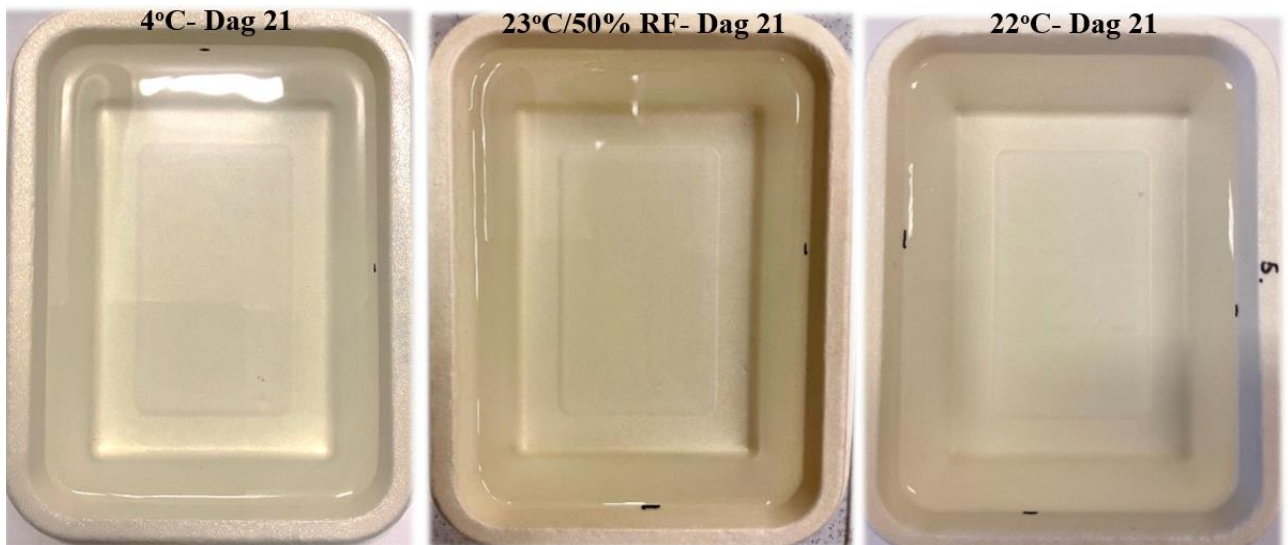
4.1.4 Utseende observasjoner

Emballasjematerialene lagret med simulanter ble observert gjennom lagringsperioden, for å følge med på endringer i materialene lagret ved de ulike betingelsene. Lagringsbetingelsene som blir presentert videre i oppgaven er de planlagte betingelsene, mens de målte verdiene er presentert i Tabell 5. Utseende av Pulp og Pulp m/APET lagret med vann i 21 dager ved de forskjellige lagringsbetingelsene er illustrert i Figur 14 og Figur 15.

Pulp skåler lagret ved $23^\circ\text{C}/ 50\% \text{ RF}$ viste flekker/avtrykk i materialene pga. vannabsorpsjon, og observert vannmengde var redusert etter 21 dager. Pulp-skålene lagret ved 22°C hadde også flekker/skjolder etter vannabsorpsjon. Mens, Pulp-skålene lagret ved 4°C hadde ikke tydelige flekker av vannabsorpsjon, men teksturen på skålene var myk, fuktig og litt klebrig pga. høy luftfuktighet ($70\% \text{ RF}$). I tillegg hadde skålene dårlig mekanisk styrke ved håndtering under løft og frakt. Pulp m/APET hadde ingen synlige flekker/skjolder av vannabsorpsjon ved de ulike lagringsbetingelsene, eller synlig redusert vann etter 21 dagers lagring. Skålens tekstur og form var ikke på langt nær så myk, klebrig eller fuktig sammenlignet med Pulp-skålene, og hadde en sterkere mekanisk styrke ved håndtering under frakt og bæring. Med andre ord håndterte Pulp m/APET lagring med vann bedre sammenlignet med Pulp-skålene, i henhold til observasjon av utseende og tekstur av materialene.

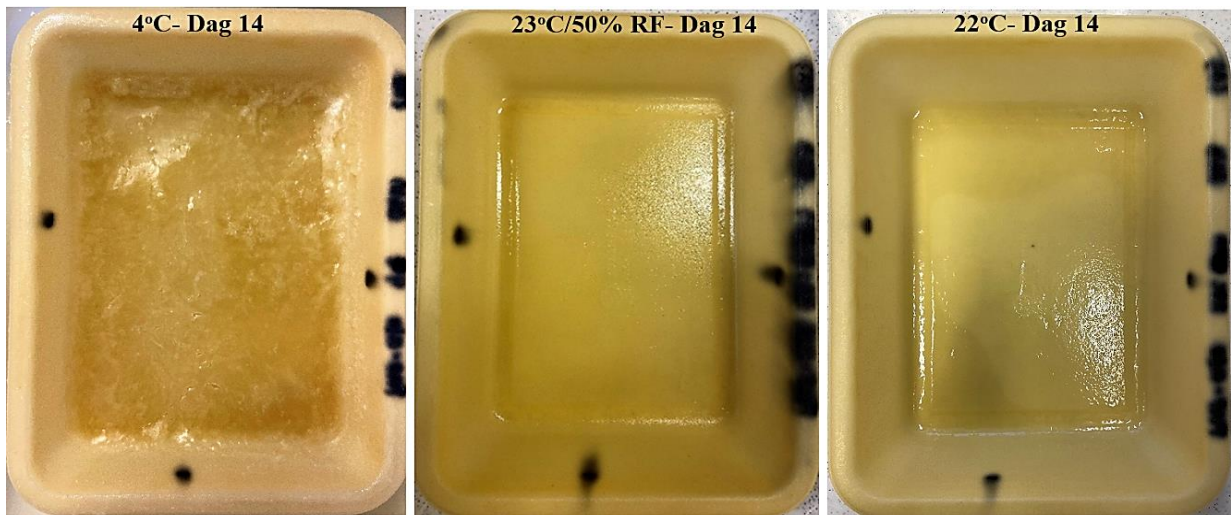


Figur 15. Pulp skåler med vann oppbevart ved hver sin lagringsbetingelse 4°C/ 70% RF, 23°C /50% RF og 22°C/ 27 %RF i 21 dager

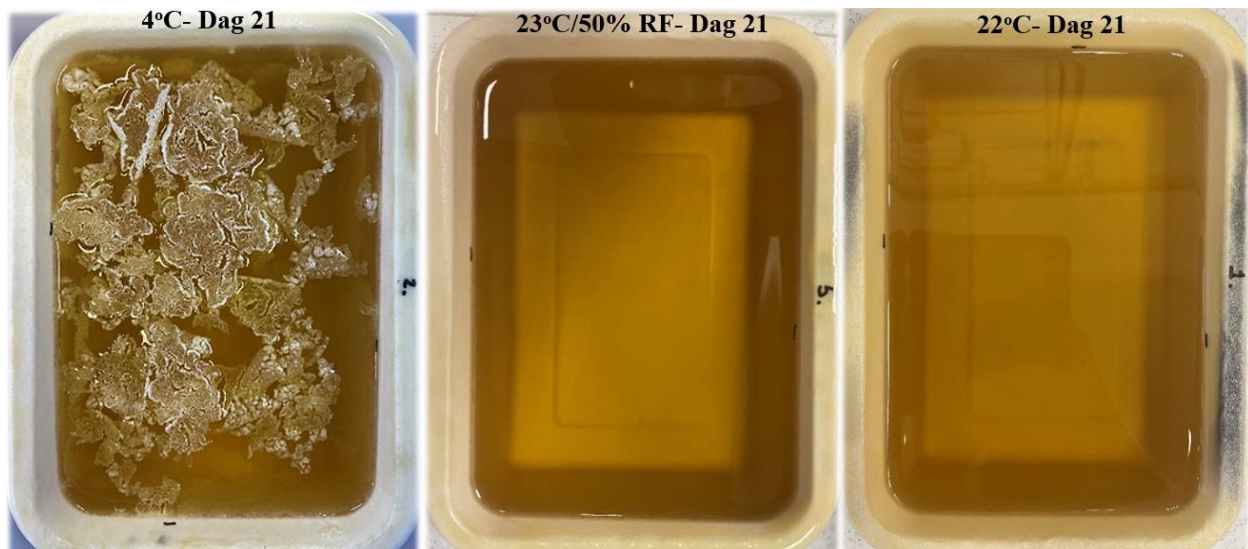


Figur 14. Pulp m/APET skåler med vann oppbevart ved hver sin lagringsbetingelse 4°C/ 70% RF, 23°C /50% RF og 22°C/ 27 %RF i 21 dager.

Figur 16 og Pulp m/APET lagret i 21 dager er vist i Figur 17. Det ble observert at Pulp-skålene absorberte mye olivenolje, som var forventet. Dette medførte at skålene fikk en gulaktig farge og teksturen ble myk og bøyelig. Med andre ord mistet skålene sin mekaniske styrke, som er viktig f.eks. under transport for å hindre matsvinn. De markerte punktene med sprittusj på skålene ble oppløst med olivenoljen. Pulp m/APET lagret med olje ved 4°C hadde mindre synlig påvirkning på skålene, utenom litt fuktig overflatetekstur. Olivenoljen hadde krystallisert ved den lave temperaturen og fuktigheten (4°C og 70% RF), og Pulp m/APET lagret ved 22°C viste at skålene hadde absorbert olje, pga. den gulaktige fargen, og at sprittusjen hadde blitt oppløst i skålene.



Figur 16. Pulp skåler med olivenolje oppbevart ved tre forskjellige lagringsbetingelser 4°C/ 70% RF, 23°C /50% RF og 22°C/ 27 %RF i 14 dager



Figur 17. Pulp skåler med olivenolje oppbevart ved hver sin lagringsbetingelse 4°C/ 70% RF, 23°C /50% RF og 22°C/ 27 %RF i 21 dager

Pulp-skålene var ikke egnet til lagring med olivenolje, ettersom skålene hadde en stor mengde oljeabsorpsjon, og skålene mistet sin mekaniske struktur over tid. Mens, Pulp m/APET håndterte lagring med olivenolje bedre, mest sannsynlig pga. dens mono-APET film. Observasjonene indikerer at emballasjematerialene ikke er godt egnet til emballering av matvarer med høyt fettinnhold. Sammenlignes Pulp skåler lagret med vann opp imot Pulp-skåler med olje, så hadde oljeabsorpsjonen mest effekt på utseende og den mekaniske styrken til skålene. Sammenligningen mellom Pulp m/APET lagret med vann opp imot lagring med olivenolje, indikerer ut ifra observasjonene at disse skålene kan fungere bedre til emballering av ferske matvarer med høyt vanninnhold.

4.1.5 Skålvekt absorpsjon etter lagring

Det ble gjort vektmålinger av alle emballasjematerialene både før og etter tilsatt simulans, utenom skåler uten simulans, hvor kun vekt før og etter endt lagringstid ble utført. Dette ble gjort for å kunne beregne mengden simulans som hadde absorbert til skålmateriale etter endt lagringstid. Resultatet av gjennomsnittlig skålvekt absorpsjon for alle emballasjeprøvene er presentert i Tabell 11.

Tabell 11. Resultat av gjennomsnittlig absorpsjon skålvekt i gram (g) for emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET oppbevart med simulans (vann, uten simulans og olivenolje) ved de ulike lagringsbetingelsene 4°C/ 70% RF, 23°C/ 50% RF og 22°C / 27% RF i opptil 21 dager.

Materiale	Simulans	4°C/ 70% RF	23°C/ 50% RF	22 °C/ 27% RF
Pulp	Vann	10,16 ± 0,32	9,34 ± 1,59	10,54 ± 1,88
	Uten simulans	3,55 ± 0,17	1,01 ± 0,07	-0,40 ± 0,42
	Olivenolje	38,99 ± 0,86*	38,18 ± 0,56*	38,2 ± 5,15*
Pulp med APET	Vann	2,86 ± 0,02	0,84 ± 0,43	0,37 ± 0,06
	Uten simulans	2,91 ± 0,11	0,89 ± 0,04	-0,1 ± 0,02
	Olivenolje	6,79 ± 2,98	5,83 ± 1,25	25,11 ± 3,61

*Gjennomsnittlig absorpsjon skålvekt i gram (g) fra 3 paralleller, og ikke 5 paralleller som de resterende prøvene.

Tabell 11 viser at det relativt lik vektøkning, ca. 38 gram, etter 14 dagers lagring for Pulp-skåler lagret med olivenolje ved alle lagringsbetingelsene. Det samme gjaldt for Pulp-skålene med vann, som hadde en vannabsorpsjon på ca. 9-10 gram ved de ulike lagringsbetingelsene. Pulp-skålene hadde størst absorpsjon av olivenolje, sammenlignet med Pulp m/APET skåler, uansett lagringsbetingelse. Årsaken til Pulp-skålene hadde høy absorpsjonen av olje avhenger av mange fiberrelaterte faktorer, f.eks. størrelse, form, struktur og forholdene der fibre utsettes for oljen (Wong et al., 2016). Cellulosefibre er sammensatt av ordnede regioner (krystallinske områder) og uordnede regioner (amorfe). Ifølge Davies og Bruce (1998) spiller hemicellulose, som utgjør hoveddelen av den amorfe-fasen i cellulosefibre, en viktig rolle i absorpsjon og lagring av væske, slik som olje og vann.

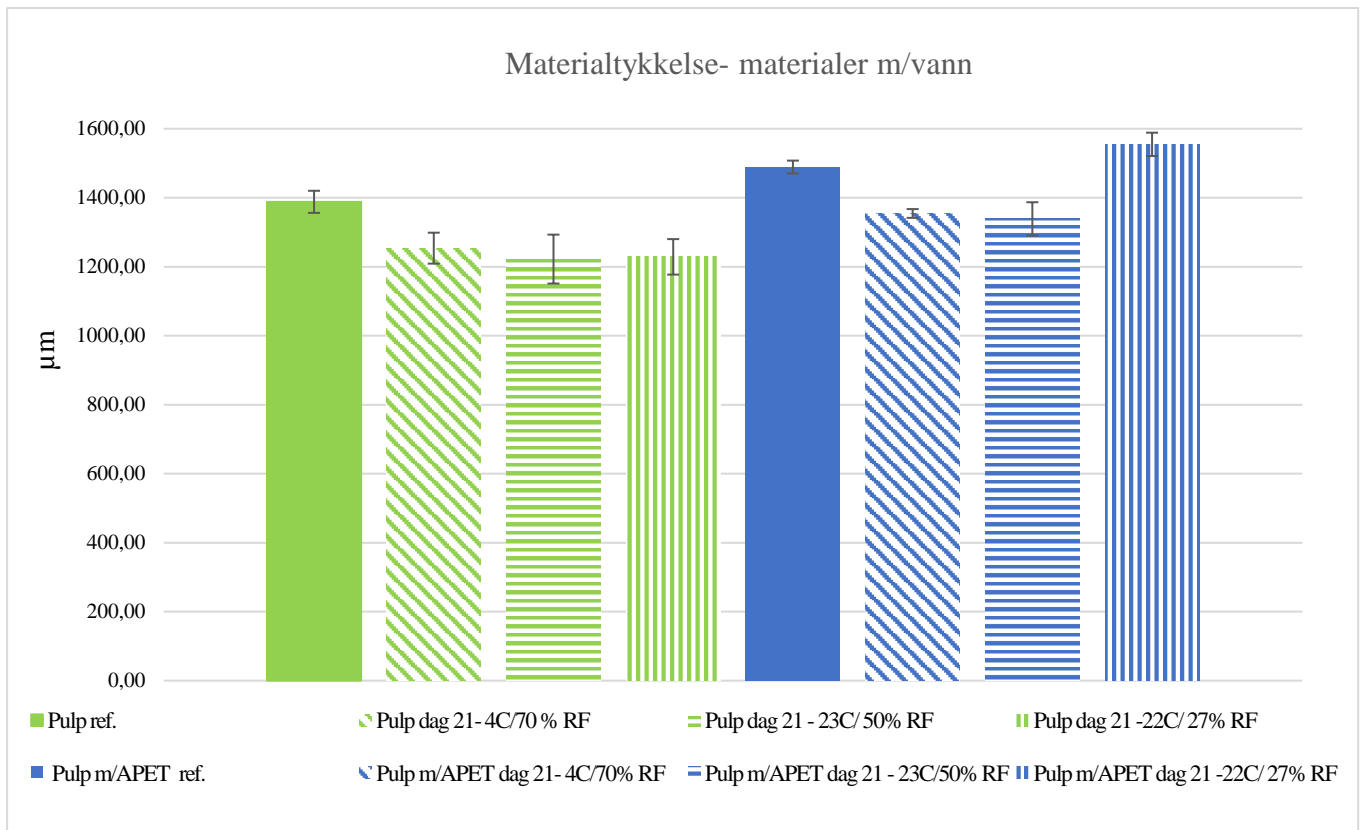
Cellulose er en hygroskopisk polymer, og dermed forbundet med sterk følsomhet overfor vann og fuktighet, som induserer svelling og tap av mekaniske egenskaper under lagring (Liu et al., 2021). Ifølge David et al. 2019 kan vannabsorpsjon hindres ved forskjellige

overflatemodifikasjoner, for å minimere grenseenergien mellom porene og den upolare polymermatriksen. Blant disse modifikasjonene kan f.eks. esterifisering med fettsyrer være et alternativ (David et al., 2019). Vannabsorpsjon kan forekomme når vannmolekyler trenger inn mellom cellulosefibrene gjennom kapillarkrefter og interagerer med cellulosekjedene. Absorpsjon av vann fremmer dannelse av hydrogenbindinger mellom cellulosekjedene (Chami Khazraji & Robert, 2013; Wong et al., 2016).

Både Pulp og Pulp m/APET uten tilsatt simulat hadde høyest absorpsjon når de var lagret ved 4°C/ 70% RF, som var forventet. I motsetning til da de ble lagret ved 22 °C/ 27% RF, som resulterte i ingen absorpsjon, men i stedet redusert skålvekt (minimalt). Dette kan ha en sammenheng med temperatur og luftfuktigheten i rommet. Ved høy relativ fuktighet (70% RF) kan vannopptaket brått øke pga. dannelse av kapillaritet og vannmolekyler organisert i klustere (Banik & Brückle, 2010). Mens, ved høy temperatur og lav fuktighet kan ha forårsaket at cellulosefibrene tørket og krympet i lengde, som har medført til en liten reduksjon i skålvekt (Kosiński et al., 2020).

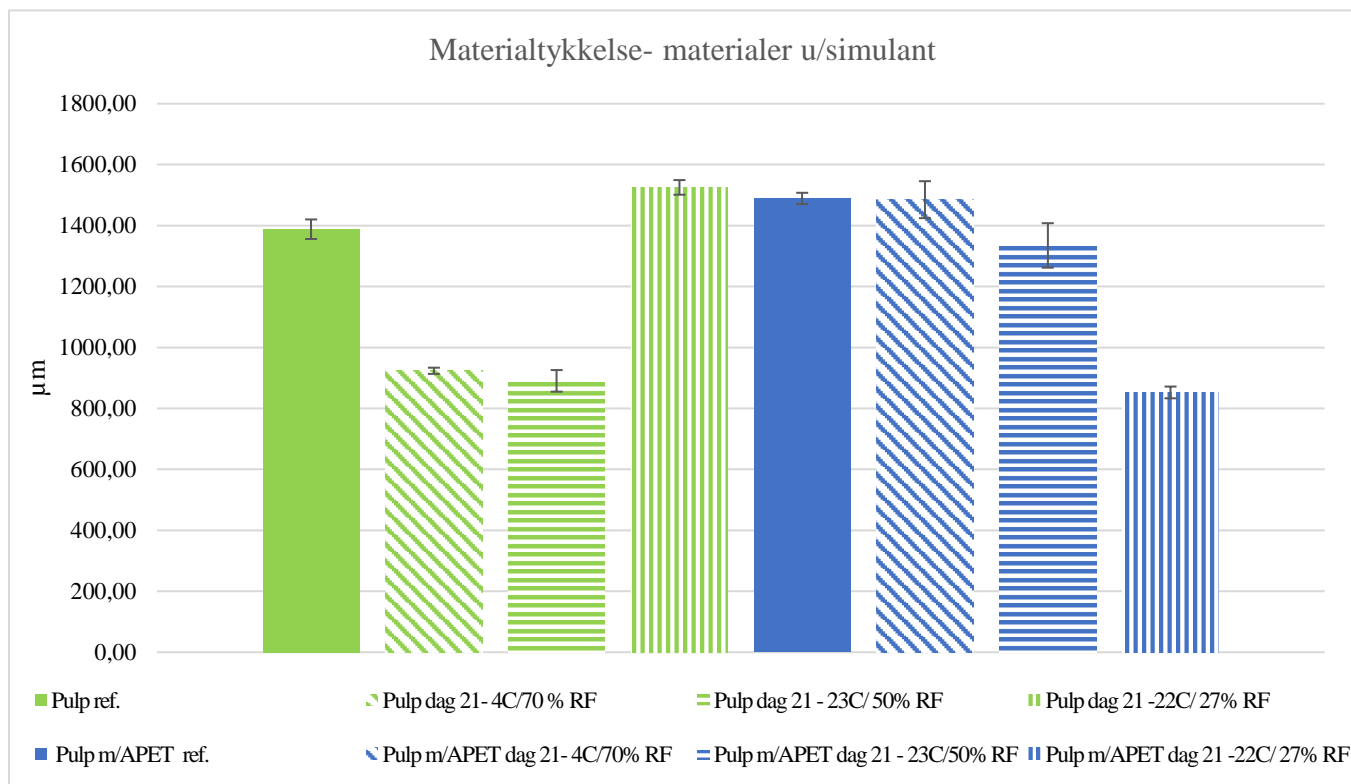
4.1.6 Materialtykkelse

Materialtykkelse av hjørnene ble målt ved hjelp av et mikrometer, ved å måle flere hjørner på samme skål, hvor målepunktene var plant, dvs. at målefoten traff hjørnene uten hulrom. For pulpskålene ble gjennomsnittlig materialtykkelse av 5 paralleller med standardavvik $1181 \pm 26,10 \mu\text{m}$. For pulp m/APET skåler ble gjennomsnittlig resultat med standardavvik $1383 \pm 16,95 \mu\text{m}$. Emballasjematerialene ble målt på tre ulike punkter (i midten, i midten til høyere og i midten til venstre) etter endt lagringstid med simulat etter 14 og 21 dager. Resultatet av gjennomsnittlig tykkelse for emballasjematerialer lagret med vann ved de tre ulike lagringsbetingelsene er presentert i Figur 18. Resultatet av gjennomsnittlig tykkelse for materialene lagret uten simulat er presentert i Figur 19, og materialene lagret med olivenolje er vist i Figur 20.



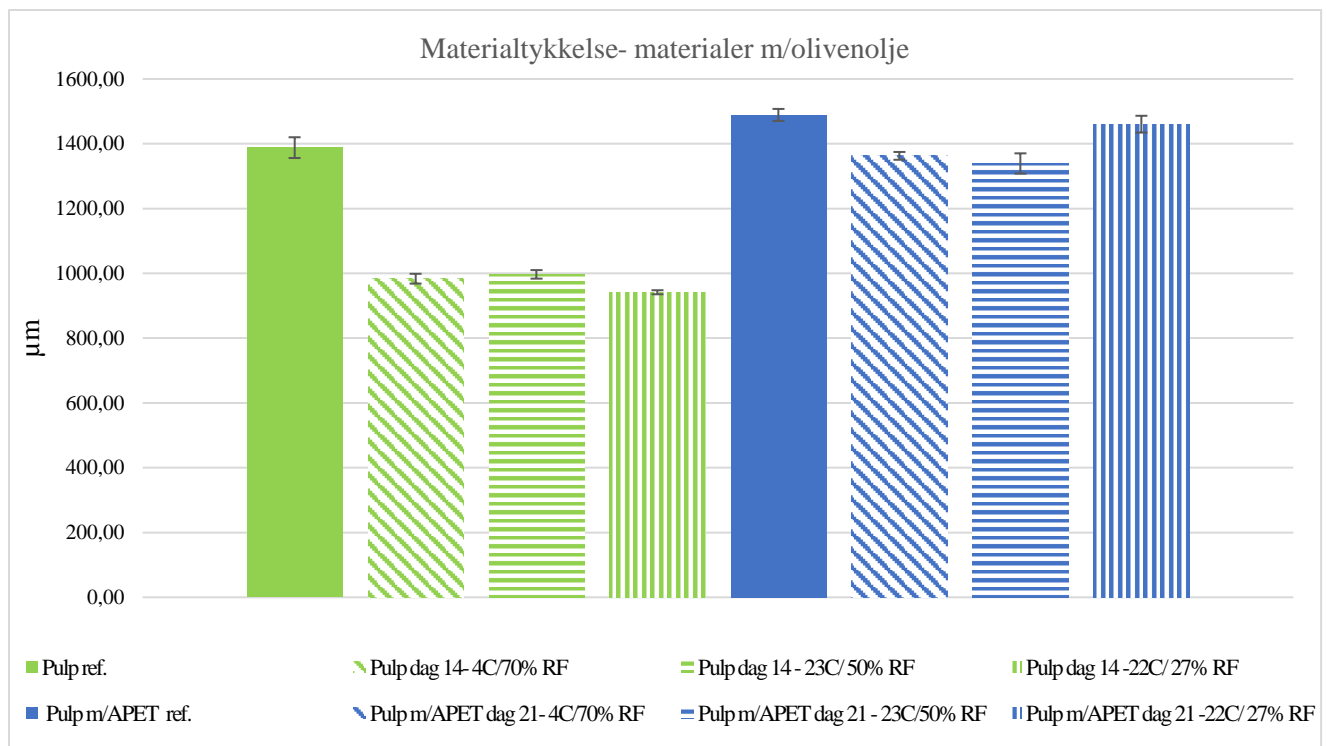
Figur 18. Gjennomsnittlig materialtykkelse i µm (y-akse) (m/standardavvik) for alle emballasjematerialene bestående av Pulp og Pulp m/APET, etter lagring med vann ved de ulike betingelsene 4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF i 21 dager.

Figur 18 viser at det for Pulp er relativt liten forskjell i materialtykkelse, og dermed liten effekt av lagringsbetingelsene. Materialtykkelsen var høyest for Pulp lagret ved 4°C/70% RF (1253 ± 44 µm). Sammenlignet med Pulp referansen (1388 ± 48 µm), så hadde Pulp-skålene en redusert materialtykkelse ved lagringstiden på 21 dager, uansett betingelsene. Pulp m/APET hadde høyest gjennomsnittlig materialtykkelse for skåler lagret ved 22°C/27% RF i 21 dager (1554 ± 33µm), til og med høyere tykkelse enn den gjennomsnittlige referansen (1489 ± 18 µm). Blant emballasjematerialene lagret med vann, så hadde Pulp m/APET høyest gjennomsnittlig materialtykkelse ved alle målingene. Effekten av de ulike lagringsbetingelsene på emballasjematerialenes tykkelse, viste seg å ikke være relativt stor.



Figur 19. Gjennomsnittlig materialtykkelse i μm (y-akse)(m/standardavvik) for alle emballasjematerialene bestående av pulp og pulp m/APET, etter lagring uten simulant ved de ulike betingelsene $4^{\circ}\text{C}/70\% \text{ RF}$, $23^{\circ}\text{C}/50\% \text{ RF}$ og $22^{\circ}\text{C}/27\% \text{ RF}$ i 21 dager.

Figur 19 viser at gjennomsnittlig materialtykkelse for Pulp-skålene u/simulant, var høyest blant skåler lagret ved $22^{\circ}\text{C}/27\% \text{ RF}$ i 21 dager ($1525 \pm 24 \mu\text{m}$). Til og med høyere enn Pulp referansen ($1388 \pm 32 \mu\text{m}$). Pulp m/APET hadde høyest gjennomsnittlig materialtykkelse for skåler lagret ved $4^{\circ}\text{C}/70\% \text{ RF}$ ($1485 \pm 60 \mu\text{m}$), sammenlignet med de andre betingelsene. I tillegg var tykkelsen relativt likt sammenlignet med Pulp m/APET referansen ($1489 \pm 18 \mu\text{m}$). Blant emballasjematerialene lagret uten simulant ble det vist forskjellige materialtykkelse ved nesten alle betingelsene. Med andre ord var effekten av de ulike betingelsene på tykkelsen ulikt blant emballasjematerialene. Det var spesielt varierende effekt av lagringsbetingelser på materialtykkelsen blant Pulp m/APET skåler.



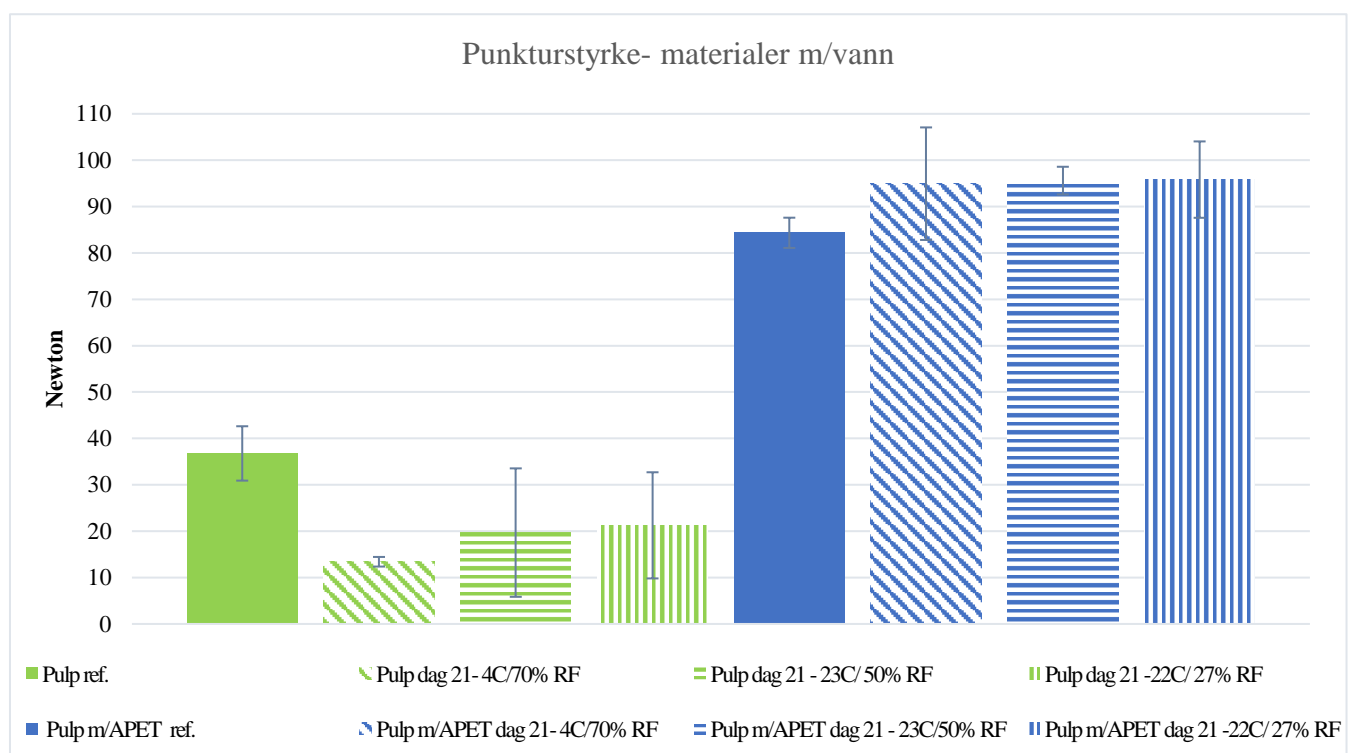
Figur 20. Gjennomsnittlig materialtykkelse i μm (y-akse) (m/standardavvik) for alle emballasjematerialene bestående av Pulp og Pulp m/APET, etter lagring med olivenolje ved de ulike betingelsene 4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF. Pulp-skåler med olivenolje ble lagret i 14 dager, mens Pulp m/APET skåler ble lagret i 21 dager.

Figur 20 viser at det for Pulp lagret med olje i 14 dager er relativt liten forskjell i materialtykkelse, og dermed liten effekt ved de ulike lagringsbetingelsene. Men, sammenlignet med Pulp referansen ($1388 \pm 32 \mu\text{m}$) hadde skålene nesten 400 μm forskjell i materialtykkelse. Dette kan henge sammen med Pulp sin maksimumsgrense for oljeabsorpsjon. Materialtykkelsen for Pulp m/APET skåler lagret i 21 dager ved de ulike betingelsene, hadde relativt like verdier av gjennomsnittlig materialtykkelse, sammenlignet opp imot referansen. Pulp m/APET lagret ved 22°C hadde nærmest resultat ($1460 \pm 25 \mu\text{m}$) sammenlignet med referansen ($1489 \pm 18 \mu\text{m}$).

Tykkelsene til skålene oppbevart ved de ulike betingelsene vil ha noe å si i forhold til hvor raskt stoffer kan trenge gjennom materialet. Teorien sier at gjennomtrengelighetshastigheten til stoffer er avhengig av diffusjonsveilengden, altså tykkelsen på skålene (Robertson, 2013). Det er grunn til å tro at endringer i materialkvalitet, som skyldes påvirkning av penetranter, f.eks. olje, vil opptre raskere i skåler laget av tynnere materialer, enn i et tykkere. Sammenlignes materialene med lagringen ved de ulike betingelsene, så resulterte det i forskjellige tykkelse blant samme materiale uansett om de ble lagret med vann, olje eller uten simulat. Med andre ord kan det være en indikasjon på at lagringsbetingelsene hadde en påvirkende effekt på materialtykkelsen til emballasjematerialene.

4.1.7 Punkturstyrke

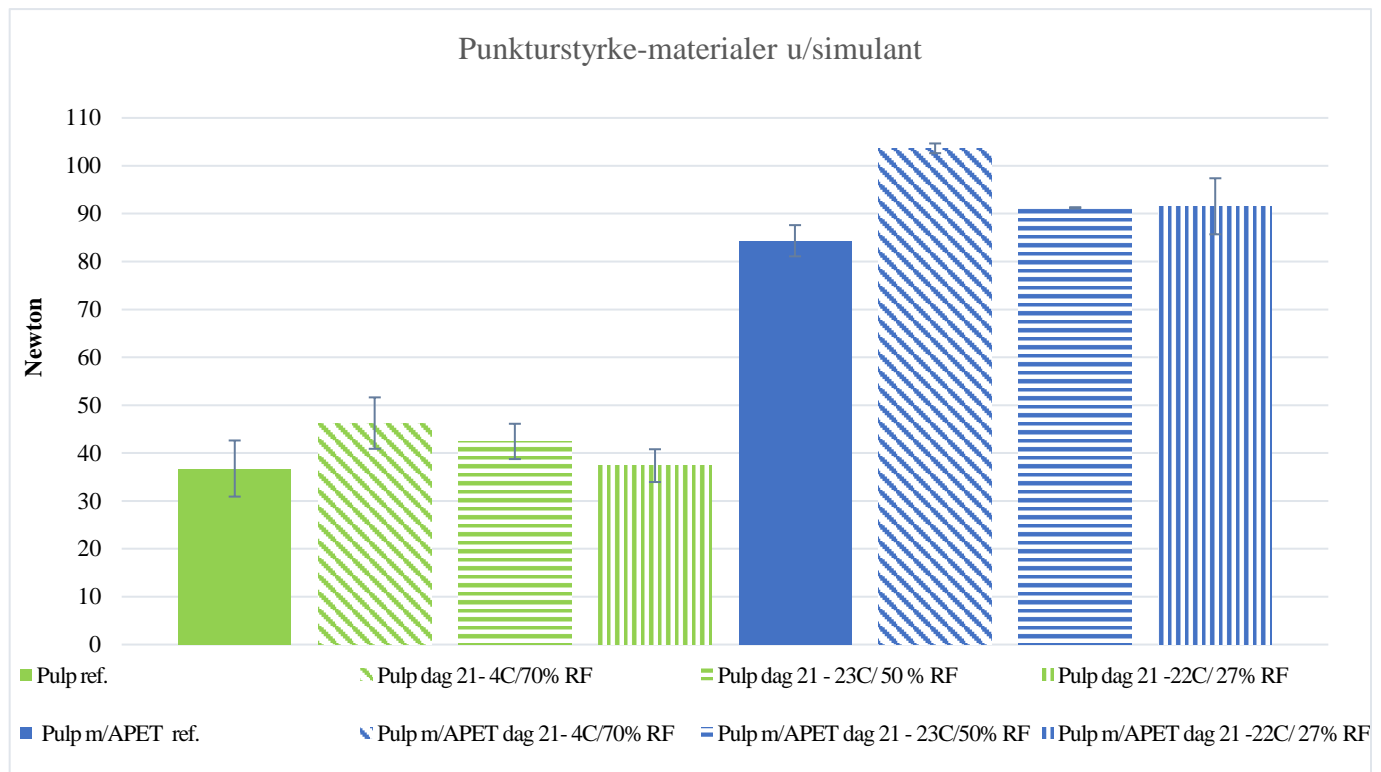
Etter endt lagringstid ble det utført punkturstyrke for emballasjematerialene lagret med og uten simulans ved hver sin lagringsbetingelse. Denne testen ble utført fordi emballasjematerialer kan utsettes for mekanisk skade, for eksempel manuelle og/eller maskinell håndtering, transportbelastninger og kontakt med skarpe objekter som kan føre til punktering. I den sammenheng er det viktig å analysere punkteringsmotstanden til emballasjematerialene. Resultatet av gjennomsnittlig punkturstyrke (N) med standardavvik for emballasjematerialene lagret med vann er presentert i Figur 21, emballasjematerialene lagret uten simulans ved de forskjellige betingelsene er illustrert i Figur 22, og emballasjematerialene med olivenolje er vist i Figur 23.



Figur 21. Gjennomsnittlig punkturstyrke i Newton (y-akse) (m/standardavvik) for alle emballasjematerialene bestående av Pulp og Pulp m/APET, etter lagring med vann ved de ulike temperatur og relativ fuktighets (RF) betingelsene 4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF i 21 dager. I tillegg til gjennomsnittlig punkturstyrke for referanse av hvert emballasjemateriale.

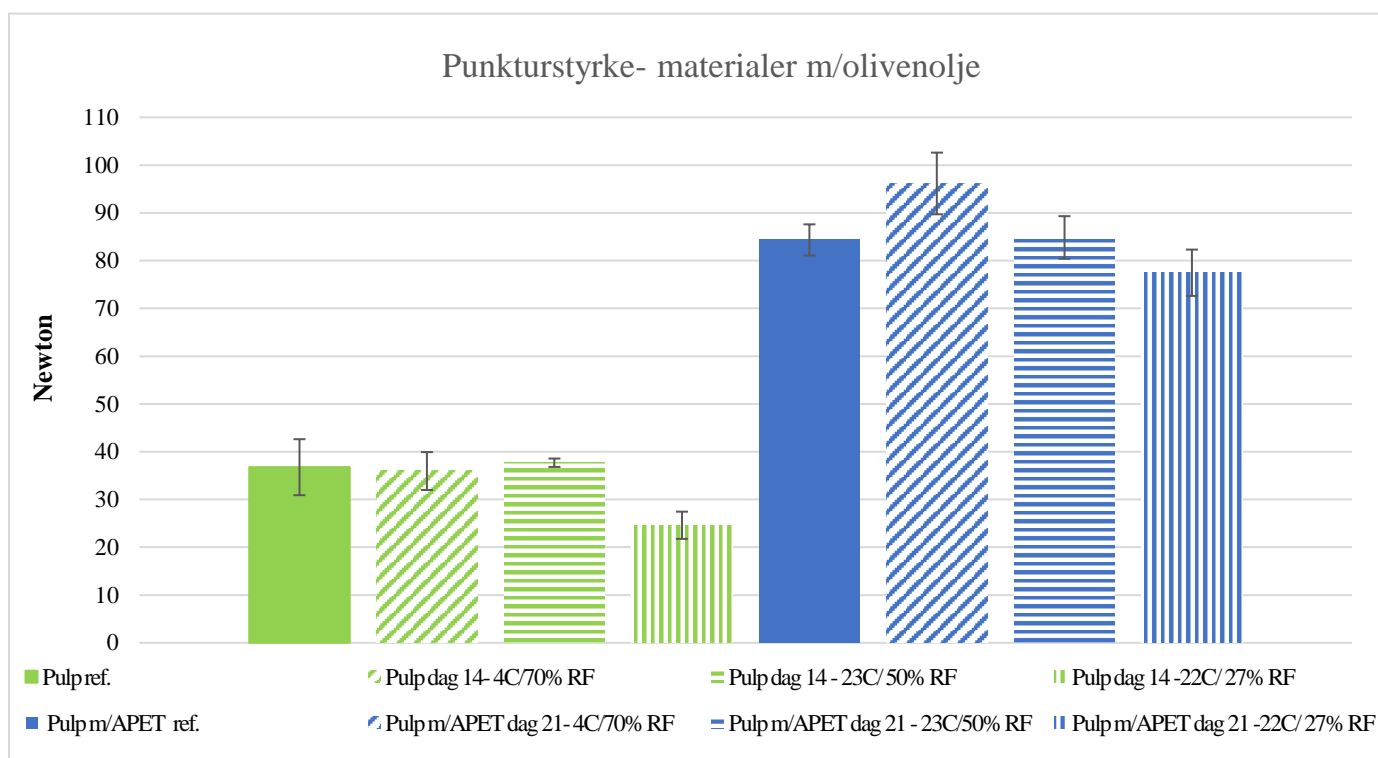
Figur 21 viser at gjennomsnittlig punkturstyrke for Pulp-skålene lagret ved de forskjellige betingelsene var relativt likt, og sammenlignet med referansen hadde alle prøvene en redusert punkturstyrke etter en lagringstid på 21 dager. Pulp m/APET hadde relativt lik punkturstyrke, uansett betingelsene. Sammenlignet med referansen hadde Pulp m/APET økt i punkturstyrke etter en lagringstid på 21 dager. Men, den lave punkturstyrken for Pulp m/APET referansen (84 ± 3 N) skyldes sannsynligvis feil/avvik under målingene. Blant emballasjematerialene

lagret med vann, så hadde Pulp m/APET høyest gjennomsnittlig punkturstyrke ved alle målingene. De ulike lagringsbetingelsene hadde relativ liten effekt på punkturstyrken til emballasjematerialene lagret med vann.



Figur 22. Gjennomsnittlig punkturstyrke i Newton (y-akse)(m/standardavvik) for alle emballasjematerialene bestående av Pulp og Pulp m/APET, etter lagring uten simulant ved de ulike temperatur og relativ fuktighets (RF) betingelsene 4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF i 21 dager. I tillegg til gjennomsnittlig punkturstyrke for referanse av hvert emballasjemateriale

Figur 22 viser at emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET lagret u/simulant ved 4°C/ 70% RF i 21 dager hadde høyest gjennomsnittlig punkturstyrke (N), sammenlignet med de resterende prøvene. Sammenlignet med Pulp referansen, så hadde Pulp-skålene en høyere punkturstyrke uansett lagringsbetingelse. Det samme gjaldt Pulp m/APET skålene, som også hadde høyere punkturstyrke, sammenlignet referansen Pulp m/APET. De ulike lagringsbetingelsene hadde relativ liten effekt på emballasjematerialenes punkturstyrke, spesielt blant Pulp-skålene.



Figur 23. Gjennomsnittlig punkturstyrke i Newton (y-akse)(m/standardavvik) for alle emballasjematerialene bestående av Pulp og Pulp m/APET, etter lagring uten simulans ved de ulike temperatur og relativ fuktighets betingelsene 4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF. Pulp-skålene med olivenolje ble lagret i 14 dager, mens alle Pulp m/APET skåler ble lagret i 21 dager. I tillegg til gjennomsnittlig punkturstyrke for referanse av hvert emballasjemateriale

Figur 23 viser at Pulp lagret i 14 dager m/olivenolje ved betingelsene 4°C/ 70% RF og 23°C/ 50 % RF, hadde relativt lik punkturstyrke som referansen (36,7 N), mens Pulp lagret ved 22°C/ 27% RF hadde lavest punkturstyrke (24,6 N). Pulp m/APET lagret ved 4°C/ 70% RF i 21 dager hadde høyest gjennomsnittlig punkturstyrke (96,2 N), sammenlignet med referansen, samt de andre prøvene. Pulp m/APET lagret ved 22°C/ 27% RF hadde lavest gjennomsnittlig punkturstyrke (77,5%). De ulike lagringsbetingelsene hadde størst effekt på punkturstyrken til Pulp m/APET, sammenlignet med Pulp-skålene.

Blant emballasjematerialene lagret med vann, uten simulans og olivenolje ved de ulike betingelsene, så hadde pulp m/APET høyest gjennomsnittlig resultat av punkturstyrke (N) ved alle målingene. Pulp og Pulp m/APET hadde høyest gjennomsnittlig punkturstyrke blant skåler lagret uten simulans i 21 dager. Pulp hadde lavest gjennomsnittlig punkturstyrke blant skåler lagret med vann, mens for pulp m/APET var det for skåler lagret med olivenolje.

4.1.8 Effekt av variablene; materiale, lagringsbetingelser og simulanter på materialegenskaper (materialtykkelse, punkturstyrke og skålvekt absorpsjon)

Det ble gjennomført en statistisk analyse av generell lineær modell (GLM) for å se på effekten av variabler (materiale, lagringsbetingelser og simulanter) på responser (materialtykkelse, punkturstyrke og skålvekt absorpsjon), og deres samspillseffekter. Resultatene presenteres i Tabell 12. Verdiene i tabellen (Adj SS) beskriver hvor stor andel av resultatene som skyldes en spesifikk effekt på alle responsene.

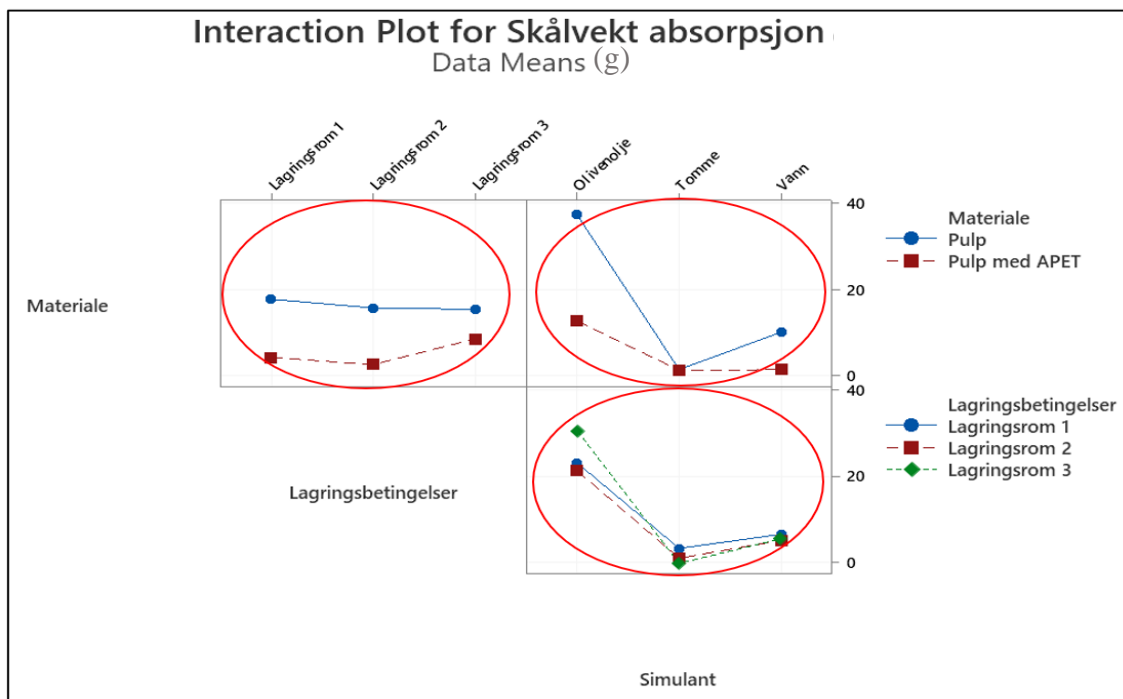
Tabell 12. Resultater av generell lineær modell (GLM) for hovedeffekter og samspillseffekter, i tillegg til Error og R-sq (adj(%)). Variablene i denne analysen var materiale (Pulp og Pulp m/APET), lagringsbetingelser (4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF), og simulant (vann, uten simulant og olivenolje). Verdiene representerer andel forklart varians (Adj SS) i %, og de verdiene som er markert med stjerne (*) viser signifikant effekt (p-verdi ≤ 0,05) med 95% sikkerhet.

	Materialtykkelse	Punkturstyrke	Skålvekt absorpsjon
<i>Materiale</i>	27,22*	62,13*	18,67*
<i>Lagringsbetingelser</i>	1,27	5,57*	1,20*
<i>Simulant</i>	7,46*	0,98	56,71*
<i>Materiale*Lagringsbetingelser</i>	10,84*	1,22	0,69*
<i>Materiale* Simulant</i>	5,05	0,09	14,88*
<i>Lagringsbetingelser*Simulant</i>	0,87	1,86	4,09*
<i>Error</i>	47,30	28,17	3,77
<i>R-sq. (adj)</i>	41,01	66,90	94,65

Tabell 12 viser at emballasjematerialene (Pulp og Pulp m/APET) hadde en signifikant effekt for alle responsene, men mest effekt på punkturstyrken (62,13%). De tre ulike lagringsbetingelsene hadde signifikant effekt på punkturstyrke (5,57%) og skålvekt absorpsjon (1,20%), men effekten på variablene var minimal. Lagring med de forskjellige simulantene hadde signifikant effekt på materialtykkelse og skålvekt absorpsjon, med mest effekt på skålvekt absorpsjon (56,71%). Interaksjonen mellom materiale og lagringsbetingelser er signifikant for materialtykkelse (10,84%) og skålvekt absorpsjon (0,69%). Interaksjonen mellom materiale og simulant er kun signifikant for skålvekt absorpsjon (14,88%), og det samme gjaldt interaksjonen mellom lagringsbetingelser og simulant for skålvekt absorpsjon (4,09%).

Verdiene for R-Square (adjusted) viste at alle modellene, utenom modellen for materialtykkelse (41,0%), var relativt godt egnet. Dette gjenspeiles også i Error, siden denne var høy for materialtykkelse (47,3 %), i forhold til resultatene for punkturstyrke og væsketap.

Alle variablene hadde en signifikant effekt på skålvekt absorpsjonen, vist i Tabell 12 og simulant hadde størst signifikant effekt (56,71%). Samspillet mellom de ulike variablene illustreres i Interaction Plot for skålvekt absorpsjon (g) i Figur 24. Alle rutene er markert med rød ring, som indikerer signifikant interaksjonseffekt. Samspillet mellom *materiale* og *simulant* viste seg å ha størst signifikant interaksjonseffekt (14,88%), som henger godt sammen med at emballasjematerialene håndterte lagringen med de ulike simulantene relativt forskjellig.



Figur 24. Interaction Plot for skålvekt absorpsjon (g). Illustrasjon av samspillseffektene på resultatene. Røde ringer markerer signifikant effekt på variasjonene i resultatene (fra Tabell 12). Lagringsrom 1 er 4°C/70% RF, lagringsrom 2 er 23°C/50% RF og lagringsrom 3 er 22°C/27% RF.

Variablen lagringsbetingelser (4°C/70% RF, 23°C/50% RF og 22°C/27% RF) hadde ikke signifikant effekt på *materialtykkelsen*, men interaksjonen mellom *materiale* og *lagringsbetingelse* hadde en signifikant samspillseffekt (10,84%). Dette understøtter tidligere observasjoner om at *lagringsbetingelsene* hadde en samspillseffekt med *materialene*, siden resultatene fra målingene av materialtykkelse ga store forskjeller blant emballasjematerialene lagret ved hver sin lagringsbetingelse.

4.2 Lagringsforsøket med næringsmidler

Temperaturen på kjølelageret hvor kyllingfileten og storfe ble oppbevart ble kontrollert av to temperaturloggere, og avlest etter lagringsperioden. Temperaturen på kjølerommet som var innstilt på 4°C holdt $4,8^{\circ}\text{C} \pm 0,46^{\circ}\text{C}$, og med en relativ fuktighet (RF) på ca. 68 % gjennom hele lagringsperioden (se Vedlegg 3).

4.2.1 Gassammensetning

Måling av gassammensetningen og kontrollering av pakningene for å detektere lekkasje, ble gjennomført ved å måle oksygen og karbondioksid konsentrasjonen i headspace til pakningene etter de ulike lagringstidene.

Gassmålinger av pakningenes headspace ble utført like etter pakkingen av kyllingfilet, med formålet å kontrollere gassammensetningen ved dag 0, vist i Tabell 13 med oksygen og karbondioksid konsentrasjonen i headspace til kyllingfilet pakningene etter de ulike lagringstidene (0, 5, 8, 11 dager). O₂-konsentrasjonen (ved dag 0) for Pulp-skålene med kyllingfilet var 0,86%, og CO₂-konsentrasjonen var 51,0 %. For referansen APET ble O₂-konsentrasjonen 0,01%, CO₂-konsentrasjonen 53,0%.

Tabell 13. Gjennomsnittlig målinger av O₂(%) og CO₂(%) i headspace til pakninger med kyllingfilet pakket med 60% CO₂/40% N₂, lagret ved 5, 8 og 11 dager. Pakningene ble ansett som statistisk forskjellige ved p-verdier $\leq 0,05$. Forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8, 11 dager) er indikert med store bokstaver i henhold til Tukey test, der ulike bokstaver indikerer at emballeringsmaterialene er signifikant forskjellige

	Lagringstid	Pulp med APET	APET
O ₂ %	0	$0,86 \pm 0,02^*$	$0,01 \pm 0,00^*$
	5	$20,27 \pm 0,04^A$	$0,02 \pm 0,00^C$
	8	$19,84 \pm 0,21^A$	$0,01 \pm 0,00^C$
	11	$17,59 \pm 1,30^B$	$0,12 \pm 0,23^C$
CO ₂ %	0	$51,00 \pm 1,98^*$	$53,00 \pm 0,02_$
	5	$0,03 \pm 0,05^C$	$33,20 \pm 0,74^A$
	8	$0,41 \pm 0,25^C$	$32,90 \pm 0,39^A$
	11	$3,49 \pm 1,39^B$	$32,30 \pm 0,99^A$

*Ble målt for kontroll av rett gassammensetning.

Tabell 13 viser at O₂ innholdet øker allerede etter 5 dagers lagring i pulp m/APET pakningene (>17%), og det kan dermed konkluderes med at disse pakningene ikke var tette. Det var minst O₂ i pulp pakningene (17,59%) som ble lagret i 11 dager, mens for referansen

	Lagringstid	Pulp med APET	APET
O ₂ %	0	0,86 ± 0,02*	0,01 ± 0,00*
	5	20,27 ± 0,04 ^A	0,02 ± 0,00 ^C
	8	19,84 ± 0,21 ^A	0,01 ± 0,00 ^C
	11	17,59 ± 1,30 ^B	0,12 ± 0,23 ^C
CO ₂ %	0	51,00 ± 1,98 *	53,00 ± 0,02_
	5	0,03 ± 0,05 ^C	33,20 ± 0,74 ^A
	8	0,41 ± 0,25 ^C	32,90 ± 0,39 ^A
	11	3,49 ± 1,39 ^B	32,30 ± 0,99 ^A

APET var det mest O₂ i pakningene lagret ved 11 dager (0,12%). Det ble brukt en-veis ANOVA med Tukey test for å se om det var signifikante forskjeller i O₂ konsentrasjonen mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8 og 11 dager). Resultatet viser at det var forskjell i O₂ konsentrasjon mellom emballasjematerialene og alle lagringstidene.

Under forberedelsene til lagringsforsøket med kyllingfilet ble OTR målt for emballasjematerialene, se Tabell 8. APET hadde 0,31 ± 0,04 (O₂/pkn/døgn) og Pulp m/APET hadde 0,39 ± 0,05 ml (O₂/pkn/døgn) ved 0% RF lagret ved 4°C. OTR resultatet viser at det ikke var store forskjeller mellom emballasjematerialene. Konsentrasjonen av O₂ i headspace til Pulp pakningene, som ble redusert i løpet av lagringsperioden kan knyttes til enkelte bakteriers metabolisme, hvor de forbruker oksygen (Pettersen & Hansen, 2012).

Ut ifra gassmålingene av CO₂ konsentrasjonen i headspace til pulpskålene pakket med 60% CO₂ og 40% N₂, vises tydelig at det var lekkasje, siden konsentrasjonen sank til 0,03% etter en lagringstid på 5 dager. CO₂ konsentrasjonen i headspace til APET pakningene sank til <32% for APET etter 5 dagers lagringstid. Årsaken kan knyttes til at CO₂ løste seg opp i kyllingfiletens overflate til metningspunktet var nådd (Hansen et al., 2009). Ifølge studier av

Hansen et al (2009) og Pettersen & Hansen (2012) ble det rapportert reduksjon i CO₂-konsentrasjonen i headspace fra 60% (rett etter pakking ved dag 0) til 40% etter kun få dager.

Gassmålinger av pakningenes headspace ble utført like etter pakkingen av ytrefilet av storfe. Tabell 14 viser at O₂ -konsentrasjonen ved dag 0 for Pulp var 3,04 % og CO₂-konsentrasjonen var 45,0%. For APET (ref.) var O₂-konsentrasjonen 0,01 %, CO₂-konsentrasjonen 51%. Resultatet fra kontrollmålingene antyder lekkasje for Pulp-skålene, siden O₂-konsentrasjonen var >1%. Målingene av gassammensetningen av pakningene med ytrefilet av storfe ved de ulike lagringstidene (5, 8 og 12 dager) er presentert i Tabell 14.

En-veis ANOVA med Tukey test ble brukt på resultatene av CO₂ konsentrasjonen i headspace, for å se om det var forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8, 11 dager). Resultatet er presentert i Tabell 14, som viser at det var signifikante forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene.

Tabell 14. Gjennomsnittlig målinger av O₂(%) og CO₂(%) i headspace til pakninger med ytrefilet av storfe pakket med 60% CO₂/40% N₂, lagret ved 5, 8 og 11 dager. Pakningene ble ansett som statistisk forskjellige ved p-verdier ≤ 0,05. Forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8, 11 dager) er indikert med store bokstaver i henhold til Tukey test, der ulike bokstaver indikerer at emballeringsmaterialene er signifikant forskjellige.

	Lagringstid	Pulp med APET	APET
O₂ %	0	3,04 ± 0,63*	0,01 ± 0,00*
	5	19,86 ± 0,12 ^A	0,02 ± 0,01 ^C
	8	16,80 ± 1,29 ^{AB}	0,00 ± 0,00 ^C
	12	13,65 ± 4,53 ^B	0,00 ± 0,00 ^C
CO₂ %	0	45,03±1,80*	51,00 ± 0,17*
	5	0,39 ± 0,13 ^C	38,00 ± 0,76 ^A
	8	4,71 ± 1,57 ^B	38,66 ± 0,54 ^A
	12	8,43 ± 5,41 ^B	38,62 ± 0,32 ^A

*Ble kun målt for kontroll for rett gassammensetning.

Tabell 14 viser at O₂-innholdet i Pulp pakningene var høyt allerede etter 5 dager lagring (19,86%). For referansen APET var O₂-konsentrasjonen i headspace ≤0,02 % for alle

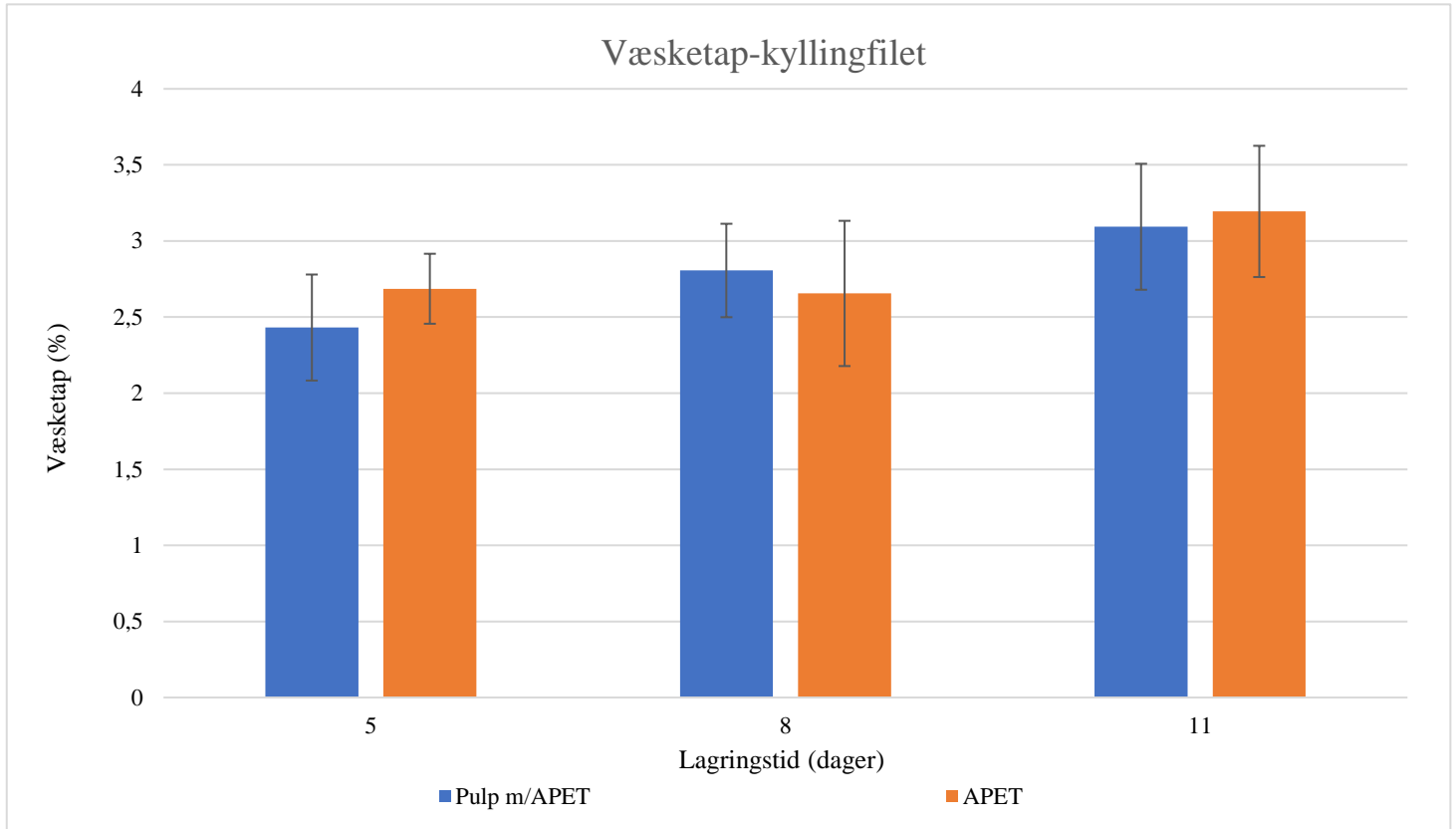
lagringstidene, og det konkluderes med at ingen av pakningene hadde lekkasje. En-veis ANOVA med Tukey test ble brukt for å se om det var forskjeller mellom emballasjematerialene og de like lagringstidene. Resultatet viser at det var signifikant forskjell mellom lagringstidene 5 og 12 for Pulp m/APET. Det var signifikante forskjeller i O₂ og CO₂ -konsentrasjonene mellom emballasjematerialene og alle lagringstidene.

På lik linje med målingene av O₂ konsentrasjonen i headspace til Pulp m/APET med kyllingfilet, så var det også en liten reduksjon av O₂ i headspace til Pulp m/APET gjennom lagringsperioden. Reduksjonen kan være i sammenheng med at enkelte bakterier bruker oksygen i sin metabolisme (Pettersen & Hansen, 2012).

CO₂- konsentrasjonen i headspace til referansen APET pakket med 60% CO₂ og 40% N₂, sankt til <40%. Mens, for Pulp m/APET sank konsentrasjonen i headspace fra 60% til 0,39% ved dag 5, mens ved lagringstid 8 var CO₂-konsentrasjonen i headspace økt til 8,43. Denne observasjonen kan være knyttet til teorien ifra Jacobsen & Bertelsen (2003) om at mikrobiell- og kjøttmetabolisme kan forårsake små endringer i gassammensetningen ved å konsumere O₂ og produsere CO₂.

4.2.2 Væsketap

Væsketapet ble målt i alle emballasjematerialene rett etter at kyllingfiletene og yrefiltene ble tatt ut. Gjennomsnittlig væsketap og standardavvik for lagringstiden av kyllingfiletene på totalt 11 dager ved 4°C er vist i Figur 25.



Figur 25. Gjennomsnittlig væsketap i prosent (y-akse), og standardavviket for alle emballasjematerialene (Pulp og Pulp m/APET) gjennom lagringstiden (X-akse) på 12 dager lagret ved 4°C.

Væsketapet økte gjennom lagringsperioden for pulp m/APET og referansen APET med væskeabsorber. Men, etter en lagringstid på 11 dager så var det var pulp m/APET som hadde noe mindre væsketap (3,09 %), sammenlignet med referansen APET (3,19%). Det ble utført en en-veis ANOVA med Tukey test på resultatene for væsketap for å se om det var forskjeller mellom pakningene og lagringstidene. Resultatene er presentert i Tabell 15 som viser at det var ingen signifikante forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene 5, 8 og 11 dager.

Tabell 15. Resultat av gjennomsnittelig væsketap (%) for emballasjematerialene lagret med kyllingfilet ble ansett som statistiske forskjellige ved p-verdier $\leq 0,05$. Forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8 og 11 dager) er markert med store bokstaver på bakgrunn av en-veis ANOVA og Tukey test. Forskjellige bokstaver indikerer at emballasjematerialene er signifikant forskjellige.

Lagringstid (dager)	Pulp m/APET	APET
5	B	AB
8	AB	AB
11	A	A

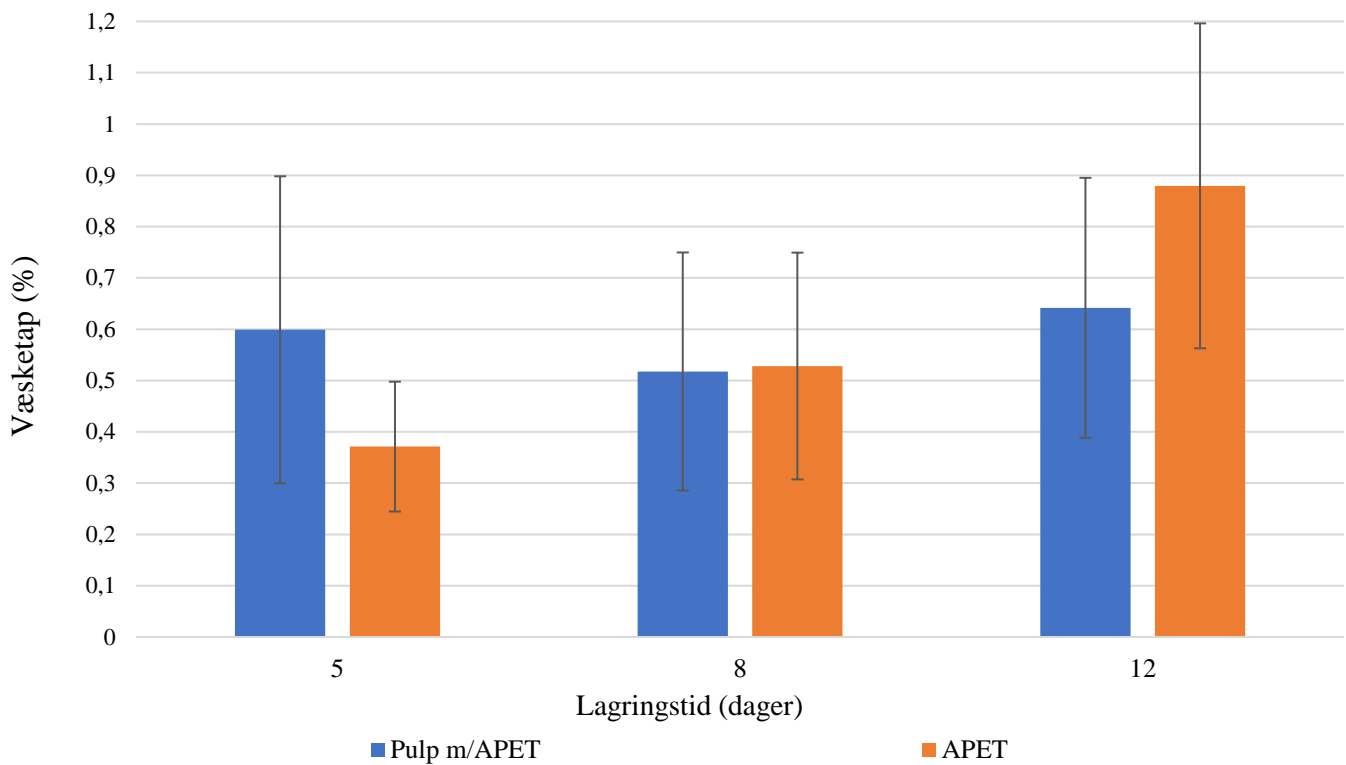
Det er naturlig for kyllingfilet at det vil forekomme væsketap under lagring, siden kylling har et høyt vanninnhold (Holck et al., 2014; Pettersen et al., 2020; Pettersen & Hansen, 2012). Det har blitt antydnet at kjøtt, når det utsettes for CO₂, vil føre til et økt væsketap, og en av mekanismene kan skyldes reduksjon av pH ved tilstedeværelse av CO₂ (Jakobsen & Bertelsen, 2002). Imidlertid ble ikke effekten av CO₂ undersøkt i denne oppgaven, men teorien sier at høyt CO₂-nivå i emballasjeatmosfæren kan ha innvirkning på væsketapet, siden CO₂ oppløser seg i kjøttet. Det medfører at pH senkes, og ved lavere pH reduseres kjøttets vannbindingsevne.

Pettersen et al (2014) rapporterte negativ korrelasjon mellom CO₂-innholdet og væsketap av reinsdyrkjøtt, mens en studie av Renerre (1990) ble det rapportert en økning i væsketap av modifisert atmosfære pakket biffkjøtt med økende CO₂-konsentrasjon (Renerre, 1990). I dette tilfellet kan det antyde at CO₂-nivået i emballasjeatmosfæren ikke hadde noe innvirkning på væsketapet. Siden pulp m/APET pakningene med lav CO₂-konsentrasjon i headspace (*se*

Det målte væsketapet i pakningene med en væskeabsorber var 2,8 % for pulp m/APET og 2,6% for APET etter 8 dager, men sammenlignet med andre studier av Pettersen et al. (2017) og Holck et al. (2014) ble det rapportert 1,5% væsketap etter 8 dagers lagring, som økte til omtrent 2,5% etter 20 dagers lagring for kyllingfileter lagret i 60% CO₂ / 40% N₂ (Holck et al., 2014; Pettersen et al., 2017). Med andre ord var det et relativt høyt væsketap for emballasjematerialene med kyllingfilet, selv med tilsatt væskeabsorber, bare etter noen få dager.

Gjennomsnittlig resultat og standardavviket for væsketap (%) av pakningene med ytrefilet av storfe er presentert i Figur 26 for lagringstiden på 12 dager ved 4°C.

Væsketap - ytrefilet av storfe



Figur 26. Gjennomsnittlig væsketap i prosent (y-akse), og standardavviket for emballasjematerialene (Pulp og Pulp m/APET) gjennom lagringstiden (X-akse) med kyllingfilet på 12 dager lagret ved 4°C.

Pulp m/APET pakningene med storfe hadde relativt likt væsketap gjennom lagringstiden på 12 dager, men standardavviket viser at det var store variasjoner mellom prøvene innenfor samme lagringstid. Væsketapet blant APET pakningene steg gjennom lagringsperioden, og var høyest ved lagringstid 12 ($0,88 \pm 0,5\%$), men det er viktig å poengtere at standardavviket viser store variasjoner mellom prøvene innenfor samme lagringstid. Væsketapet var som forventet generelt høyere i pakningene lagret med lenger lagringstid. Utseendemessig var det ikke mye synlig væske i bunnen av emballasjepakningene, selv uten tilsatt væskeabsorber.

Tabell 16. Resultat av gjennomsnittelig væsketap (%) for emballasjematerialene lagret med ytrefilet av stofe ble ansett som statistiske forskjellige ved p-verdier $\leq 0,05$. Forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8 og 11 dager) er markert med store bokstaver på bakgrunn av en-veis ANOVA og Tukey test. Forskjellige bokstaver indikerer at emballasjematerialene er signifikant forskjellige.

Lagringstid (dager)	Pulp m/APET	APET
5	AB	B
8	AB	AB
12	AB	A

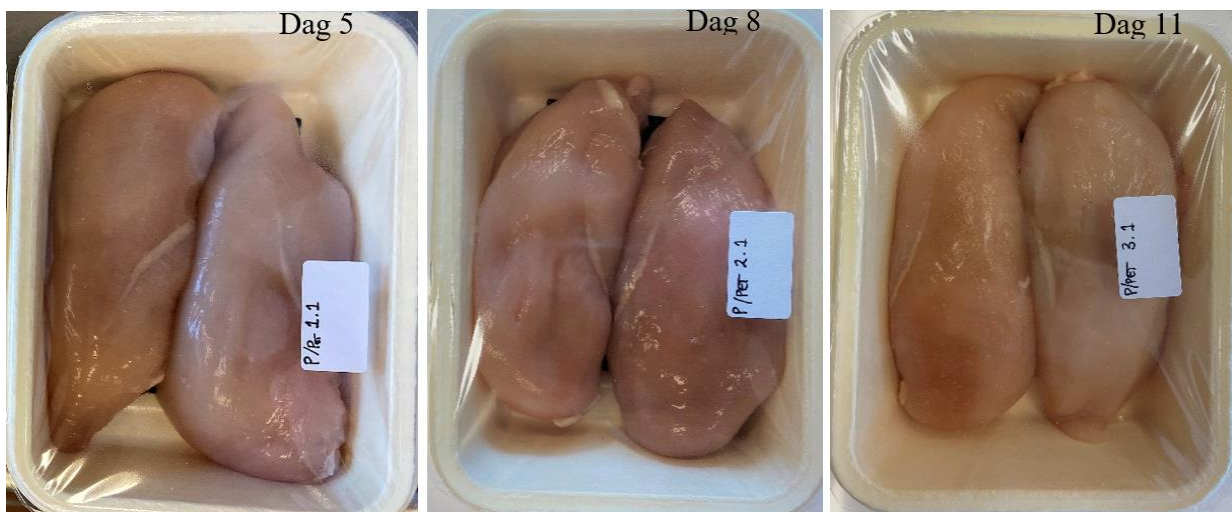
Tabell 16, var det ingen signifikante forskjeller på væsketapet mellom emballasjematerialene og de ulike lagringstidene. For referansen APET var det signifikante forskjeller mellom lagringstid 5 og 12. Gjennomsnittlig væsketap for begge emballasjematerialene uten tilsatt væskeabsorber var under 1% etter 12 dagers lagring ved 4°C. Denne observasjonen ble også funnet i en studie av Pettersen et al. (2017) hvor det ble rapportert at væsketapet i kyllingfilet pakninger uten absorber var relativt stabilt under lagring, og målt til å være under 1% under lagringen i alle prøvene, unntatt etter 20 dagers lagring i CO₂ / N₂ atmosfære. Det kan tyde på mengden mono-APET($\leq 10\%$) film i Pulp skålene uten tilsatt væskeabsorber, var tilstrekkelig for å unngå at materialet trakk til seg fuktighet, under lagring med ytrefilet av storfe.

Det visuelle utseende er et viktig kriterium forbrukerne har ved valg av kjøttprodukt i butikken. I den sammenheng er synlig væsketap i pakningene, samt kjøttfarge to viktige faktorer ved valg av produkt. For å opprettholde et attraktivt produktutseende, og for å unngå reduksjon av sensorisk kvalitet som saftighet, er det viktig å minimere væsketapet under lagring. Ifølge McMillin (2008) minimeres væsketapet ved redusert eksponert overflateareal, og langsgående skjæring av muskelfibrene.

Det ble observert i denne studien at det var ingen signifikant forskjell i væsketap mellom emballasjematerialene lagret med både kyllingfilet og ytrefilet av storfe og de ulike lagringstidene.

4.2.3 Utseende observasjoner

Etter endt lagringstid ble utseende for emballasjepakningene med kyllingfilet og ytrefilet av storfe observert. Observasjonene ble gjort for å se hvorvidt tilgangen på oksygen i emballasjematerialet Pulp m/APET påvirket fargen på kjøttproduktene, sammenlignet med referansen APET. Utseende til kyllingfilet lagret i Pulp m/APET med væskeabsorber ved hver uttaksdag er vist i Figur 27, og utseende til kyllingfilet lagret i referansematerialet APET er vist i Figur 28. Ytrefilet av storfe lagret i Pulp m/APET uten væskeabsorber er presentert Figur 29. En sammenligning mellom emballasjematerialene (Pulp m/APET og ref.) med ytrefilet av storfe etter 5 dagers lagring er illustrert i Figur 30.



Figur 27. Pulp m/APET pakninger med 60% CO₂/40% N₂, og en væskeabsorber som ble lagret i 5, 8 og 11 dager.



Figur 28. Pakninger av referansen APET med 60% CO₂/40% N₂, og en væskeabsorber som ble lagret i 5, 8 og 11 dager.

Kjøttets farge er et av de viktige kriteriene for aksept av ferskt kjøtt hos forbrukerne. Det er velkjent at sammensetningen av emballasjegassen og tilstedeværelsen av O₂ har en påvirkning på kjøttets farge (Abdalahi et al., 2014; Jakobsen & Bertelsen, 2000). Høye oksygenivåer benyttes fremdeles i emballasje til kyllingbryst til tross for at produktene har lave nivåer av myoglobin, men pga. dannelse av oksymyoglobin antas oksygen å gi kyllingkjøtt en mer attraktiv farge (Pettersen & Hansen, 2012).

Pulp m/APET pakningene med kyllingfilet, vist i Figur 28, ble eksponert for luft pga. lekkasje, som ga kyllingfiletene først en rosa farge. Men, med tiden en gråaktig og blek utseende, som så udelikat ut. Etter 11 dagers lagring var overflaten til kyllingfiletene dekket av hvite prikker, som er en indikasjon på bedervelse. Sammenlignet med kyllingfiletene lagret i referansen APET ble fargen på kjøttet lilla. Dette skyldes trolig en anaerob tilstand, hvor metmyoglobin kan reduseres til deoksymyoglobin, som gir en lilla farge på kjøttet (Jakobsen & Bertelsen, 2000). Det ble ikke utført farge analyse på kjøttprøvene i denne studien, så kommentarene på kjøttfargen er kun av ren observasjon.

En av de viktigste faktorene som påvirker kjøtt fargen under lagring og distribusjon er gassatmosfæren rundt kjøttet, og tilstedeværelse av oksygen i pakningene kan være uheldig for å opprettholde kvalitet og fargestabilitet over tid, og fjerne luft fra emballasjen er tydelig fordelaktig (Pettersen et al., 2013). Dette er demonstrert i Figur 29, hvor Pulp m/APET pakninger ble eksponert for oksygen, og lagret ved 4°C over en tidsperiode opptil 12 dager. APET (ref.) pakningene med ytrefilet av storfe er vist i Vedlegg 7.



Figur 29. Pulp m/APET pakninger med 60% CO₂/40 % N₂, uten væskeabsorber som ble lagret i 5, 8 og 11 dager.

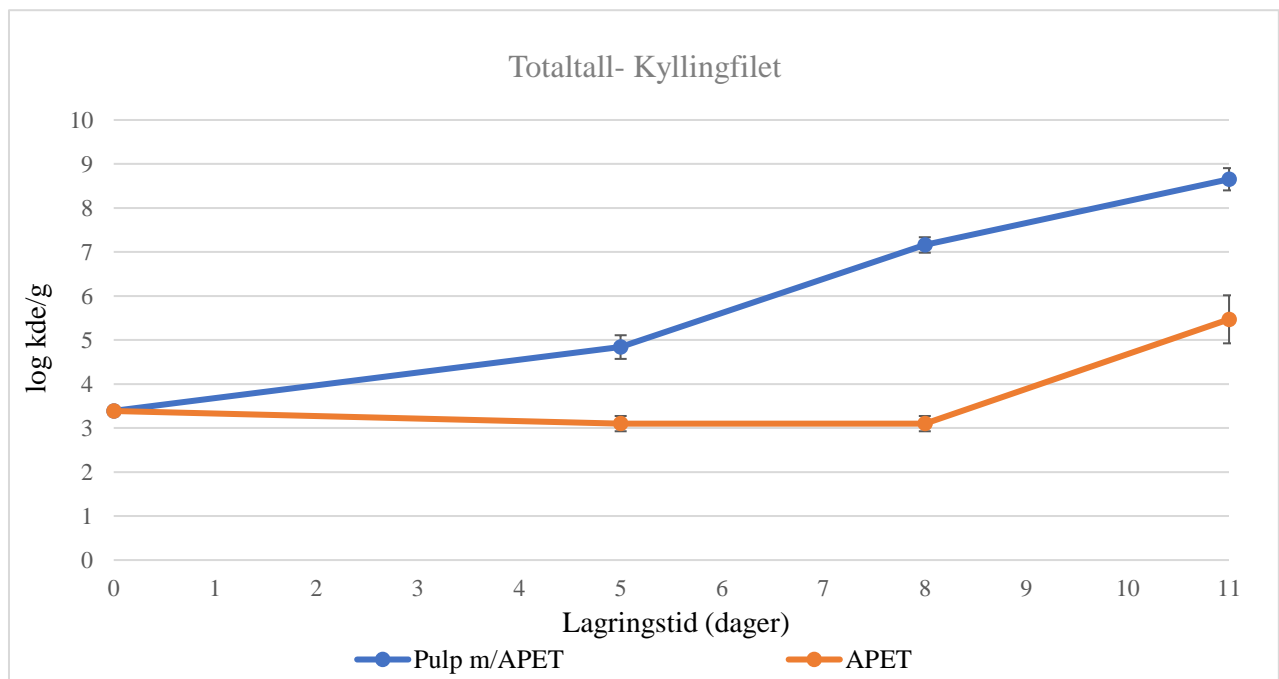


Figur 30. Referansen APET (t.h.) og Pulp m/APET (t.v.) lagret i 5 dager ved 4°C. (Foto: privat)

En tydelig illustrasjon av hvordan tilgang på oksygen kan påvirke fargen på kjøttet er vist i Figur 30. Disse resultatene er i samsvar med hva som kan forventes. Når oksygen blir bundet til proteinet myoglobin i musklene, blir den resulterende forbindelsen kalt oksymyoglobin, hvor jernionet ikke endrer tilstand, men gir kjøttet en klar rødfarge. Mens, fravær av O₂ fører til en deoksymyoglobin tilstand, altså den reduserte formen av myoglobin (Fe²⁺), som resulterer i lilla farge som er vist for APET pakningen (Jakobsen & Bertelsen, 2000).

4.2.4 Mikrobiologisk analyse

En av de viktigste faktorene for å bestemme kvaliteten og holdbarheten til ferske produkter som kylling, er det mikrobielle innholdet og typen bakterier som er til stedet. Totaltall (aerobt) ble analysert av produktene etter at de ble lagret i ulike lagringstider. Resultatet for totalantall bakterier av kyllingfilet gjennom lagringsperioden på 11 dager er presentert i Figur 31, og resultatet for ytrefilet av storfe gjennom lagringsperioden på 12 dager er vist i Figur 32.



Figur 31. Totaltall (log kde/g)(m/standardavvik) i kylling pakningene av Pulp m/APET og referansen APET etter ulike lagringstider (5,8 og 11 dager). Emballasjepakningene hadde gassammensetningen 60%CO₂/ 40% N₂ og g/p -forholdet 1.

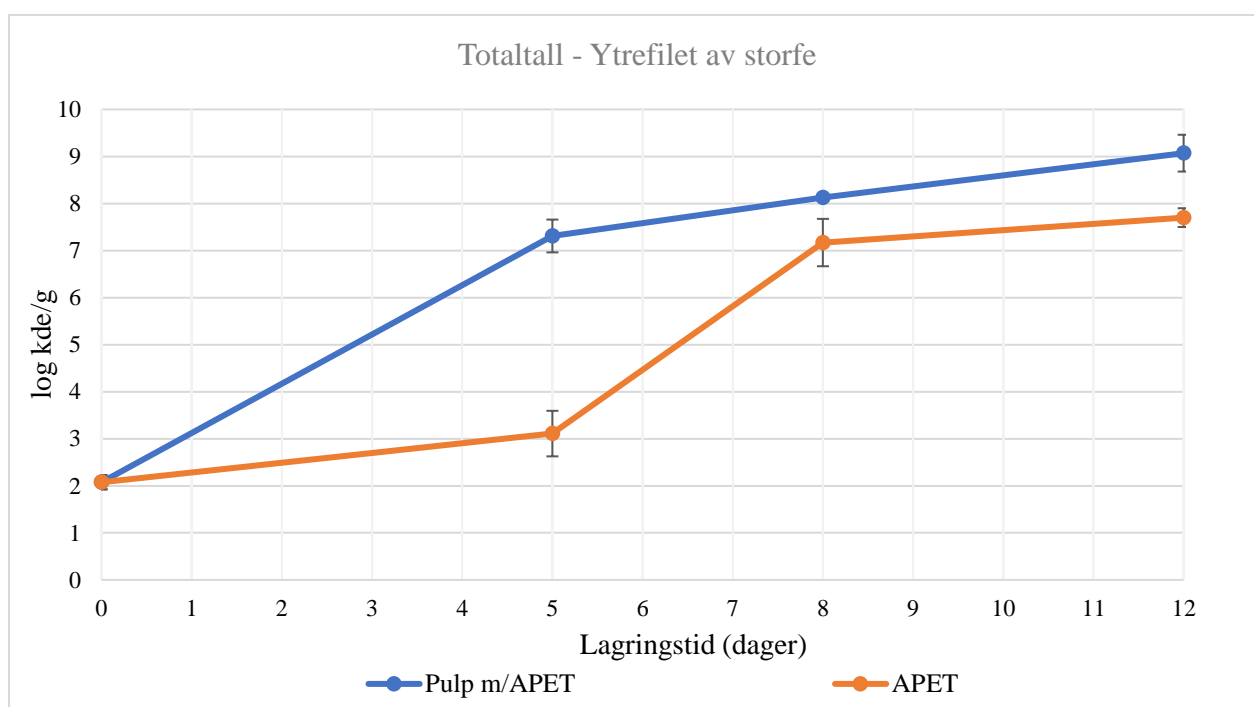
På pakkedagen (dag 0) ble totaltall analysen utført på tre ferske kyllingfileter for kontroll av utgangspunktet, og resultatet ble 3,39 log kde/g. Totaltallet økte, som forventet, under lagringsperioden for Pulp m/APET pakningene. Et totaltall på 7 log kde/g er blitt ansett som grenseverdi for den mikrobiologiske holdbarheten til kyllingfilet i en studie av Balamatsia et al. (2007). Etter lagringstiden på 8 dager hadde Pulp m/APET pakningene over log 7 kde/g. Derimot, referansen APET hadde etter lagringsperioden på 11 dager, fremdeles under 6 log kde/g. Resultatet for Pulp m/APET kan ikke sammenlignes pga. lekkasjen, men relateres til studien til McMillin (2008), som fant ut at kjøtt pakket i atmosfærer med høy oksygen konsentrasjon (70-80% O₂, 30-20% CO₂) resulterte i kortere holdbarhet sammenlignet med vakuumballasje og emballasje med høy CO₂- konsentrasjon (McMillin, 2008).

For å avdekke forskjeller mellom emballasjematerialene ble en-veis ANOVA og Tukey test brukt på resultatene fra TVC, og presentert i Tabell 17.

Tabell 17. Emballasjematerialene Pulp m/APET og referansen APET ble ansatt som statistiske forskjellige ved p -verdier $\leq 0,05$. I henhold til en-veis ANOVA og Tukey test er forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5,8 og 11 dager) indikert med store bokstaver.

Lagringstid (dager)	Pulp m/APET	APET
5	D	E
8	B	E
11	A	C

Resultatene viser at var signifikante forskjeller i bakterietall mellom emballasjematerialene og de ulike lagringstidene. Resultatene i denne studien er i samsvar med det som ble rapportert i studien av Pettersen et al. (2011) hvor det tradisjonelle materiale (APET/PE) ga den beste beskyttelsen når det gjaldt bakterievekst blant laksefilet. Et relativt høyt nivå (log 6 kde/g) av totaltall ble også oppdaget etter henholdsvis 9 dager og 14 dager for laksefileter lagret i biomaterialer (PLA-basert og stivelses-basert materialer) og tradisjonelle materialer (Pettersen et al., 2011). I henhold til studien til Pettersen et al. (2017) ble det avdekket via mikrobiologiske analyser med bl.a. totaltall av kyllingfilet under lagring, at bakterieveksten var uavhengig av gassammensetningen i pakningene Men, i denne studien for ref. APET, kan det tyde på at vekstraten til bakterier generelt ble hemmet ved en høyere konsentrasjon av CO₂.



Figur 32. Totaltall (log kde/g)(m/standardavvik) i ytrefilet av storfe pakningene av Pulp m/APET og referansen APET etter ulike lagringstider (5,8, og 12 dager) Pakningene hadde gassammensetningen 60%CO₂/ 40% N₂ og g/p-forholdet 1.

På pakkedagen (dag 0) ble totaltall analysen utført på tre ferske ytrefilet av storfe for kontroll av utgangspunktet, og gjennomsnittlig resultatet ble 2,08 log kde/g. Totaltallet økte, som forventet, under lagringsperioden for Pulp m/APET pakningene. Bakterien *Carnobacterium divergens* ble detektert blant prøvene etter uttaksdag 5, ved å bruke en annen mikrobiologisk analyse. Denne bakterien er i slekt med melkesyrebakterier og dominerer ofte modifisert atmosfærepakket kjøtt (Laursen et al., 2005). Mest sannsynlig utgjorde denne bakterien hoveddelen av TVC analysene.

Det ble brukt en-veis ANOVA med Tukey test for å se om det var forskjeller i bakterietall mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5, 8, og 12 dager) presentert i Tabell 18.

Tabell 18. Emballasjematerialene Pulp m/APET og referansen APET ble ansatt som statistiske forskjellige ved p-verdier $\leq 0,05$. I henhold til en-veis ANOVA og Tukey test er forskjeller mellom emballasjematerialene og lagringstidene (5,8 og 11 dager) indikert med store bokstaver.

Lagringstid (dager)	Pulp m/APET	APET
5	C	D
8	B	BC
12	A	BC

Resultatene viser at det var signifikante forskjeller i bakterietall mellom emballasjematerialene og lagringstid 5 og 12, men ingen signifikante forskjeller i bakterietallet ved lagringstid 8. Etter en lagringsperiode på 12 dager var bakterietallet for Pulp m/APET pakninger på 9,07 log kde/g, og for APET (ref.) var bakterietallet på 7,70 log kde/g. Det var forventet at det ville være større bakterievekst blant kjøttet i Pulp m/APET pakningene, som var eksponert for luft, sammenlignet med APET (ref.) pakningene med CO₂/ N₂ atmosfære.

Det var ikke forventet at totalantall bakterier var 7,70 log kde/g for APET pakningene etter bare 12 dager. I henhold til en studie av Pettersen et al. (2014) ble det rapportert 5,5 log kde/g for reinsdyrkjøtt pakket i APET/polyetylen(PE) skåler med gassammensetningen 60% CO₂/ 40% N₂ etter 21 dager. I denne studien ble det i tillegg rapportert et høyt nivå av melkesyrebakterier, som sannsynligvis utgjorde hoveddelen av TVC. Det ble ikke utført spesifikke bakterieanalyser av melkesyrebakterier i denne studien, men sannsynligvis kan det være årsaken til det høye totalantall bakterier for storfeprøvene lagret i APET. Melkesyrebakterier er ofte en dominerende del av mikrofloraen til kjølelagrede kjøtt under anaerobe betingelser (Adams et al., 2015)

5. Konklusjon

Ved målingene av oksyngjennomgang (OTR), lekkasjetest og material-testing med simulanter, ble det observert at emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET ikke var tette. Dette skyldtes trolig mikroskopiske hull i emballasjematerialene, som forårsaket lekkasje. Pulp med et mono-APET film hadde bedre evne til å motstå vannabsorpsjon (lavere Cobb-verdi) og oljeabsorpsjon under lagring ved de ulike betingelsene, sammenlignet med Pulp. Material-testing med olivenolje viste at Pulp ikke er egnet til emballering av matvarer med høyt fettinnhold, pga. materialets høye oljeabsorpsjon, som medførte i en redusert mekanisk styrke.

Blant emballasjematerialene hadde Pulp m / APET høyest gjennomsnittlig materialtykkelse og punkturstyrke ved alle målingene etter lagring med simulanter(vann, olivenolje og u/simulant), uansett lagringsbetingelse. I den statistiske analysen generell lineær modell (GLM) ble det vist at variabelen «emballasjemateriale»(Pulp og Pulp m/APET) hadde signifikant effekt på de målte materialeegenskapene; materialtykkelse, punkturstyrke og skålvekt absorpsjon, men mest effekt på punkturstyrken.

Emballering av kyllingfilet og storfe i modifisert atmosfære (60% CO₂/ 40% N₂) i Pulp m/APET skåler, viste å ha dårlig effekt på matkvaliteten til kyllingfilet og ytrefilet av storfe under lagring ved 4°C, sammenlignet med referansen (APET). Pulp m/APET var signifikant forskjellig fra referansen APET for alle målingene av gassammensetningen for oksygen- og karbondioksid i headspace. Pulp m/APET var også signifikant forskjellig fra referansen for den mikrobiologiske analysen av totalantall bakterier, for kyllingfilet og storfe. Imidlertid ble det ikke vist signifikante forskjeller mellom emballasjematerialene på væsketapet for kyllingfilet og ytrefilet av storfe. Dette kan tyde på at gassammensetningen i Pulp m/APET pakningene ikke hadde en innvirkning på væsketapet til både kyllingfilet og storfe.

Det kan konkluderes med at de cellulosebaserte materialene, Pulp og Pulp m/APET, ikke er egnet til emballering av ferske kjøttprodukter, ettersom det ble avdekket at materialene ikke var tette. Slik det foreligger nå bidrar ikke de testede cellulosebaserte pulpmaterialene med å forbedre matkvalitet, men kan i stedet føre til mer matsvinn, sammenlignet med emballering i konvensjonelt plastmateriale. Cellulosebasert emballasjematerialer har potensiale, men krever optimalisering for å kunne være egnet til ferske matvarer. Pulp uten belegg/coating er kanskje mest egnet til tørre matprodukter.

6. Forslag til videre arbeid

Resultatene fra denne studien ga nyttig informasjon om hvilke endringer som kan gjøres i fremtiden med cellulosebaserte emballasjematerialer. Skal cellulosebaserte pulpmaterialer benyttes til emballering av næringsmidler i fremtiden, så må produksjonsprosessen for skålene optimaliseres, slik at skålene ikke lenger har mikroskopiske hull.

Til videre arbeid basert på dette studiet kan det være interessant å utføre flere målinger av materialegenskaper, for eksempel testing med flere simulanter, slik som eddiksyre (acetic acid). For å undersøke materialegenskaper i kontakt med en simulant med lav pH.

Til videre arbeid kan det også være interessant å utføre flere og mer omfattende lagringsforsøk med kyllingfilet og storfe, men også andre typer kjøtt og sjømat. Med for eksempel forskjellige g/p-forhold, tilsette emitter/absorbere og pakke i modifisert atmosfære med ulike gassammensetninger. Det kan også være interessant å utføre flere analyser under lagringsforsøket, slik som fargemålinger og mikrobiologiske analyser, for eksempel melkesyrebakterier.

7. Referansliste

- Abdalahi, M. H., Bashari, M., Lagnika, C., He, Q. & Sun, X. (2014). Effect of Ultrasound Treatment Prior to Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on Microbial and Physical Characteristics of Fresh Beef. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(6), 312-320. <http://pubs.sciepub.com/jfnr/2/6/8>
- Adams, M. R., Moss, M. O. & McChire, P. J. (2015). *Food Microbiology*. The royal Society of Chemistry
- Ahmed, S. (2018). *Bio-based Materials for Food Packaging*. Springer, Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-1909-9>
- Balamatsia, C. C., Patsias, A., Kontominas, M. G. & Savvaidis, I. N. (2007). Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes. *Food Chemistry*, 104(4), 1622-1628. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.013>
- Ballesteros, L. F., Michelin, M., Vicente, A. A., Teixeira, J. A. & Cerqueira, M. Â. (2018). Use of Lignocellulosic Materials in Bio-based Packaging. I *Lignocellulosic Materials and Their Use in Bio-based Packaging* (s. 65-85). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92940-8_5
- Banik, G. & Brückle, I. (2010). Principles of Water Absorption and Desorption in Cellulosic Materials. 31(3-4), 164-177. <https://doi.org/doi:10.1515/rest.2010.012>
- Butkinaree, S., Jinkarn, T. & Yoksan, R. (2008). Effects of Biodegradable Coating on Barrier Properties of Paperboard Food Packaging. *J. Met. Mater. Miner.*, 18.
- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A. & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>
- Célino, A., Freour, S., Jacquemin, F. & Casari, P. (2013). 'The hygroscopic behavior of plant fibers: A review'. *Frontiers in chemistry*, 1, 43. <https://doi.org/10.3389/fchem.2013.00043>
- CEN (2014). Bio-based products <https://www.cen.eu/work/areas/chemical/biobased/pages/default.aspx>
- Chami Khazraji, A. & Robert, S. (2013). Interaction Effects between Cellulose and Water in Nanocrystalline and Amorphous Regions: A Novel Approach Using Molecular Modeling. *Journal of Nanomaterials*, 2013, 409676. <https://doi.org/10.1155/2013/409676>
- Conte, C., Monteiro, M., Patrícia, R., Marsico, E., Lopes, M., Alvares, T. & Borges, S. (2020). The Effect of Different Packaging Systems on the Shelf Life of Refrigerated Ground Beef. *Foods*, 9, 495. <https://doi.org/10.3390/foods9040495>
- Dalberg Advisors, Wijnand de Wit & Bigaud, N. (2019). No plastic in nature: Assessing plastic ingestion from nature to people *World Wide Fund for Nature (WWF)*. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/plastic_ingestion_web_spreads.pdf
- David, G., Gontard, N. & Angellier-Coussy, H. (2019). Mitigating the Impact of Cellulose Particles on the Performance of Biopolyester-Based Composites by Gas-Phase Esterification. *Polymers*, 11(2), 200. <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/2/200>
- Davies, G. C. & Bruce, D. M. (1998). Effect of Environmental Relative Humidity and Damage on the Tensile Properties of Flax and Nettle Fibers. *Textile Research Journal*, 68(9), 623-629. <https://doi.org/10.1177/004051759806800901>
- Didone, M., Saxena, P., Brillhuis-Meijer, E., Tosello, G., Bissacco, G., Mcaloone, T. C., Pigozzo, D. C. A. & Howard, T. J. (2017). Moulded Pulp Manufacturing: Overview

- and Prospects for the Process Technology. *Packaging technology and science*, 30(6), 231-249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.2289>
- EEA. (2020). Biodegradable and compostable plastics -challenges and opportunities. <https://www.eea.europa.eu/downloads/3efc70dca95446918fd9f7b6df2224dc/1617706609/biodegradable-and-compostable-plastics-challenges.pdf>
- Eie, T. (2007). *Emballering av næringsmidler bind 1 & 2: Innføring i emballasje- og emballeringsteknologi*. Matforsk.
- Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. (2009). *Pulp and Paper Chemistry and Technology. : Volume 2, : Pulping Chemistry and Technology* (Bd. Volume 2). De Gruyter.
- Ellen MacArthur Foundation & New Plastic Economy. (2017). The new plastics economy: rethinking the future of plastics & catalysing action. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid_English_22-11-17_Digital.pdf
- Emblem, H. & Emblem, A. (2012). *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*. Cambridge: Elsevier Science & Technology.
- European Bioplastics e.V. (2018). What are bioplastics? https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_What_are_bioplastics.pdf
- European Commission. (2004). *General legislation- The framework Regulation*. https://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety/food_contact_materials/legislation_enW
- European Commission. (2009). *EU Guidance to the Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into the contact with food*. https://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety/food_contact_materials_en
- Farah, S., Anderson, D. G. & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367-392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>
- Frank, B. (2020). *Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fiberboard (Cobb test)* <https://www.tappi.org/globalassets/documents/t441-d-2-sarg.pdf>
- Galanakis, C. (2019). *Food Quality and Shelf Life* (Bd. 1st Edition). Elsevier Science Publishing Co Inc.
- Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Halonen, N., Pálvölgyi, P. S., Bassani, A., Fiorentini, C., Nair, R., Spigno, G. & Kordas, K. (2020). Bio-Based Smart Materials for Food Packaging and Sensors – A Review [Review]. *Frontiers in Materials*, 7(82). <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00082>
- Hansen, A. Å., Mørkøre, T., Rudi, K., Rødbotten, M., Bjerke, F. & Eie, T. (2009). Quality Changes of Prerigor Filleted Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Packaged in Modified Atmosphere Using CO2 Emitter, Traditional MAP, and Vacuum. *Journal of Food Science*, 74(6), M242-M249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01233.x>
- Holck, A., Pettersen, M., Moen, M. & Sørheim, O. (2014). Prolonged Shelf Life and Reduced Drip Loss of Chicken Filets by the Use of Carbon Dioxide Emitters and Modified Atmosphere Packaging. *Journal of Food Protection*, 77, 1133-1141. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-428>

- Imre, B. & Pukánszky, B. (2013). Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. *European Polymer Journal*, 49(6), 1215-1233.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019>
- Jakobsen, M. & Bertelsen, G. (2000). Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time, and modified atmosphere composition. *Meat Science*, 54(1), 49-57.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00069-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00069-8)
- Jakobsen, M. & Bertelsen, G. (2002). The use of CO₂ in packaging of fresh red meats and its effect on chemical quality changes in the meat: A review. *Journal of Muscle Foods*, 13, 143-168. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2002.tb00326.x>
- Kim, Y. H., Huff-Lonergan, E., Sebranek, J. G. & Lonergan, S. M. (2010). High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization. *Meat Science*, 85(4), 759-767.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.001>
- Konn, J., Holmbom, B. & Nickull, O. (2002). Chemical reactions in chemimechanical pulping: Material balances of wood components in a CTMP process. *Journal of Pulp and Paper Science*, 28, 395-399.
- Kosiński, P., Brzyski, P. & Duliasz, B. (2020). Moisture and wetting properties of thermal insulation materials based on hemp fiber, cellulose and mineral wool in a loose state. *Journal of Natural Fibers*, 17(2), 199-213.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1477086>
- Larsen, H. & Grøvlen, M. S. (2021). Metoder for måling av oksygen- og vanddampgjennomgang i emballasje.
<http://www.emballasjeforsk.no/2021/05/07/metoder-for-maling-av-oksygen-og-vanddampgjennomgang-i-emballasje/#more-1161>
- Larsen, H., Kohler, A. & Magnus, E. M. (2000). Ambient oxygen ingress rate method – an alternative method to Ox-Tran for measuring oxygen transmission rate of whole packages. *Packaging technology and science*, 13, 233-241.
- Laukala, T., Ovaska, S.-S., Tanninen, P., Pesonen, A., Jordan, J. & Backfolk, K. (2019). Influence of pulp type on the three-dimensional thermomechanical convertibility of paperboard. *Cellulose*, 26(5), 3455-3471. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02294-3>
- Laursen, B. G., Bay, L., Cleenwerck, I., Vancanneyt, M., Swings, J., Dalgaard, P. & Leisner, J. J. (2005). Carnobacterium divergens and Carnobacterium maltaromaticum as spoilers or protective cultures in meat and seafood: phenotypic and genotypic characterization. *Syst Appl Microbiol*, 28(2), 151-164.
<https://doi.org/10.1016/j.syapm.2004.12.001>
- Leminen, V., Tanninen, P., Lindell, H. & Varis, J. (2015). Effect of Blank Holding Force on the Gas Tightness of Paperboard Trays Manufactured by the Press Forming Process. *BioResources*, 10, 2235-2243. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2235-2243>
- Lindh, H., Olsson, A. & Williams, H. (2016). Consumer Perceptions of Food Packaging: Contributing to or Counteracting Environmentally Sustainable Development? *Packaging technology and science*, 29, 3-29. <https://doi.org/DOI:10.1002/pts.2184>
- Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D. E., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., Li, S. & Qin, W. (2021). A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 532-546.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.016>
- Manas, C. (2018). *Plastics Technology Handbook* (Bd. Fifth edition) [Book]. CRC Press.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1628326&site=eehost-live>

- Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L. M., Dash, S. K. & Mahanti, N. K. (2019). Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(1), 77-96. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0049-y>
- McMillin, K. W. (2008). Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80(1), 43-65. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.028>
- Miljødirektoratet. (2020). Sirkulær økonomi. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>
- Muthu, S. S. (2016). *Environmental footprints of packaging* (1st ed. 2016. utg.). Springer.
- Nilsen-Nygaard, J., Fernández, E. N., Radusin, T., Rotabakk, B. T., Sarfraz, J., Sharmin, N., Sivertsvik, M., Sone, I. & Pettersen, M. K. (2021). Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1333-1380. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12715>
- NMKL. (2010). Prøveuttagning og forbehandling af levnedsmidler og foderstoffer til kvantitativ mikrobiologisk undersøgelse *Nordisk metodikkomité for næringsmidler, Nr. 91*(6th Ed.).
- NMKL. (2013). Aerobe mikroorganismer. *Nordisk metodikkomité for næringsmidler, Nr. 86*(5th Ed.).
- Nofima. (2019). *ReducePack*. Hentet 03.01.2021 fra <https://nofima.no/prosjekt/reducepack/>
- Nollet, L. (2012). Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality, Second Edition. I (s. 246-253). <https://doi.org/10.1002/9781118352434.ch17>
- Petersen, K., Væggemose Nielsen, P., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M. B., Nilsson, N. H. & Mortensen, G. (1999). Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 10(2), 52-68. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00019-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00019-9)
- Pettersen, M., Grøvlén, M., Evje, N. & Radusin, T. (2020). Recyclable mono materials for packaging of fresh chicken fillets: New design for recycling in circular economy. *Packaging technology and science*, 33. <https://doi.org/10.1002/pts.2527>
- Pettersen, M. K. (2018). *MVI250 Øving-pakkeforsøk med kjøttdeig* Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).
- Pettersen, M. K., Bardet, S., Nilsen, J. & Fredriksen, S. B. (2011). Evaluation and suitability of biomaterials for modified atmosphere packaging of fresh salmon fillets. *Packaging technology and science*, 24(4), 237-248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.931>
- Pettersen, M. K., Gällstedt, M. & Eie, T. (2004). Oxygen barrier properties of thermoformed trays manufactured with different drawing methods and drawing depths. *Packaging technology and science*, 17(1), 43-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.642>
- Pettersen, M. K. & Hansen, A. Å. (2012). The effect of packaging method, gas atmosphere and active packaging on the quality of chicken breast filets. *18th IAPRI World Packaging Conference*, 135–142.
- Pettersen, M. K., Hansen, A. Å. & Mielnik, M. (2014). Effect of Different Packaging Methods on Quality and Shelf Life of Fresh Reindeer Meat. *Packaging technology and science*, 27(12), 987-997. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.2075>
- Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Liland, K. H. & Hansen, A. Å. (2017). Effect of the Absorber Capacity and Gas Composition on the Quality and Liquid loss of Fresh Meat Product (28th IAPRI World Symposium on Packaging).
- PlasticsEurope. (2020). *Plastics – The Facts 2020*. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>

- PlasticsEurope. (2021). Plastics in Packing <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/packaging>
- Pulp and Paper Services. (u.å.). *TAPPI, ASTM, ISO, and SCAN Standards*. <http://www.pulpandpaperservices.com/standards.html>
- Rennerre, M. (1990). Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 25(6), 613-630. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01123.x>
- Rhim, J.-W. & Ng, P. K. W. (2007). Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 411-433. <https://doi.org/10.1080/10408390600846366>
- Robertson, G. L. (2011). 7 - Packaging and food and beverage shelf life. I (s. 244-272). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-701-3.50007-4>
- Robertson, G. L. (2013). *Food packaging : principles and practice* (Third edition. utg.).
- Rojas, O. J. (2016). *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials* (1st ed. 2016. utg., Bd. 271). Springer International Publishing : Imprint: Springer.
- Rottneros. (2020). Rottneros annual report 2020. <https://mb.cision.com/Main/15260/3316674/1394792.pdf>
- Rottneros. (u.å.). *Production Process* <https://rottnerospackaging.com/>
- Shmulsky, R. & Jones, P. D. (2011). *Forest products and wood science: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Svanes, E., Vold, M., Møller, H., Pettersen, M., Larsen, H. & Hanssen, O. (2010). Sustainable packaging design: A holistic methodology for packaging design. *Packaging technology and science*, 23, 161-175. <https://doi.org/10.1002/pts.887>
- Tajeddin, B. (2014). Cellulose-Based Polymers for Packaging Applications. I (s. 477-498). <https://doi.org/10.1002/9781118773949.ch21>
- Wang, S., Chen, W., Xiang, H. x., Yang, J., Zhou, Z. & Zhu, M. (2016). Modification and Potential Application of Short-Chain-Length Polyhydroxyalkanoate (SCL-PHA). *Polymers*, 8, 273. <https://doi.org/10.3390/polym8080273>
- Warriss, P. D. (2010). *Meat Science: An Introductory Text*. CABI.
- Weber, C. J., Haugaard, V., Festersen, R. & Bertelsen, G. (2002). Production and applications of biobased packaging materials for the food industry. *Food Additives & Contaminants*, 19(sup1), 172-177. <https://doi.org/10.1080/02652030110087483>
- Wong, C., McGowan, T., Bajwa, S. & Bajwa, D. (2016). Impact of Fiber Treatment on the Oil Absorption Characteristics of Plant Fibers. *BioResources*, 11, 6452-6463. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.6452-6463>
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B. & Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165-199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>
- Zendano, M. (2017). What is Cobb Testing? <https://www.thecompliancecenter.com/unpackaging-cobb-testing/>

Vedlegg

Vedlegg 1. Rådata for OTR målinger for celler med Pulp m/APET

Vedlegg 2. Rådata for OTR målinger for emballasjemateriale APET (ref.)

Vedlegg 3. Rådata for gjennomsnittlig temperatur i kjølerommet (4,8 oC) innstilt på 4oC for alle dagene gjennom lagringsperiodene for begge matvarene (kyllingfilet og storfe) på 31 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag.)

Vedlegg 4. Rådata for gjennomsnittlig lagringstemperatur i (4,7 oC) innstilt på 4oC for alle dagene gjennom lagringsperiodene for simulanter på 47 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag.)

Vedlegg 5. Rådata for gjennomsnittlig lagringstemperatur i lagringsrommet (21,43oC) innstilt på 22 oC for alle dagene gjennom lagringsperiodene for forsøket med simulanter på totalt 34 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag)

Vedlegg 6. Rådata for gjennomsnittlig lagringstemperatur i lagringsrommet (^{21,90oC}) innstilt på 23 oC/50 % RF for alle dagene gjennom lagringsperioden for forsøket med simulanter på totalt 47 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag)

Vedlegg 8. Pulp og Pulp m/APET oppbevart ved tre forskjellige lagringsbetingelser i 21 dager

Vedlegg 7. Pakninger av referansen APET med 60% CO2/ 40 % N2, uten væskeabsorber som ble lagret i 5, 8 og 11 dager.

Vedlegg 9. Output fra ANOVA GLM resultatene

Vedlegg 10. Datablad for Pulp med APET (3024)

Vedlegg 11. Datablad for Pulp (3100)

Vedlegg 12. Datablad for APET (referansen)

Vedlegg 13. Datablad for overbanen Burst Peel*MonoPET

Vedlegg 14. Metode for EMB- Oksyngjennomgang (OTR)

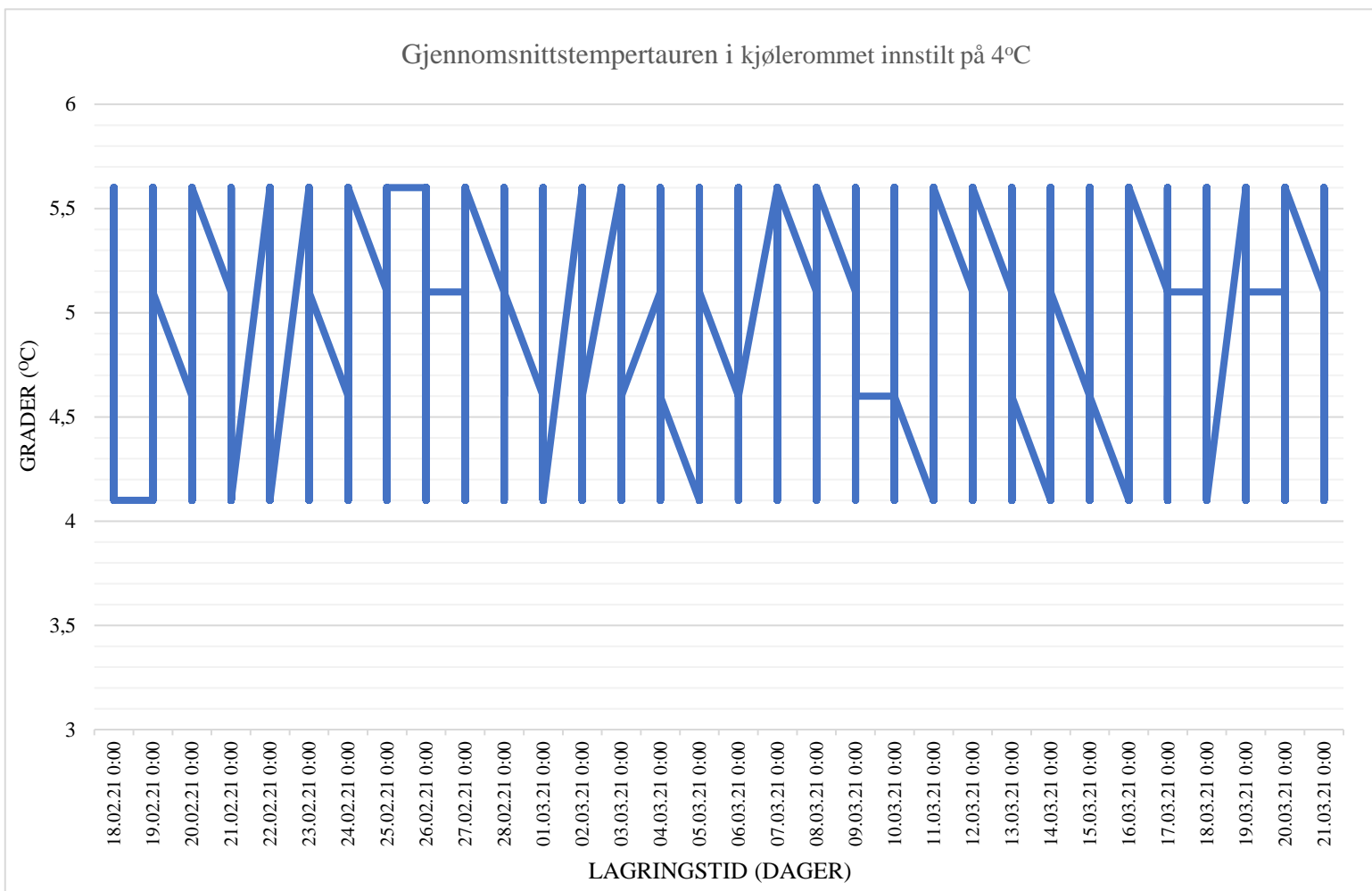
Vedlegg 1. Rådata for OTR målinger for celler med Pulp m/APET

Pack.type	Temp. (°C)	%R.H. inside	R.H. outside (room)	Time- 1	Time- 2	O ₂ -1	O ₂ -2	CO ₂ - 1	CO ₂ - 2	Volume	OTR
CELLER- Pulp m/APET	4,7	70	0	10.03.2021 15:37	15.03.2021 11:01	0,32	0,461	19,7	18,8	76	0,39
	4,7	70	0	10.03.2021 15:37	15.03.2021 11:02	0,298	0,452	19,8	18,9	276	0,43
	4,7	70	0	10.03.2021 15:37	15.03.2021 11:03	0,293	0,437	19,8	19	276	0,40
	4,7	70	0	10.03.2021 15:37	15.03.2021 11:04	0,29	0,405	19,7	18,9	276	0,32
											0,39
											0,04
CELLER- Pulp m/APET	21,9	50,67	0	19.03.2021 15:48	24.03.2021 09:10	0,292	0,422	19,8	19	276	0,36
	21,9	50,67	0	19.03.2021 15:49	24.03.2021 09:11	0,296	0,41	19,8	19	276	0,32
	21,9	50,67	0	19.03.2021 15:50	24.03.2021 09:12	0,282	0,388	19,7	19	276	0,30
	21,9	50,67	0	19.03.2021 15:51	24.03.2021 09:13	0,29	0,403	19,7	18,9	276	0,32
											0,33
											0,02
CELLER- Pulp m/APET	21,43	27,74	0	19.03.2021 16:01	24.03.2021 09:30	0,353	0,49	19,7	18,5	276	0,38
	21,43	27,74	0	19.03.2021 16:02	24.03.2021 09:31	0,29	0,438	19,8	18,7	276	0,41
	21,43	27,74	0	19.03.2021 16:03	24.03.2021 09:32	0,292	0,513	19,8	18,9	276	0,62
	21,43	27,74	0	19.03.2021 16:04	24.03.2021 09:33	0,285	0,425	19,8	18,9	276	0,39
											0,46
											0,11

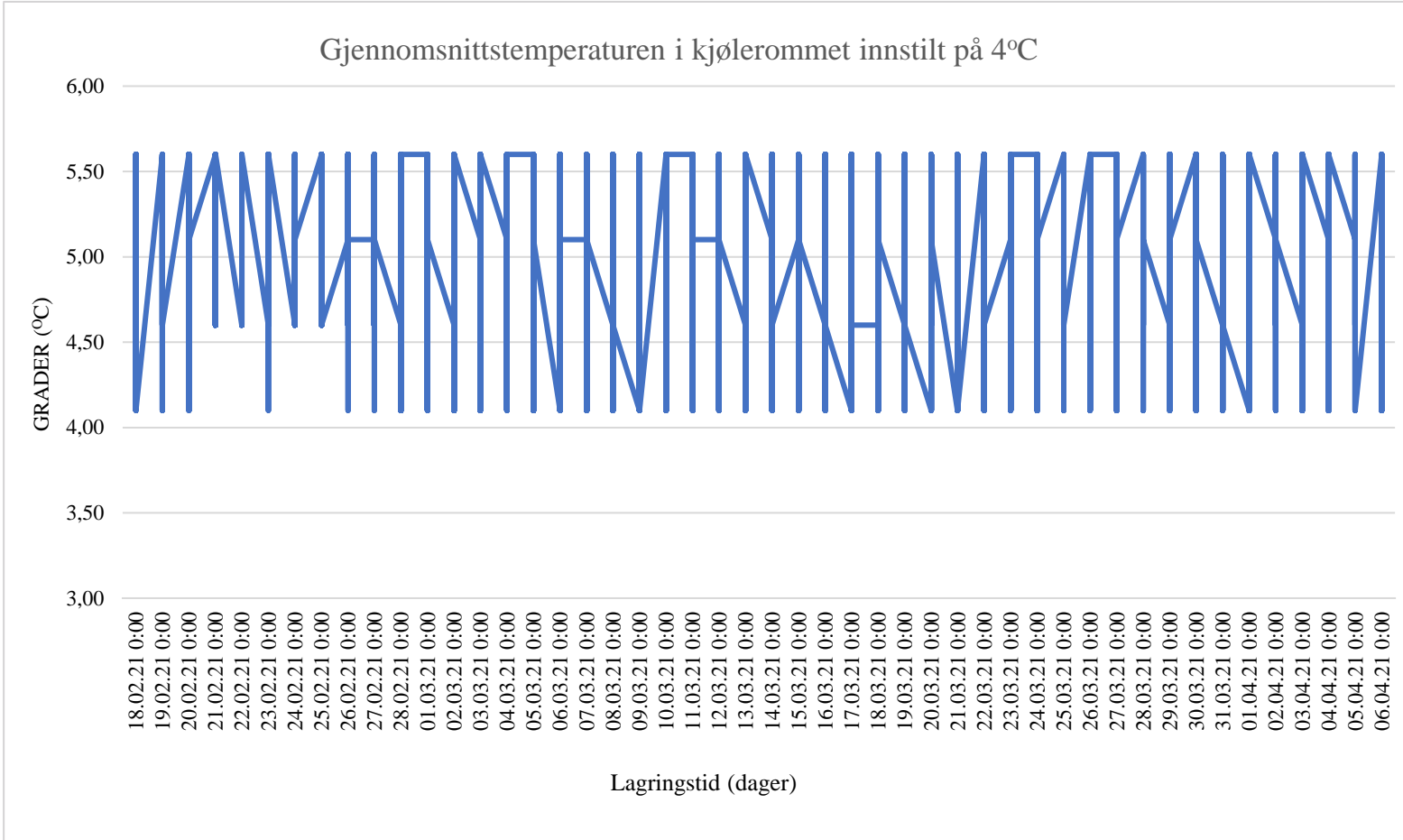
Vedlegg 2. Rådata for OTR målinger for emballasjemateriale APET (ref.)

Pack.type	Temp. (°C)	% R.H. inside	% R.H. outside (room)	Time- 1	Time- 2	O ₂ -1	O ₂ -2	CO ₂ -1	CO ₂ -2	Volume (ml)	OTR
APET	4,7	70	0	19.02.2021 11:07	26.02.2021 10:01	0,275	0,33	19,30	19,2	685	0,26
	4,7	70	0	19.02.2021 11:08	26.02.2021 10:02	0,270	0,342	19,40	19,1	685	0,34
	4,7	70	0	19.02.2021 11:09	26.02.2021 10:03	0,270	0,345	19,40	19,3	685	0,36
	4,7	70	0	19.02.2021 11:10	26.02.2021 10:04	0,270	0,324	19,50	19,3	685	0,26
											0,31
											0,04

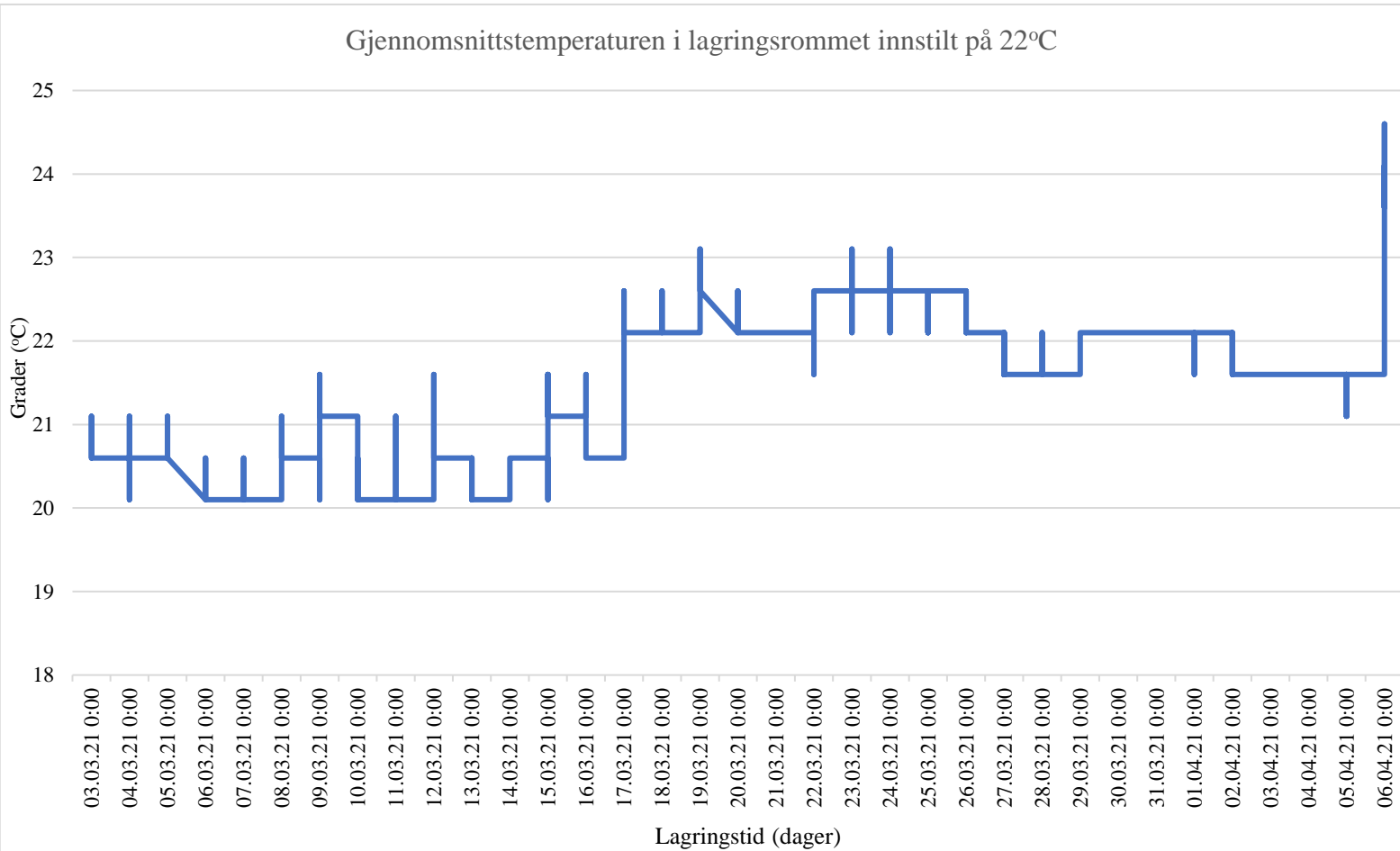
Vedlegg 3. Rådata for gjennomsnittlig temperatur i kjølerommet (4,8°C) innstilt på 4°C for alle dagene gjennom lagringsperiodene for begge matvarene (kyllingfilet og storfe) på 31 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag.)



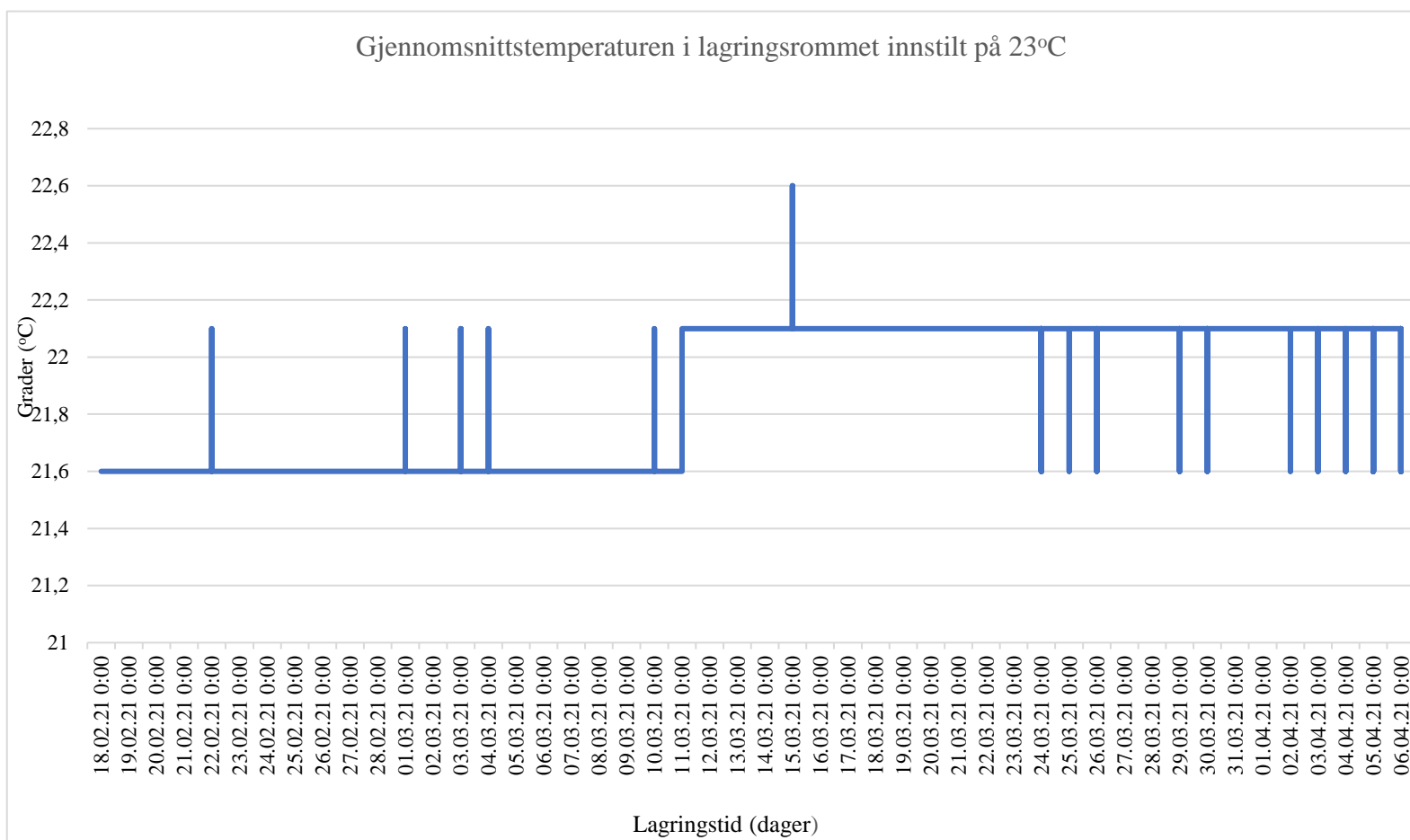
Vedlegg 4. Rådata for gjennomsnittlig lagringstemperatur i (4,7°C) innstilt på 4°C for alle dagene gjennom lagringsperiodene for simulanter på 47 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag.)



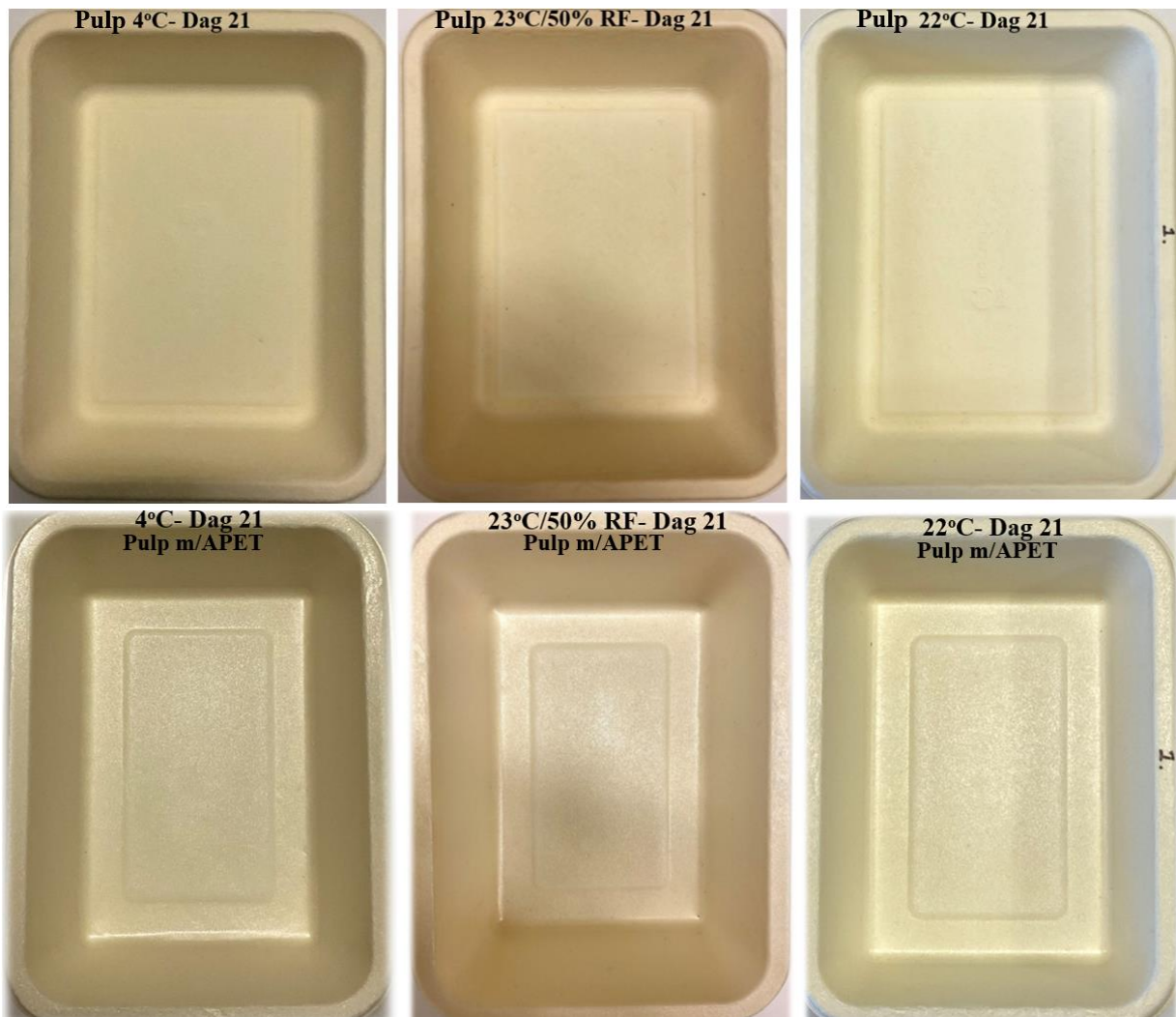
Vedlegg 5. Rådata for gjennomsnittlig lagringstemperatur i lagringsrommet (21,43°C) innstilt på 22°C for alle dagene gjennom lagringsperiodene for forsøket med simulanter på totalt 34 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag)



Vedlegg 6. Rådata for gjennomsnittlig lagringstemperatur i lagringsrommet (21,90°C) innstilt på 23°C/50 % RF for alle dagene gjennom lagringsperioden for forsøket med simulanter på totalt 47 dager. (De vertikale linjene representerer alle målingene innenfor en dag)



Vedlegg 8. Emballasjematerialene Pulp og Pulp m/APET oppbevart ved tre forskjellige lagringsbetingelser i 21 dager



Vedlegg 7. Pakninger av referansen APET med 60% CO₂/ 40 % N₂, uten væskeabsorber som ble lagret i 5, 8 og 11 dager.



Vedlegg 9. Output fra ANOVA GLM resultatene

General Linear Model: Materialtykkelse (μm) vs. Materiale; Betingelser; Simulant

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Materiale	Fixed	2	Pulp; Pulp med APET
Betingelser	Fixed	3	Lagringsrom 1; Lagringsrom 2; Lagringsrom 3
Simulant	Fixed	3	Olivenolje; Tomme; Vann

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Materiale	1	1477292	1477292	47,44	0,000
Betingelser	2	29468	14734	0,47	0,625
Simulant	2	386848	193424	6,21	0,003
Materiale*Betingelser	2	445883	222941	7,16	0,001
Materiale*Simulant	2	308950	154475	4,96	0,009
Betingelser*Simulant	4	38539	9635	0,31	0,871
Error	76	2366677	31140		
Lack-of-Fit	4	2273440	568360	438,90	0,000
Pure Error	72	93237	1295		
Total	89	5053658			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
176,467	53,17%	45,16%	34,33%

General Linear Model: Punktstyrke (N) vs. Materiale; Betingelser; Simulant

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Materiale	Fixed	2	Pulp; Pulp med APET
Betingelser	Fixed	3	Lagringsrom 1; Lagringsrom 2; Lagringsrom 3
Simulant	Fixed	3	Olivenolje; Tomme; Vann

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Materiale	1	63127,7	63127,7	185,87	0,000
Betingelser	2	4888,9	2444,5	7,20	0,001
Simulant	2	1179,2	589,6	1,74	0,183
Materiale*Betingelser	2	917,7	458,8	1,35	0,265
Materiale*Simulant	2	68,6	34,3	0,10	0,904
Betingelser*Simulant	4	1994,7	498,7	1,47	0,220
Error	76	25811,7	339,6		
Lack-of-Fit	4	5568,8	1392,2	4,95	0,001
Pure Error	72	20242,9	281,2		
Total	89	97988,5			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
18,4290	73,66%	69,15%	63,06%

General Linear Model: Skålvekt absorpsjon vs. Materiale; Betingelser; Simulant

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Materiale	Fixed	2	Pulp; Pulp med APET
Betingelser	Fixed	3	Lagringsrom 1; Lagringsrom 2; Lagringsrom 3
Simulant	Fixed	3	Olivenolje; Tomme; Vann

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Materiale	1	2793,7	2793,69	272,16	0,000
Betingelser	2	122,3	61,16	5,96	0,004
Simulant	2	9442,1	4721,04	459,93	0,000
Materiale*Betingelser	2	207,7	103,85	10,12	0,000
Materiale*Simulant	2	2313,9	1156,96	112,71	0,000
Betingelser*Simulant	4	433,5	108,39	10,56	0,000
Error	76	780,1	10,26		
Lack-of-Fit	4	534,0	133,49	39,05	0,000
Pure Error	72	246,2	3,42		
Total	89	16093,4			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,20387	95,15%	94,32%	93,20%



Technical Data Sheet
3024-1011

Product Specification		Packaging Specification	
Article Number	3024-1011	Form of Supply	Stacked vertically in hygienic bag
Product Name	MB 187x137x45 720T	Packaging	Stretched wrapped cardboard boxes
Composition	≥90 % Virgin pulp ≤10 % Mono APET film	Boxes/Pallet	24 cardboard boxes/pallet
Size Outer	187,5x137,5x45 mm [LxWxD]	Products/Box	560 trays/cardboard box
Size Base	145,8x95,85 mm [LxW]	Size Pallet	120x80x230 cm [LxWxD]
Sealing Rim	5 mm [W]	Storage Conditions	Cool and dry (≤90 % RH) No direct sunlight
Volume	720 ml	Shelf Life	≥24 months at storage conditions
Weight	21 g	Intended Use	Storage of foodstuff, direct or indirect food contact under certified conditions
Pulp Colour	Natural variations of beige	Food Contact Approval	Nonmpack-certificate
Film Colour	Transparent		
Property Tolerances		Application Compatibility	
Size Outer Dimension ²	± 2 %	Microwaveable ²	Yes
Size Base Dimension ²	± 2 %	Conventional Ovenable ²	Yes
Volume ²	± 2 %	Below Zero Storage	Yes
Weight ²	± 10 %	Grease Barrier	Yes
Pulp Colour	Miscolour spots below 2 mm	Liquid Barrier	Yes
Stacking Distance	2-4 mm	MAP	No
Peel Adhesion	1 N/25 mm	Top Rim Sealable ³	Yes
Cobb ¹	<150 g/m ²	Top Lid RPET	Yes
Product Deviation ⁴	0,05 %	Top Lid Pulp	At request

¹Modified ISO 535:2014
²Based on EN 14233
³Average value of 10 products
⁴Average product number outside of given tolerances
⁵Sealable with APET compatible films

All specifications are subject to change without prior notice

Rottneros Packaging AB, Rönna väg 5, 686 31 Sunne
 +46 (0)565 176 00 info@roottneros.com roottneros.com Org nr 556307-5356

PURE POSSIBILITIES





Technical Data Sheet
3100-0000

Product Specification		Packaging Specification	
Article Number	3100-0000	Form of Supply	Stacked vertically in hygienic bag
Product Name	LB 227x178x45 1200N	Packaging	Stretched wrapped cardboard boxes
Composition	≥99 % Virgin pulp ≤1 % Hydrophobic binder	Boxes/Pallet	24 cardboard boxes/pallet
Size Outer	227,5x178,5x45 mm [LxWxD]	Products/Box	300 trays/cardboard box
Size Base	182x133 mm [LxW]	Size Pallet	120x80x243 cm [LxWxD]
Sealing Rim	5 mm [W]	Storage Conditions	Cool and dry (≤90 % RH) No direct sunlight
Volume	1200 ml	Shelf Life	≥24 months at storage conditions
Weight	24 g	Intended Use	Storage of foodstuff, direct or indirect food contact under certified conditions
Pulp Colour	Natural variations of beige	Food Contact Approval	Normpack-certificate
Film Colour	N/A		
Property Tolerances		Application Compatibility	
Size Outer Dimension ²	± 2 %	Microwaveable ²	Yes
Size Base Dimension ²	± 2 %	Conventional Ovenable ²	Yes
Volume ²	± 2 %	Below Zero Storage	Yes
Weight ²	± 10 %	Grease Barrier	No
Pulp Colour	Miscolour spots below 2 mm	Liquid Barrier	Yes
Stacking Distance	2-4 mm	MAP	No
Peel Adhesion	N/A	Top Rim Sealable ³	Yes
Cobb ¹	<40 g/m ²	Top Lid RPET	Yes
Product Deviation ⁴	0,05 %	Top Lid Pulp	At request

¹Modified ISO 536:2014
²Based on EN 14233
³Average value of 10 products
⁴Average product number outside of given tolerances
⁵Sealable with fibre compatible films

All specifications are subject to change without prior notice

Rottneros Packaging AB, Rönna väg 5, 686 31 Sunne
 +46 (0)565 176 00 info@rottneros.com rottneros.com Orgnr 556307-5356

PURE POSSIBILITIES



Vedlegg 12. Datablad for APET (referansen)

14-01-2020

C 2187-1F Clear APET

Item no. 2187015044

faerch



General

Item no.:	2187015044
Main part list no.:	7900
Related lids:	-
Shape:	Rectangular
Colour:	Clear
Material:	APET
Diameter (mm):	-
Length (mm):	186,70
Width (mm):	136,90
Depth (mm):	40,00
Volume (ml):	685,00
Compartments:	1
Volume per compartment (ml):	-
Application:	Cold food and snacks
Cooking:	Not ovenable
Status:	Active
EAN:	5703969003246
Restrictions:	No
Lead time:	Standard item. Lead time to be confirmed.

Embossing

Customer logo:	-
Cavity no.:	Yes
Depth indicated:	No
Green Dot:	No
Glass and Fork:	Yes
Recycling Arrows:	Yes
Færch Logo:	FÆRCH LOGO

Technical information

Min. temp:	-40
Max. temp:	70
Absorber inlay:	No
Nominal sheet thickness, my (μ):	500
Nominal Weight:	16,93
Tolerance weight:	+/- 10%
Tolerance diameter (+/- mm):	0,60
Tolerance length (+/- mm):	0,60
Tolerance width (+/- mm):	0,60
Tolerance depth (+/- mm):	0,60
Tolerance centre (+/- mm):	0,90
Cubic metres per 1000 units:	0,09
Perforations:	No
Handles:	No

Packaging

Packaging:	Cardboard box
Weight per Pack, kg:	13,60
Net weight per Pack, kg:	13,00
Products per line:	768
Layers per pallet:	4,000
Cartons per layer:	4,000
Cartons per pallet:	16,00
Total units per pallet:	12288
Pallet type:	Disposable pallet
Pallet Height, mm:	1290,00
Packaging Length, mm:	600,00
Packaging Width, mm:	400,00
Packaging Height, mm:	290,00
Packaging Volume, m3:	0,070

Absorber pad

Name:	-
Length (mm):	-
Width (mm):	-
Absorbency per m2 (ml):	-
Absorbency for one pad (ml):	-
Top layer colour:	-
Bottom layer colour:	-
Weight (gr):	-
Other specifications:	-

Faerch A/S

Rasmus Færchs Vej 1
DK-7500 Holstebro

Tel. +45 99 10 10 10
Fax. +45 99 10 10 99

faerch@faerch.com
faerch.com



Technical Data Sheet

Material Description: PET-O/PE-EVOH-Burst Peel*MonoPET

Code: _____ Thickness: 52 µm

	<i>Test Method</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
Water vapour permeability	DIN 53122	< 2,5	g/m ² *d
Oxygen permeability	DIN 53380	< 2	cm ³ /m ² *d*bar
Carbon dioxide permeability	DIN 53380	< 8	cm ³ /m ² *d*bar
Nitrogen permeability	DIN 53380	< 1	cm ³ /m ² *d*bar
Tensile Strength MD/CD	DIN EN ISO 527	> 45	N/15mm
Elongation MD/CD	DIN EN ISO 527	> 100	%
Sealing range	intern	130 - 150	° C
Temperature resistance	intern	-20 / +85	° C

optical Properties	transparent
Processing	Top web for mould packing or trays
Film Properties	very good barrier to gases, high aroma barrier, heat sealable, cold resistant, resistant to water and fats, peelable against PET
Field of application	packaging for products sensitive to oxygen: convenience foods, meat products and sausages, snacks, vegetables, e.g. salad
Type of Goods	Reels
Reel diameter	up to 500 mm
Core diameter	76 and 152 mm
Packaging	On special request the reels can be individually wrapped in film, stretch - wrapped or placed on pallets with cardboard lids. On request the reel can be provided with edge protection
Labeling	A label will be stuck each on the inside of the core and outside the reel, holding information on order no., width, thickness, reel length and material code
Rotogravure / Flexo Print	up to 12 colours

FOOD CONTACT STATUS:

This product fully complies with EU food contact legislation: Regulation (EC) 1935/2004, Regulation (EC) 10/2011. Further details regarding any limitations that might apply for food contact use are available on request.

On request we name suitable machines for our products, place samples for your disposal.

The information on this data sheet is believed to be reliable. However, since the conditions of use of our products are beyond our control, no warranty as to accuracy of the information is expressed. The information contained on this data sheet are results of standard measurements and they constitute no specification.



Tittel:	EMB Oksyngjennomgang (OTR)
Område:	Metoder og arbeidsbeskrivelser
Dokument ID:	4864
Gyldig fra:	15.11.2020
Versjon:	1.6
Fagansvarlig:	Magnhild Seim Grøvlen
Redaktør:	Magnhild Seim Grøvlen
Godkjent av:	Tove Maugesten

EMB Oksyngjennomgang (OTR)

AOIR – (Ambient oxygen ingress rate method)

Oksyngjennomgang (OTR) utføres som beskrevet av Larsen et al. (2000). Gjennomgang av CO₂ (CO₂TR) er beskrevet av Larsen & Liland (2013).

Flat film (celler)

Tillaging av prøver:

- Prøv å unngå å ta på filmen der prøvene skal være.
- Legg mal på filmen og kutt rundt med kniv.
- Lag 3-4 paralleller av hvert materiale.

Montering på celler:

- Trøk av gammelt fett før cellene monteres.
- Påfør tynt lag med fett langs kanten av cellene.
- Dersom 100 % RH på innsiden: tilfør 2 ml vann til celle.
- Legg prøven forsiktig på cellen. Pass på at det ikke er folder på filmen.
- Legg på lokket og skru igjen skruer.
- Bytt ut septa i mutter ved behov.

Flushing av celler:

- Flush cellene med 100 % N₂ for kun OTR. Flush med gassblanding 0,3 % O₂, 20 % CO₂ i N₂ for både OTR og CO₂TR.
- Skru opp mutter med septa og flush med flushepinnen festet til regulator og gassflaske.
- Flush i ca. 1 min.

Gassmålinger:

- Stikk nå gjennom septa i mutter.
- 2 eller 3 målinger, avhengig av barriere. 1 måling etter minst **1 time etter flushing.**

KOPI. Gyldig versjon ligger i kvalitetssystemet

Side 1 av 4
Skrevet ut 12.04.2021

Dokument ID:	4864
Versjon:	1.6

Pakninger

- Pakninger lages med 100 % N₂ ved pakking.
- Dersom 100 % RH på innsiden: tilfør 2-5 ml vann gjennom septa og sprøyte i hele pakninger, eller tilfør vann før pakking/sveising.
- Bestem volum av pakninger ved å fylle pakke med vann og veie, ved dyppemetoden eller oppgitt i datablad.
- Gassmålinger gjennom septa. 2 eller 3 målinger. Første måling etter 18-24 timer etter flushing/pakking

Vakuumpakninger:

- Tilfør gass (100 % N₂) ved pakking – MAP med emballasje for vakuum.
- Lav vakuumeringsgrad ved vakuumering i pakkemaskin. Sett på septa og tilfør gass gjennom nål festet til flushepinne, regulator og gassflaske.
- Alternativt: Klipp hull i to diagonale hjørner i pakke. Flush med 100 % N₂ og sveis igjen først det ene hjørnet, deretter det andre.
- Volum må bestemmes ved dyppemetoden.

Skin-pakninger:

- Lite evakuering/vakuumeringsgrad ved pakking. Tilføring av 100 % N₂ gjennom nål festet til flushepinne, regulator og gassflaske.
- For å strekke filmen tilstrekkelig / tilsvarende produkt, kan trekloss legges i skål før sveising.
- Volum må bestemmes ved dyppemetoden.

Beregning av OTR og CO₂TR

For beregning av OTR og CO₂TR ved AOIR-metoden benyttes eget regneark.

Skriv inn tidspunkt og måledata, samt volum.

Beregnes som [ml O₂ / (pkn × døgn)] og [ml CO₂ / (pkn × døgn)]

Flat film (celler):

- Volum celler: 276 ml
- Etter beregnet OTR/CO₂TR i regneark må verdiene regnes om fra gjennomgangen for hele cellen til gjennomgang av gass gjennom filmen.

$$OTR (flat\ film) = OTR (celle) * \left(\frac{10000}{46,57}\right)$$

Dokument ID:	4864
Versjon:	1.6

$$CO2TR (flat film) = CO2TR (celle) * \left(\frac{10000}{46,57}\right)$$

- Forholdet mellom CO2TR og OTR (Permselectivity ratio), β :

$$\beta = \frac{CO2TR(flat film)}{OTR(flat film)}$$

Pakninger:

- Målt eller oppgitt volum benyttes i beregningene.
- Ingen omregningsfaktor nødvendig.

PermMate

Manual ligger i skuff under instrumentet.

- Slå på PC, åpne gassflaske og sett i kontaktene (2 stk.) til PermMate-instrumentet.
- Følg anvisning på skjermen.

Instrumentet kan benyttes til å bestemme volum, måle oksygen og beregne OTR.

Tidsestimat ut fra OTR

Barriere	Antatt OTR	Antall målinger	Målinger etter antall dager fra 1. måling
Høy barriere		2	4-6 dager
Middels barriere		2	2-3 dager
Lav barriere		3	Flere ganger daglig til 2 dager

Larsen, H., Kohler, A., & Magnus, E. M. (2000). Ambient oxygen ingress rate method—an alternative method to Ox-Tran for measuring oxygen transmission rate of whole packages. *Packaging technology and science*, 13(6), 233-241.

KOPI. Gyldig versjon ligger i kvalitetssystemet

Side 3 av 4
Skrevet ut 12.04.2021



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway