Bacheloroppgave

Alaa Ahmad Aldaher
Martin Ingebrigtsvold
Willong Zhao

Vurdering av Nedbrytning Basert på Endringer i Fysiske Egenskaper for Plasttekstil i Lukkede Oppdrettsanlegg

Assessment of Degradation Based on Changes in Physical Properties of Plastic Textiles in Closed Aquaculture Facilities

Mai 2023

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for materialteknologi

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

2023

NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Alaa Ahmad Aldaher
Martin Ingebrigtsvold
Willong Zhao

Vurdering av Nedbrytning Basert på Endringer i Fysiske Egenskaper for Plasttekstil i Lukkede Oppdrettsanlegg

Assessment of Degradation Based on Changes in Physical Properties of Plastic Textiles in Closed Aquaculture Facilities

Bacheloroppgave
Mai 2023

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for materialteknologi

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Vurdering av Nedbrytning Basert på Endringer i Fysiske Egenskaper for Plasttekstil i Lukkede Oppdrettsanlegg

Assessment of Degradation Based on Changes in Physical Properties of Plastic Textiles in Closed aquaculture Facilities

Bacheloroppgave i Materialteknologi

Prosjektnummer:

IMA-B-20-2023

Innleveringsdato:

20.05.2023

Gradering:

Åpen

Forfattere:

Alaa Ahmad Aldaher

Martin Ingebrigtsvold

Willong Zhao

Intern veileder:

Gerhard H. Olsen

Oppdragsgiver:

Maintech

Eksterne veiledere:

Fredrik Oftedal Forr

Stein Valen

NTNU

Institutt for materialteknologi

Forord

Denne bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven for vårt 3-årige ingeniørstudie i materialteknologi ved NTNU. Oppgaven er et resultat av et samarbeid med Maintech der formålet med oppgaven er å vurdere nedbrytning basert på endringer i fysiske egenskaper for en plasttekstil i lukkede oppdrettsanlegg. Som en del av oppgaven har det blitt utført laboratorieforsøk på en dukpose fra en semi-lukket oppdrettsmerde som produseres av Fiizk.

Vi ønsker å takke Jan Henning Rysjedal og Sigrid Merete Solberg hos Fiizk for utdeling av plastmateriale og gode ideer for utforming av oppgaven. Vi vil også takke laboratorieansvarlige ved Institutt for Materialteknologi; Andrey Kosinskiy, Marit Elinda Olaisen Odden og Rania Hendawi for god opplæring og hjelp til utføring av forsøk.

Vi ønsker å gi en stor takk til vår interne veileder hos NTNU; Gerhard H. Olsen og våre eksterne veiledere hos Maintech; Fredrik Oftedal Forr og Stein Valen. Vi takker for god veiledning, faglige diskusjoner og gode tilbakemeldinger underveis i arbeidet.

Til slutt ønsker vi å takke familie og venner for deres støtte gjennom hele studieperioden.

Alaa Ahmad Aldaher

Martin Ingebrigtsvold

Willong Zhao

Trondheim 20.05.2023

NTNU
Institutt for materialteknologi

Sammendrag

Dette er en oppgave som er skrevet i samarbeid med Maintech. Målet er å undersøke degraderingsegenskapene hos en plasttekstil som Fiizk benytter ved produksjon av dukposer for semi-lukkede oppdrettsmerder. Plasttekstilen består av polyetylenfibre belagt med polyvinylklorid og har en forventet levetid på 5-10 år. Strekkfastheten til dukposen etter UV- og saltvannseksponering blir sammenlignet med kontrollprøver fra en gruppe usimulerte prøver for å sammenligne påvirkningen de ulike eksponeringene hadde på materialet.

Prøvene ble delt inn i seks grupper basert på hva de skulle bli eksponert for og hvor lenge. Det var en kontrollgruppe, en saltvannsgruppe og fire UV-grupper. UV-prøvene fulgte ASMT G154 standarden og ble tatt ut av UV-kammeret etter 11, 20, 22 og 34 dager for å undersøke degraderingseffekten over et tidsintervall. Prøvene som ble utsatt for saltvann fulgte ASTM G85 A3 standarden og ble tatt ut etter 26 dager. Antall reelle dager i fra UV-simuleringen ble beregnet til å tilsvare 26, 46, 51 og 77 dager.

Eksponeringen hadde ingen visuell effekt på prøvene, men strekktestene viste en synkende strekkfasthet jo mer UV-eksponering prøvene gikk gjennom. Resultatene er påvirket av at polyetylenet ble utsatt for UV-stråling fra de åpne kantene hos prøvene, og vil dermed ikke samsvare med realiteten. Det vil derimot fortsatt gi en indikasjon på at tiden merden er utsatt for UV, senke strekkfastheten til materialet. Eksponeringen for saltvann ble gjennomført for å undersøke det marine miljøet i merdene. Resultatene viste en økt strekkfasthet og vekt til plasttekstilen, noe som ikke stemmer overens med litteraturen eller lignende forsøk.

Undersøkelser av det reelle miljøet i oppdrettsmerder viser at biologiske organismer og avfallsstoffer har neglisjerbar effekt på plasten, ettersom dette er et inert materiale og de realistiske konsentrasjonene er for lave. Effekten av mekaniske påkjenninger vil være til stede merden, og vil øke i takt med økt UV-degradering. Hvor stor grad fysiske faktorer fører til økt slitasje på materialet kan bare bekreftes ved videre undersøkelser.

Ettersom UV-påvirkningen antas å ha størst effekt på degraderingen virker det rimelig at dukposen har en forventet levetid på 5-10 år ettersom UV-eksponeringen i stor grad er avhengig av plasseringen av merden. Dersom materialet skal benyttes lengre en anbefalt må komponentens nåværende tilstand, og forventet degradering tas i betraktning for å unngå utslipp av avfall til miljøet.

Abstract

This thesis, conducted in partnership with Maintech, aims to explore the degradation characteristics of a plastic textile used by Fiizk for creating tarp bags in semi-closed fish farming cages. The plastic textile consists of polyethylene fibers that have a coating of polyvinylchloride. We assessed the material's tensile strength after it underwent UV and saltwater exposure and then compared these results with control samples that remained unexposed.

The test samples were organized into six categories based on the type and duration of exposure: a control group, a saltwater group, and four groups exposed to UV-radiation. The UV-exposed samples followed the ASMT G154 standard, and we extracted them from the UV-chamber after periods of 11, 20, 22, and 34 days to examine degradation over time. From the UV simulation, we calculated the actual duration to correspond to 26, 46, 51, and 77 days, assuming minimum UV-irradiance fraction in solar radiation.

Although the exposure showed no visible impact on the samples, the tensile tests indicated a trend of decreasing tensile strength correlating with increased UV exposure. However, this observation was affected by the polyethylene's exposure to UV radiation from the samples open edges, which doesn't accurately represent realistic conditions. Nevertheless, these results suggest that the UV exposure would affect the material's tensile strength. In contrast, the saltwater exposure, designed to mimic the marine environment within the cages, surprisingly demonstrated an increase in the plastic textile's tensile strength and weight, which are contradictory to the literature findings and similar experiments.

Biological organisms and waste substances seem to have negligible effects on the plastic materials due to its inert nature and the low realistic concentrations. Mechanical stresses that are present around the cage could potentially impact the material, especially if the material is already exposed to UV degradation, but determining their precise contribution to material wear requires further investigation.

Considering that UV exposure appears to have the most significant impact on the material's degradation, it is reasonable to expect a lifespan of 5-10 years, given that UV exposure depends on the cage's geographical positioning. However, if one plans to utilize the material beyond its recommended lifespan, it is imperative to consider the current condition of the component and its anticipated rate of degradation, to avoid contributing to environmental waste.

Innhold

Forord i
Sammendrag ii
Abstract iii
Figur-liste vi
Tabell-liste vii
1. Innledning 8
1.1. Bakgrunn og motivasjon 8
1.2. Formålet med oppgaven 11
2. Teori 13
2.1. Miljø i lukkede oppdrettsmerder 13
2.1.1. Vann 13
2.1.2. Avfall 13
2.1.3. Organismer i oppdrettsmerder 15
2.1.4. Ultrafiolett UV 15
2.1.5. Miljøkrav i fiskeoppdrett 17
2.2. Mekaniske belastninger, standardspesifikasjoner og levetidsforlengelse 18
2.3. Plast i oppdrettsanlegg 19
2.3.1. Hva er plast? 19
2.3.2. Polyvinylklorid (PVC) 20
2.3.3. Polyetylen (PE) 21
2.3.4 Kompositter 21
2.4. Nedbrytning av plast 23
2.4.1. Degradering av plast i ulike miljø 25
2.4.2. Andre fysiske påvirkninger 25
2.5. Begrensinger i oppgaven 26
2.5.1. UV-effekt 26
2.5.2. Effekt av vann 27
2.6. Tidligere arbeid 27
2.7. Økonomi og Bærekraft 27
2.8. Standarder for å bestemme levetiden 29
2.8.1. Teoretisk miljøsimulering 30
2.8.2. Strekktest 30
3. Metode 32

3.1. Materialhenting 32
3.2. Kutting av prøver 33
3.3. Veiing av prøver 34
3.4. UV-eksponering 35
3.5. Saltvann-eksponering 36
3.4. Strekktest 37
3.5.1. Standardisering 38
3.5.2. Prøvepreparering 39
3.6. Databehandling 40
4. Resultater 41
4.1. Strekktest 41
4.2. Nye prøver med ulik bredde 43
4.3. UV-prøver 48
4.4. Simulering av saltvann 55
4.5. Sammenligning med datablad 56
5. Diskusjon 57
5.1. Miljø og Miljøsimulering 57
5.2. Resultater fra strekktest 59
5.3. Materialpåvirkninger i faktiske miljøer 60
5.3.1. Mekanisk slitasje 60
5.3.2. Materialegenskaper 61
5.3.3. Plassering av merden 61
5.3.4. Andre organismer i merden 62
5.4. Økonomi og bærekraft 63
5.5. Forslag til videre arbeid 63
6. Konklusjon 65
Referanseliste 66
Vedlegg A: Beregning 70
Vedlegg B: Antall ekvivalente dager 71
Vedlegg C: Rådata 72
Vedlegg D: Python koding for grafer og beregninger. 84
F: t-fordeling tabell 94

Figur-liste

Figur 1: Fordeling av eksportverdien for norsk sjømat [3] 8
Figur 2: Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett [9]. 9
Figur 3: Semi-lukket merd. Den grå tekstilen er dukposen som fungerer som en barriere mellom vannet i merden og vannet utenfor [10]. 10
Figur 4: Skjematisk oversikt av avfallsfordelingen til fiskefôr [15]. 14
Figur 5: Polymerkjede for hydrokarboner [25]. 19
Figur 6: Strukturformel til PVC [25]. 20
Figur 7: Strukturformel til PE [27] 21
Figur 8: Bilde av tekstilen der PVC belegget er tatt av for å synliggjøre polyetylenfibrene. 22
Figur 9: Mikroplast. 23
Figur 10: Mikrofiber. 24
Figur 11: FNs Bærekraftsmål [53]. 28
Figur 12: Eksempel på hvordan strekkfastheten til plasttekstilen kan se ut [58]. 31
Figur 13: Stegvis prosess fra materialhenting til resultat. 32
Figur 14: Utstyr for klipping av prøver. 33
Figur 15: Ferdigkuttede prøver. 33
Figur 16: Oppsett for veiing av prøver 34
Figur 17: UV Accelerated Weathering Tester (LU-8047-TM). 35
Figur 18: Ferdigkuttede prøver i prøvebeholderne til UV-kammer. 35
Figur 19: Ascott S450iP korrosjonskammer. 36
Figur 20: Prøver i korrosjonskammer før. 37
Figur 21: Prøver i korrosjonskammer etter. 37
Figur 22: Strekkmaskin Instron 5982 37
Figur 23: Strekkmaskin Instron 5982 38
Figur 24: Ferdiglimt testprøve. 39
Figur 25: Brudd i tre prøver etter strekktest. 41
Figur 26: Brudd ved klemmen for prøve 4 i gruppe A i bredderetning og prøve 4 i gruppe B i høyderetning. 41
Figur 27: Strekktest-resultater for N10 i bredderetning. 42
Figur 28: Strekktes-resultater for N10 i høyderetning. 42
Figur 29: Strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper N5, N10, N15 og N20. 43
Figur 30: Strekkfasthet og belastning ved brudd for gruppe N5, N10, N15 og N20. 45
Figur 31:Forholdet mellom strekkfasthet og prøvebredde for prøver i bredderetning. 47
Figur 32: Forholdet mellom strekkfasthet og prøvebredde for prøver i høyderetning. 47
Figur 33: Strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper A, B, C og D i bredderetning. 49
Figur 34: Strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper A, B, C og D i høyderetning. . 52
Figur 35: Forholdet mellom strekkfasthet og eksponeringstid i bredderetning. 53
Figur 36: Strekkfasthet mot UV-eksponeringstid. 53
Figur 37: Vektendring mot antall eksponerings-timer for UV bredde prøver. 54
Figur 38: Vektendring mot antall eksponeringstimer for UV høyderetning, ... 54
Figur 39: Strekkfashet og belastning ved brudd for prøver i gruppe k i bredderetning. 55
Figur 40: Strekkfashet og belastning ved brudd for prøver i gruppe k i høyderetning. 55

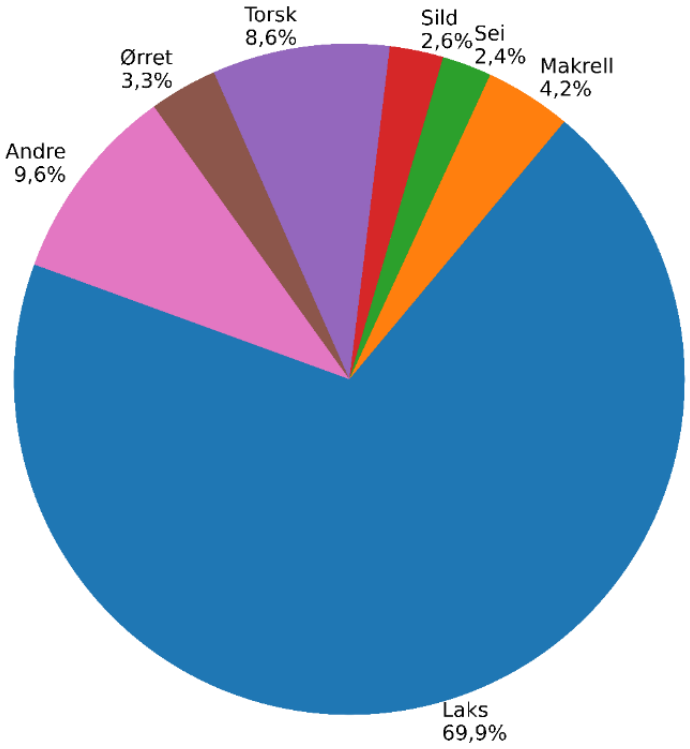
Tabell-liste

Tabell 1: Gjennomsnittlig årlig solinnstråling i de store byene i Norge [19]. 16
Tabell 2: Anbefalte/teoretiske verdier [22]. 17
Tabell 3: Resultat på vannprøver fra en lukket merde. 18
Tabell 4: Datablad for Biobrane Aqua 1550 plasttekstil [37]. 22
Tabell 5: Antall prøver for hver gruppe. 34
Tabell 6: Viser start, og uttaksdatoer for prøver i UV-simulering. 36
Tabell 7: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i bredderetning. 44
Tabell 8: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i høyderetning. 46
Tabell 9: Antall ekvivalente dager i miljøet. 48
Tabell 10: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene A, B, C og D i bredderetning. 50
Tabell 11: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene A, B, C og D i høyderetning. 52
Tabell 12: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppe k i bredde og høyderetning. 56
Tabell 13: Sammenligning av strekkfasthet til nye prøver og strekkfasthet oppgitt i datablad. 56
Tabell 14: Vekt til gruppe A bredde. 72
Tabell 15: Vekt til gruppe A høyde. 72
Tabell 16: Vekt til gruppe B bredde. 73
Tabell 17: Vekt til gruppe B høyde. 73
Tabell 18: Vekt til gruppe C bredde. 74
Tabell 19: Vekt til gruppe C høyde. 74
Tabell 20: Vekt til gruppe D bredde. 75
Tabell 21: Vekt til gruppe D høyde. 75
Tabell 22: Vekt til gruppe K bredde. 76
Tabell 23: Vekt til gruppe K høyde. 76
Tabell 24: Rådata for gruppe 5 mm i bredderetning. 77
Tabell 25: Rådata for gruppe 5 mm i høyderetning. 77
Tabell 26: Rådata for gruppe 10 mm i bredderetning. 77
Tabell 27: Rådata for gruppe 10 mm i høyderetning. 77
Tabell 28: Rådata for gruppe 15 mm i bredderetning. 78
Tabell 29: Rådata for gruppe 15 mm i høyderetning. 78
Tabell 30: Rådata for gruppe 20 mm i bredderetning. 78
Tabell 31: Rådata for gruppe 20 mm i høyderetning. 78
Tabell 32: Rådata gruppe A Bredde. 79
Tabell 33: Rådata gruppe A høyde. 79
Tabell 34: Rådata for gruppe B Bredde. 80
Tabell 35: Rådata for gruppe B høyde. 80
Tabell 36: Rådata for gruppe C Bredde. 81
Tabell 37: Rådata for gruppe C høyde. 81
Tabell 38: Rådata for gruppe D Bredde. 82
Tabell 39: Rådata for gruppe D høyde. 82
Tabell 40: Rådata for gruppe K Bredde. 83
Tabell 41: Rådata for gruppe K Høyde. 83

1. Innledning

1.1. Bakgrunn og motivasjon

Siden 1970 har fiskeoppdrett vært i sterk utvikling. Fiskeoppdrett spiller i dag en viktig rolle i norsk økonomi hvor oppdrettsnæringen innehar den nest største eksportverdien i Norge etter olje og gass. Næringen er å oppdrive langs hele norskekysten, og inkluderer blant annet produksjon av atlanterhavslaks, torsk, ørret, og enkelte andre fiskearter [1]. Eksportverdien av norsk sjømat i 2022 var 151,4 milliarder kroner med 2,9 millioner tonn. Norsk laks sto for den største andelen, med 70 prosent av den totale verdien. Figur 1 viser fordeling av verdien av eksportert sjømat [2].



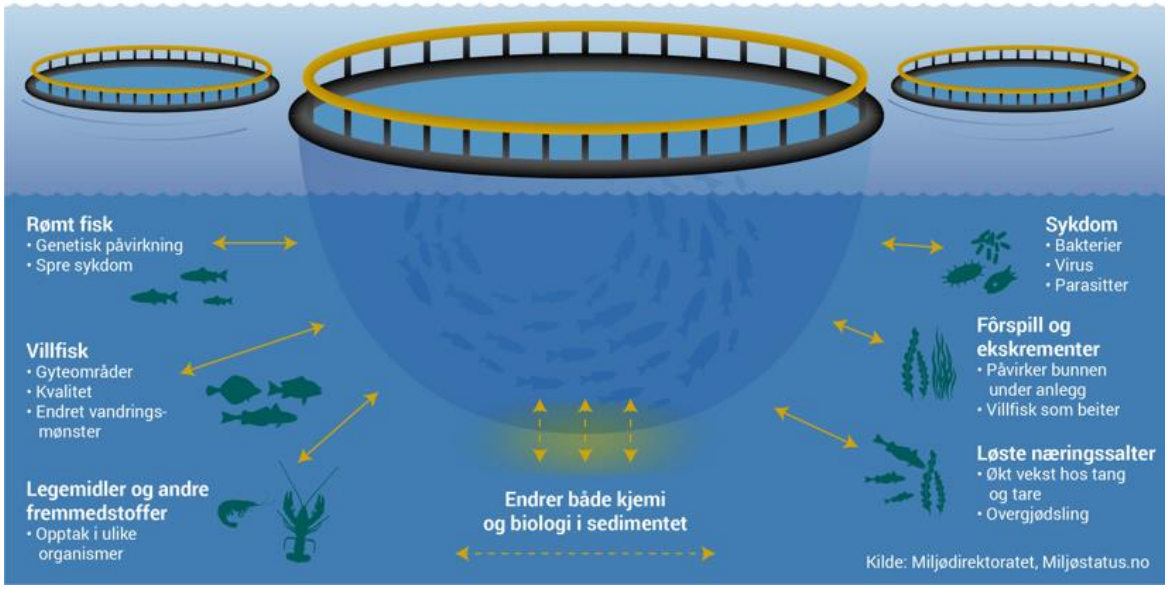
Figur 1: Fordeling av eksportverdien for norsk sjømat [3].

Utviklingen av norsk fiskeoppdrett kommer ikke uten utfordringer som må løses. To miljøutfordringer knyttet til fiskeoppdrett i Norge er rømming av fisk og spredning av lakselus. Rømming kan føre til at oppdrettsfisk kommer inn i elvene og påvirker genmaterialet i villaksen på en negativ måte, i tillegg er det ett stort økonomisk tap for næringen [4;5].

Forskrift om krav til teknisk standard for akvakulturanlegg for fisk i sjø, innsjø og vassdrag (NYTEK23) har som formål å hindre rømming av fisk ved å sikre forsvarlig teknisk standard på anleggene [6]. Prinsippet om teknologinøytralitet er tatt i bruk i NYTEK23 for å fremme utvikling i næringen. Dette betyr at kravene i forskriften er utformet på en måte som gir oppdretterne frihet til å velge hvordan de vil oppfylle kravene, så lenge løsningene dokumenteres å være like gode som, eller bedre enn de eksisterende standarder [7].

Lakselus medfører trusler som sår på fisken som kan medføre infeksjoner. Dette har også en negativ effekt på økonomien da det koster oppdrettsnæringen minst 5–10 milliarder kroner per år, i tillegg kommer tidsbruk som oppstår ved behandling og forebygging [4]. Bekjempelse av lakselus er regulert i forskrift om «bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg». Formålet med forskriften er å redusere forekomsten av lakselus slik at skadevirkningene på fisk i akvakulturanlegg og i viltlevende bestander av laksefisk minimeres [8].

Tradisjonelle åpne oppdrettsmerder med krage og not er vist i Figur 2.



Figur 2: Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett [9].

Oppdrettsmerdene blir brukt til å holde fisken fra de er 14 til 22 måneder. Nøtene i de åpne oppdrettsmerdene gir mulighet til å sikre vannutskifting ved bruk av naturlig gjennomstrømming av sjøvann. Nøtene har stor grad av bevegelsesfleksibilitet, slik at de ikke tar skade av bølger og strømninger. [9]

Denne fleksibiliteten gjør det også enklere å flytte anlegg og fisk fra et område til et annet. I tillegg har man mulighet til å skifte, rengjøre, og foreta annet generelt vedlikehold [9]. Ulempene ved bruk av denne typen anlegg er at de øker risikoen for at smitte og avfallsstoffer kommer i direkte kontakt med miljøet rundt merdene. I tillegg kommer fare for slitasje i nøter som kan føre til lakserømming som kan ha store konsekvenser for bestanden av villaks [10].

Alternativet for de tradisjonelle åpne merdene, er lukkede, eller semi-lukkede oppdrettsmerder. Figur 3 viser eksempel på en semi-lukket oppdrettsmerde. Den største visuelle forskjellen mellom tradisjonelle åpne merder og semi-lukkede oppdrettsmerder er at de semi-lukkede merdene har en ugjennomtrengelig dukpose av plasttekstil som omgir oppdrettsfisken. Dukposen danner dermed en barriere mellom oppdrettsfisken i en produksjonsenhet og omkringliggende vannvolum, dette for å holde dem adskilt fra det ytre miljøet. [9]

Fordelen ved bruk av denne typen anlegg er at man kan kontrollere vannhastighet og oksygeninnholdet i vannet bedre enn i de åpne merdene. Man vil også ha bedre mulighet til å kontrollere utslipp av organisk materiale, næringssalter og generelt begrense utslipp av forurensninger fra andre fiskepatogener rundt anlegget. [9]

Figur 3: Semi-lukket merd. Den grå tekstilen er dukposen som fungerer som en barriere mellom vannet i merden og vannet utenfor [10].

En av ulempene ved bruk av semi-lukkede anlegg er at de krever god nok utskifting av vann. Uten dette vil risikoen for oppsamling av partikler, bakterier og andre sedimenter på bunnen av merden øke. Dette et også en teknologi som er under utvikling noe som innebærer større kostnader ved bygging og drift av denne typen anlegg. [11]

Veksten i oppdrettsnæringen har imidlertid også gitt opphav til en annen type miljøutfordring, nemlig plastforurensning. Plastmaterialer er kjent for å ha en lang nedbrytningstid, og mikroplastpartikler som dannes under nedbrytning kan ha skadelige effekter på både marint liv og mennesker. To av de mest utbredte plastmaterialene i oppdrettsnæringen er polyetylen og polyvinylklorid. Disse plasttypene brukes ofte i flere komponenter i oppdrettsmerder, deriblant i tekstiler, flyteelementer, tau, og rør. [12]

Disse materialene benyttes ofte på grunn av deres styrke, fleksibilitet, kostnad og resirkuleringsevne. Med tanke på den økende bekymringen for plastforurensning i havet, er det viktig å forstå hvordan disse tekstilene brytes ned over tid og deres mulige påvirkning på miljøet.

1.2. Formålet med oppgaven

Formålet med denne bacheloroppgaven vil være å undersøke nedbrytningsegenskapene til en plasttekstil som benyttes i dukposer for semi-lukkede oppdrettsmerder produsert av Fiizk. Tekstilen består av lavdensitetspolyetylen-fibre (LDPE) belagt med polyvinylklorid (PVC). Disse fibrene er anisotrope, og de mekaniske egenskapene vil derfor være avhengig av retningen på fibrene som er varp (høyde), og veft (bredde).

Denne plasttekstilen har en forventet brukstid på 5-10 år, noe som gjør at den vil være utsatt for flere fysiske belastninger som vær, vind, og sjø over lengre tid.

Fiizk utfører i dag strekktester på plasttekstilene før de blir sveist sammen til en dukpose for å forsikre seg om at kvaliteten er tilstrekkelig. Det utføres derimot ikke tester av materialet etter bruk ettersom tekstilene går direkte til gjenvinning hos deres egne anlegg.

Ved å simulere miljøet i oppdrettsmerden vil undersøke hvilke faktorer som påvirker nedbrytningen av materialet. Deriblant hvor stor svekkelsen av materialet blir i forhold til nye tekstiler, og hvordan nedbrytningsegenskapene til plasttekstilet blir påvirket av det marine miljøet og organismene, med tanke på mikroplast og vurdere dette med hensyn til miljø, bærekraft og økonomi. Ved å analysere nedbrytningsprosessen vil vi kunne bidra til en økt kunnskap om plastmaterialenes langtidseffekter i et marint miljø.

Ved gjennomføring av laboratorieforsøk, litteraturstudier og analyser av tidligere forskning, vil vi i oppgaven forsøke å svare på følgende spørsmål:

- Hvor raskt brytes plasttekstilet ned i en lukket oppdrettsmerd, og hvilke faktorer påvirker nedbrytningshastigheten? Deriblant ulike miljøforhold som, temperatur, salt, vannkvalitet og UV-stråling.
- Hvordan vil nedbrytningsegenskapene til plasttekstilet påvirke det marine miljøet og organismene i og rundt oppdrettsmerden?
- Hvilke faktorer bestemmer levetiden til plasttekstilen i oppdrettsmerder, og hvordan kan disse faktorene benyttes i videre arbeid for forskning på plastmaterialer i oppdrettsmerder.

2. Teori

2.1. Miljø i lukkede oppdrettsmerder

Inne i merdene er miljøet nøye kontrollert for å optimalisere fiskens vekst og helse. Vanntemperatur, oksygeninnhold, fôring er faktorer som overvåkes kontinuerlig. Parasitter som lakselus, mikroorganismer, fôrutslipp, avfallsstoffer og medikamenter vil og ha en påvirkning på miljøet i merden.

2.1.1. Vann

Vannet i lukkede oppdrettsmerder hentes fra dypt vann og pumpes inn i merdene [13]. Sjøvann inneholder 34,8 g salt per kg sjøvann. 86 % av salt er natriumklorid resten er: magnesiumsulfat $MgSO_4$ (ca. 11 %), kalsium Ca^{2+}, kalium K^+, brom Br^+, bor og jodid I^-. pH-verdien er avhengig av likevekten mellom karbondioksid CO_2 og bikarbonat HCO_3^- karbonat, og pH til saltvann er ca. 8 [14].

2.1.2. Avfall

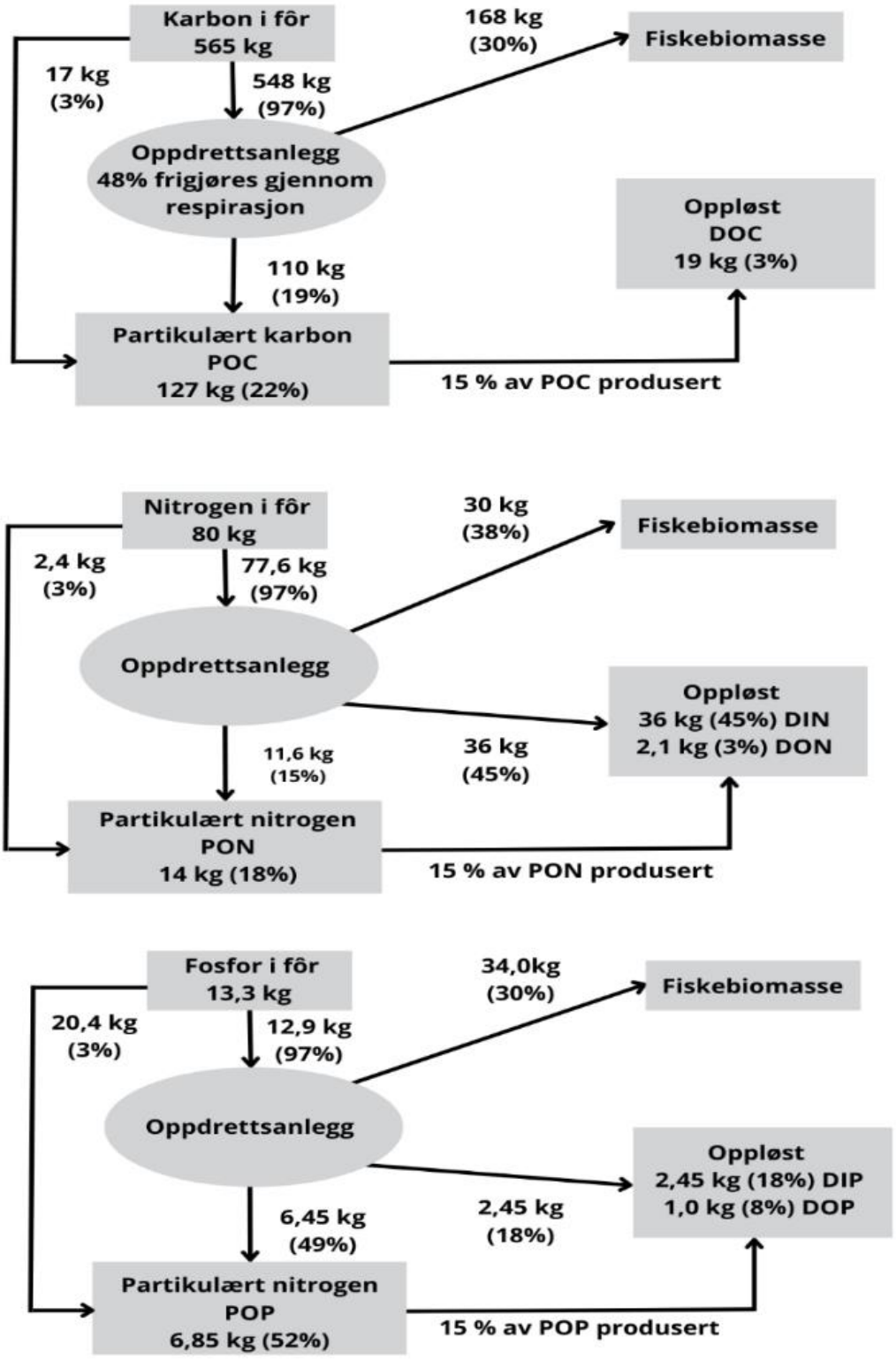
Gjennom utskillelse, respirasjon, avføring og tap av fôr, frigjører fiskeoppdrett avfall som består av karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P).

Estimering av avfallsfordelingen ble gjennomført gjennom en enkel massebalanse av fôrtilføring og biomasse av fisk i et studium i norske oppdrettsmerder fra 2009. Det ble da tilført 574 000 tonn C, 81 000 tonn N og 13 500 tonn P som fôr for å produsere $1{,}02 \cdot 10^6$ tonn laks. [15]

Av den totale C-tilførselen av fôr ble henholdsvis 70, 62 og 70 % C, N og P sluppet tilbake til miljøet som uorganisk og organisk avfall. Det tilsvarer henholdsvis 2 12397, 50 og 9,3 kg C, N og P per tonn produsert laks. Karbonmassebalansen viste at 48 % av totalt karbon i fôr ble respirert av fisken, 19 % ble sluppet ut gjennom avføring og 30 % blir omgjort til fiskebiomasse. Omtrent 3 % av den totale fôrtilførselen ble oppløst fra partikler og ble DOC. [15]

Nitrogenmassebalansen viste at 38 % av totalt fôr N ble omgjort til fiskebiomasse, 45 % gikk tapt som DIN og 15 % som PON. Omtrent 3 % av det totale N-tilførselsen ble oppløst som DON. Fosformassebalanse viste at 44 % av tilførselen ble sluppet ut som POP, 30 % ble brukt i laksvekst, og 18 % gikk tapt som DIP. Omtrent 8 % av P-tilførselsen, ble oppløst som

DOP. illustrerer massebalanse i oppdrettsanlegg. Figur 4 viser skjematisk oversikt av fôrtilførsel og avfallsfordeling som brukes til å produsere 1 tonn fiskebiomasse. [15]



Figur 4: Skjematisk oversikt av avfallsfordelingen til fiskefôr [15].

2.1.3. Organismer i oppdrettsmerder

Hvilke typer organismer som befinner seg i oppdrettsmerder varierer er avhengig av flere faktorer, deriblant miljøet rundt anlegget. Noen vanlige organismer i og rundt slike anlegg inkluderer rognkjeks, samt skalldyr som reker og blåskjell. I tillegg finnes det plankton, alger og en rekke bakterier og mikroorganismer. [16]

Mange av de organismene som finnes i oppdrettsmerder, inkludert fisk, alger og bakterier, påvirke plastnedbrytningen gjennom forskjellige mekanismer, men de vil i liten grad bryte ned materialet merkbart ved normal tidshorisont. Noen organismer kan hindre eller forsinke degraderingsprosessen for eksempel ved å danne biofilm på overflaten av plasttekstilen som kan ha en beskyttende effekt. [17]

2.1.4. Ultrafiolett UV

Solen emitterer energi i form av elektromagnetiske bølger som grupperes etter størrelsen på bølgelengdene. De tre viktige typene elektromagnetiske bølger er synlig lys (VIS) med bølgelengde mellom 0,4 og 0,74 μm som representerer 49 % av total mengde av solenergi. Infrarødt lys (IR) med bølgelengde mellom 0,74 – 4,0 μm som representerer 49 % av total mengde av solenergi. og ultrafiolett (UV) med bølgelengde mellom 0,3 og 0,4 μm som representerer 1,2 % av total mengde av solenergi [18].

UV-stråling som når jorden er delt inn i tre typer. UV-C har en bølgelengde mellom 100 og 280 nm, UV-B som har en bølgelengde på mellom 280 og 315 nm og UV-A som har en bølgelengde på mellom 315 og 400 nm. Den totale mengde UV-stråling som når jordens overflate er en liten del av den totale elektromagnetisk stråling som når jordens overflate.

Som navnet øverst er mengde av UV-stråling 1,2% av total solenergi. Denne verdien er ikke varierer i litraturen. I samme kilde øvest har det nevnt at omtrent 6-7 % av den, faller innenfor UV-A og mindre enn 1 % faller innenfor UV-B [18]. I en annen kilde ble det nevnt at total mengde av UV-stråling på en skyfri dag er 3-5% av den totale mengde UV-stråling som når jordens overflate [19].

Til tross for dette har UV-stråling en viktig rolle i en rekke biologiske og fotokjemiske reaksjoner. [18] Tabell 1 viser gjennomsnittlig solinnstråling i de store byene i Norge oppgitt i $kWh \cdot m^{-2}$ [20].

Tabell 1: Gjennomsnittlig årlig solinnstråling i de store byene i Norge [20].

Sted	Gjennomsnittlig årlig solinnstråling $[kWh \cdot m^{-2}]$
Oslo	970
Kristiansand	1000
Bergen	800
Trondheim	800
Tromsø	700
Gjennomsnitt	854

Mengden av UV-stråling som når jordoverflaten er avhengig av flere faktorer som blant annet skydekke og tykkelsen på ozonlaget. Solhøyde påvirker også ettersom steder nærmere ekvator mottar mer UV-stråling da solen står høyere på himmelen i disse områdene hele året. [21]

Lokale forhold vil også påvirke ved enten å skape refleksjoner fra snø og vann, men det kan også minimere UV-påvirkningen i omgivelser som gir skygge, deriblant fra fjellformasjoner. Mengden UV-stråling vil øke med 2–5 % per 1000 meter stigning i forhold til havoverflaten. Bølgetopper og sjøsprøyt reflekterer ca. 25–30 % av UV-strålingen. I tillegg vil 40 % av UV-strålingen nå ned til en halvmeters dybde [21].

2.1.5. Miljøkrav i fiskeoppdrett

Minimumsgrense for vannutskiftning i et anlegg med gjennomstrømming og oksygenering ligger mellom 0,2 og 0,3 $L \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Denne verdien er basert på maksgrense av CO_2-innhold på 20 $mg \cdot L^{-1}$. Ved vannutskiftingen under 0,13 $L \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ vil det begrense velferds- og vekstbetingelser i anlegget. Lavere vannutskiftning enn 0,05 $L \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, kan skape problem med uionisert ammoniakk som anbefales å være mellom 12 og 25 $\mu g L^{-1}$. [22]

Veiledende verdier for innhold av de ulike stoffene i oppdrettsmerder er presentert i rapport fra mattilsynet i Tabell 2 [23].

Tabell 2: Anbefalte/teoretiske verdier [23].

Anbefalte Vannverdier	
Vannparameter	Verdi
PH-innløp	6,2-6,8
Oksegynmetning i kar	Ikke over 100 %
Oksegynmetning innløp til kar	Over 90 %, maks 120 %
Oksegynmetning avløpsvann	80 %
CO_2	Under 15 $mg \cdot L^{-1}$
Total organisk materiale	Under 10 $mg \cdot L^{-1}$
Aluminium (labilt)	Under 5 $\mu g \cdot L^{-1}$
Aluminium (gjeller)	Ikke over 20 $\mu g/g$ gjelle tørrvekt før utsett i sjø
Nitritt, ferskvann	Under 0,1 $mg \cdot L^{-1}$
Nitritt saltvann	Under 0,5 $mg \cdot L^{-1}$
Ammonium, NH_4^+	Under 2 $mg \cdot L^{-1}$

2.1.5.1. Realistisk miljø

Tabell 3 viser to analyser av vannkvalitet fra en lukket merde og naturlig sjøvann. Analysene er utført av et laboratorium som er akkreditert i henhold til ISO 17025. Både prøvetakingssted og laboratorium er anonymisert av bedrifts- og konkurransehensyn.

Tabell 3: Resultat på vannprøver fra en lukket merde.

Lukket merd						
Parametere		Resultater	Enhet	Grense	Metode	Usikkerhet
pH (19-25 ºC)	HA)	7,9		6,5-9,5	NS-EN SO 10523	± 0,2
Temp. med pH-målinger	HA)	22,1	C			
Turbiditet	HA)	0,26	FNU		NS-EN ISO 7027-1	± 0,031
Aluminium i sjøvann	119)	11	µg/l		NS-EN SO 17294-2	
Zink i sjøvann	119)	<10	µg/l		Intern, ICP-MS	
Jern i sjøvann	119)	11	µg/l		NS-EN ISO 17294-2	
Kobber i sjøvann	119)	<0,40	µg/l		Intern, ICP-MS	
Total organisk karbon (TOC)	119)	1,7	mg/l		NS-EN 1484	
Ammonium, NH4-N	119)	290	µg N/l		ISO 15923-1	
Naturlig sjøvann						
Parametere		Resultater	Enhet	Grense	Metode	Usikkerhet
pH (19-25ºC)	HA)	8		6,5-9,5	NS-EN SO 10523	± 0,2
Temp. med pH-målinger	HA)	22,2	C			
Turbiditet	HA)	<0,10	FNU		NS-EN ISO 7027-1	
Aluminium i sjøvann	119)	16	µg/l		NS-EN SO 17294-2	
Zink i sjøvann	119)	<10	µg/l		Intern, ICP-MS	
Jern i sjøvann	119)	11	µg/l		NS-EN ISO 17294-2	
Kobber i sjøvann	119)	<0,40	µg/l		Intern, ICP-MS	
Total organisk karbon (TOC)	119)	1,7	mg/l		NS-EN 1484	
Ammonium, NH4-N	119)	410	µg N/l		ISO 15923-1	

2.2. Mekaniske belastninger, standardspesifikasjoner og levetidsforlengelse

Dukposen vil i løpet av driftsperioden være utsatt for flere mekaniske belastninger. Ved mekanisk belastning i oppdrettsanlegg menes de fysiske kreftene som virker på oppdrettsanleggene, spesielt på semi-lukkede merder ettersom den ugjennomtrengelige dukposen sørger for at vannet ikke strømmer direkte gjennom merden, noe øker belastningen på tekstilen [11].

Fra NS 9415:2021 er det derfor definert krav til flytende akvakulturanlegg med den hensikt å forbygge rømming av fisk. Dette inkluderer blant annet krav til kontroll og reparasjon av komponenter i oppdrettsmerden [24].

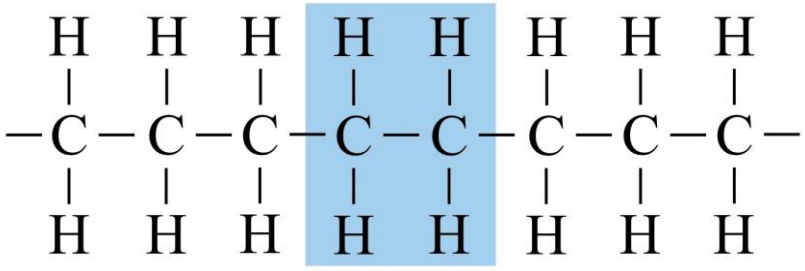
Deriblant er det satt krav til at en notpose senest 24 måneder etter oppstart, og ved bruk utover den levetiden som akseptert fra databladet, skal ha gjennomført kontroll og nødvendige tiltak som godkjenner at kravene for videre bruk i oppdrettsanlegget er oppfylt [24]. Dersom det planlegges en levetidsforlengelse av komponentene så er det satt som en forutsetning at hovedkomponenten fremdeles tilfredsstiller krav angitt i forskrifter og standarder for hele perioden levetidsforlengelsen planlegges [25]. Brukstid for plasttekstilen som benyttes i dukposen er satt til å være 5-10 år.

Det betyr at om man ønsker å forlenge utskiftningsintervallet må man undersøke at tekstilen fortsatt oppfyller de kvalitetskravene som er angitt i datablad og standard. Det vil derfor være nødvendig å gjennomføre analyser for å bekrefte at komponentene fortsatt har tilstrekkelig kapasitet til å møte kravene for å gjennomføre levetidsforlengelsen. Det bør også tas i betraktning komponentens nåværende tilstand og potensielle påvirkninger i løpet av forlengelsesperioden, inkludert miljøbelastninger, forventet degradering og slitasje.

2.3. Plast i oppdrettsanlegg

2.3.1. Hva er plast?

Plast er en gruppe av polymerer. Begrepet ‘polymerer’ referer til materialer som er bygget opp fra små enheter som kalles monomere. Monomere kan bli syntetisk bundet sammen gjennom kovalente bindinger for å danne repeterende enheter [26]. De fleste polymere har organiske opprinnelse. Det vil si at polymerer hovedsakelig består av hydrokarboner som er en binding mellom hydrogen og karbon, det kan også være innhold av oksygen, nitrogen eller svovel [27;28]. Figur 5 viser de repeterende enhetene som dannes i polymerkjeder [26].



Figur 5: Polymerkjede for hydrokarboner [25].

Typiske egenskaper for polymerer har høy styrke, utmerket kjemisk motstand, og er enkelt å fremstille. I tillegg er det et fleksibelt materiale med lav vekt og er derfor egnet til mange ulike bruksområder.

Plastprodukter deles opp i kategoriene termoplaster og herdeplaster. Termoplast er en polymer som mykner og kan bli flyt under oppvarming som for eksempler på termoplast er Polyetylen (PE) og polyvinylklorid (PVC). Herdeplast er en fast polymer som ikke har evne å formes tilbake til sin opprinnelige form etter smelting. [29;30]

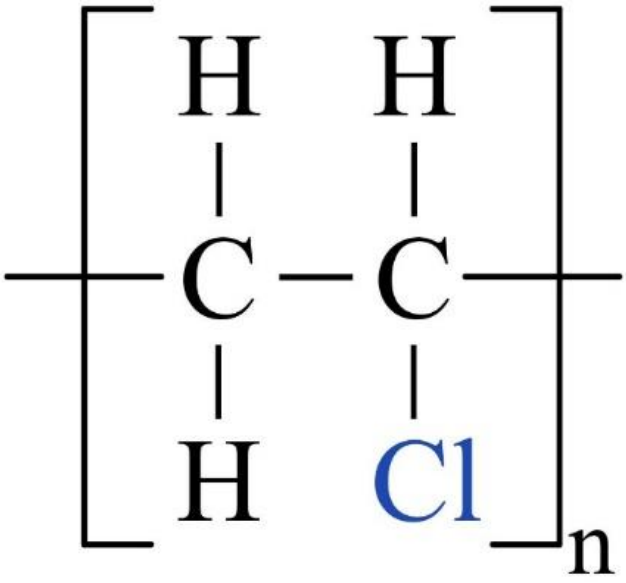
Polymerer har varierende egenskaper som er relatert til strukturelle elementer som danner polymerer (repeterende enheter). De egenskapene kan kontrollere i syntetiske polymere til en grad å konkurrere de naturlige polymere. I noen applikasjoner blir metall- og tredeler erstattet av plast, som har tilfredsstillende egenskaper og kan produseres til en lavere kostnad [28].

2.3.2. Polyvinylklorid (PVC)

PVC er en mye brukt polymer som framstilles ved å kombinere monomerer av vinylklorid [31]. PVC er relativt stiv plast med høy motstand mot slag, kjemikalier, korrosjon, vann og vær. Det høye klorinnholdet gir PVC kjemisk stabilitet, flammehemming, høy holdbarhet og høy termisk stabilitet[32].

PVC kan bli mykere og mer fleksibel ved tilsetning av myknere som ftalater. I PVC er for eksempel geomembran en mykner på ca. 25 % – 35 % av plastens totale vekt[33].

Eksponering for varme og lys er en grunn til nedbrytning av polymerer som gir opphav til misfarging og endring i fysiske egenskaper. Nedbrytning forårsaker også en drastisk endring i de mekaniske egenskapene [34]. Varmestabilisatorer forhindrer termisk nedbrytning av polymerer når de utsettes for forhøyet temperaturer og UV-stabilisator for forhindre nedbrytning på grunn av UV-stråling[35]. Figur 6 viser strukturformelen til PVC.

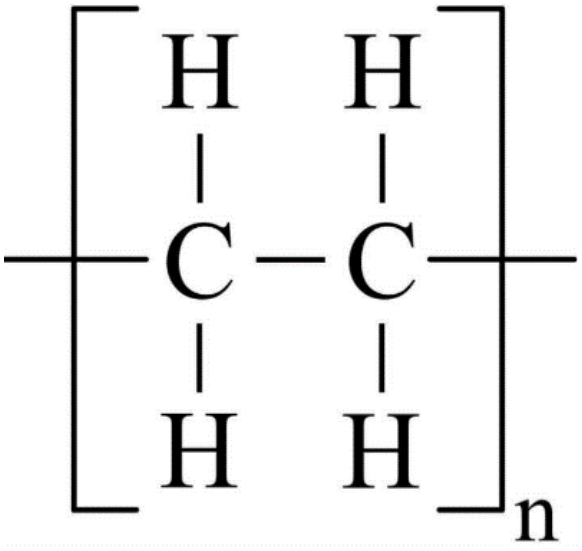


Figur 6: Strukturformel til PVC [26].

2.3.3. Polyetylen (PE)

Polyetylen er den vanligste, og mest kostnadseffektive plasten og har derfor flere bruksområder. PE kan enkelt bearbeides til ulike former og har egenskaper som egner seg til en rekke bruksområder. Høydensitetspolyetylen (HDPE) og lavdensitetspolyetylen (LDPE) er noen typer PE-plast. HDPE er lett og har god strekkfasthet, mens LDPE har god kjemikaliebestandighet, PE fremstilles ved polymerisering av etylengass. [36]

PE blir fremstilt ved bruk av varme, skjærkraft og oksygen, noe som er årsak til nedbrytning og dermed svekkelse av egenskapene. PE kan beskyttes mot nedbrytning gjennom tilsetninger avhengig av bruksområde. Disse tilsetningene inneholder vanligvis minst én hindret fenolisk antioksidant og en sekundær stabilisator, vanligvis en fosfor- eller svovelholdig forbindelse, men muligens mange andre komponenter, som lysstabilisatorer, fargestoffer, smøremidler og soppdrepende middel. [37] Strukturformelen for Polyetylen er vist i Figur 7.



Figur 7: Strukturformel til PE [28].

2.3.4 Kompositter

Kompositter er materialer som er sammensatt av to eller flere individuelle komponenter. Målet med denne sammensetningen er å skape et materiale som innehar en blanding av egenskaper, som er bedre enn det som kan oppnås ved bruk av enkelte komponentmaterialer alene. På denne måten kan kompositter inkorporere og forsterke de beste egenskapene fra hver av komponentmaterialene [28]. I dette prosjektet blir en kompositt-tekstil av PVC og PE brukt til å vurdere degradering av en dukpose i semi-lukkede oppdrettsanlegg.

2.3.4.1. Biobrane Aqua 1550

Biobrane Aqua 1550 er plasttekstilen Fiizk bruker i sine dukposer. Denne tekstilen består av polyetylenfiber som er belagt med PVC. PVC sveises på begge sidene av PE-fibrene for å danne en beskyttende og vannavisende overflate. Figur 8 viser hvordan polyetylenfibrene under PVC ser ut.

Figur 8: Bilde av tekstilen der PVC belegget er tatt av for å synliggjøre polyetylenfibrene.

Fra samtaler med Fiizk ble det informert om at tekstilen har en teoretisk levetid på 5-10 år, og blir skiftet ut ved behov. Tabell 4 viser de tekniske spesifikasjonene for Biobrane Aqua 1550. Materialet har en teoretisk tykkelse på 1,2 mm og en strekkfasthet på 1000/800 daN/5. Disse verdiene er å anse som minimumskrav som tekstilen må oppfylle.

Tabell 4: Datablad for Biobrane Aqua 1550 plasttekstil [38].

Biobrane Aqua 1550	
Vekt	1500 g/m^2 - EN ISO 2286-2
Strekkfashet (varp/veft)	1000/800 daN/5 cm - EN ISO 1421
skjærstyrke (varp/veft)	200/180 - DIN 53.363
Tykkelse	1,2 mm - EN ISO 5084
Adhesjon	15/15 daN/5 cm
Økotoksikologi	Giftfritt belegg

2.4. Nedbrytning av plast

Plast brytes svært langsomt ned. Plast i naturen kan ha en levetid på opp mot flere hundre år før materialet er borte. De mekaniske egenskapene i plastmaterialet vil derimot svekkes lenge før dette ettersom degraderingen av materialet er en viktig årsak til at svekkelse oppstår når de blir eldre. Degraderingen av plast vil påvirkes av faktorer som vær, vind, og UV-stråling.

Plasten som havner i naturen brytes ikke ned, men vil i stedet brytes opp til mindre og mindre biter. Denne nedbrytningen vil til slutt føre til at plasten blir til små biter som vil være vanskelig å se med det blotte øyet, dette er det vi kaller for mikroplast. Et eksempel på hvordan mikroplast fra Biobrane Aqua 1550 vil se ut er vist i Figur 9.

Mikroplast er på grunn av sin størrelse og store omfang nesten umulig å fjerne fra naturen ettersom dette er små fragmenter med størrelse mellom 0,001 og 5 mm. Mikroplast kan antas å finnes overalt i naturen, og er derfor et globalt forurensningsproblem [39].

Figur 9: Mikroplast fra Biobrane Aqua 1550.

Mikrofiber kan også kategoriseres som en undergruppe av mikroplast, der mikroplasten har fiberform og er laget av syntetiske materialer. Mikrofiber betegnes ofte som «mikroplast-tråder» der diameter er mindre enn 20 mikrometer, og lengden er over 5 mm [40]. Et eksempel på mikrofiber er vist i Figur 10, der fibrene er fra polyetylenfibrene på tekstilen Biobrane Aqua 1550

Figur 10: Mikrofiber Biobrane Aqua 1550.

Så mye som 20 til 35 prosent av kildene til mikroplast i havet kommer mikrofiber som benyttes i syntetiske klær og tekstiler [40]. Mikroplast og mikrofiber er derfor et stort miljøproblem da de påvirker økosystemer fysisk, kjemisk og biologisk da det blant annet har blitt funnet spor av mikroplast i fordøyelsessystemet, fileten og leveren til oppdrettslaksen [41]. Dette kan for fisken blant annet føre til lavere opptak av fôr, som videre demper veksten hos laksen[40].

2.4.1. Degradering av plast i ulike miljø

Degradering av skjer i hovedsak på to måter, disse er biotiske og abiotiske degraderingsfaktorer. Biotiske faktorer omfatter levende organismer i et økosystem, mens abiotiske er ikke-levende faktorer bryter ned materialet, som for eksempel mekanisk og termisk degradering [42].

Biotisk degradering skjer når mikroorganismer som bakterier, sopp eller alger bryter ned plastmaterialet. Dette skjer som en naturlig prosess, og hastigheten av nedbrytningen vil variere avhengig av plasttypen og miljøforholdene [43]. Dersom plast skal kunne brytes ned av bakterier eller sopp så må det være en gruppe enzymer tilgjengelig som fungerer som en katalysator, og som kan bruke plaststoffene som substrat for å danne en reaksjon [27].

Abiotisk degradering er dermed motsatt av biotisk degradering og beskriver derfor de kjemiske og fysiske forholdene som påvirker degraderingen av materialer. Dette er faktorer som temperatur, vind, nedbør og hydromorfologi. Hydromorfologi kan defineres som fysiske faktorer og hvordan påvirker omgivelsene i marine miljøer. Noen eksempler på hydromorfologiske faktorer er vannstrømning, tidevann, UV-stråling, isforhold, bølger og lignende. [40]

Kjemiske forhold inkluderer faktorer som pH og aldring. Dette innebærer at plasten brytes ned gjennom kjemiske reaksjoner, som ofte involverer varme, lys, oksidasjon eller andre ytre påvirkninger. I løpet av denne prosessen blir plastmolekylene brutt ned i mindre deler, og til slutt kan de bli til enkle organiske forbindelser. Kjemisk degradering kan resultere i utslipp av miljøskadelige stoffer, dette er blant avhengig av plasttypen og hvilke typer myknere som er tilsatt plasten [27]. Dioktylftalat er blant annet en oljeaktig kjemisk forbindelse som er mye brukt som mykningsmiddel for PVC [44].

2.4.2. Andre fysiske påvirkninger

I marine omgivelser utsettes plastmaterialer for kontinuerlig mekanisk belastning på grunn av at omgivelsene alltid er i bevegelse. Mekanisk degradering innebærer at plasten blir fragmentert av ytre krefter, for eksempel bølger, vind, havstrømmer, eller som menneskelige årsaker vedlikehold eller uhell som fører til støtskader og rifter i materialet[45].

Under mekanisk nedbrytning brytes ikke plastens kjemiske bindinger, men degraderingen fører imidlertid til at materialet blir mer mottakelig for ytterligere nedbrytning via andre nedbrytningsmekanismer.

Plasttekstilen som benyttes i dukposen er LDPE belagt med PVC. Dersom det oppstår rifter på dette belegget risikerer man at blant annet UV-stråling kan øke degraderingshastigheten av duken ettersom LDPE er mindre motstandsdyktig mot UV-belysning[46].

Mekanisk nedbrytning påvirker den mekaniske stabiliteten og vekten til plastavfallet, og fører til at større plastbiter gradvis blir brutt ned til mindre partikler. Det er viktig å legge merke til at påvirkningsgraden av mekanisk nedbrytning vil variere avhengig av plasttypen og dens egenskaper. For eksempel vil plastfibre, som har lav vekt og en fleksibel struktur, ikke bli påvirket i samme grad av mekanisk slitasje som større plastkomponenter med høyere vekt og lavere fleksibilitet [47].

2.5. Begrensinger i oppgaven

I oppgaven blir det undersøkt effekt av UV-stråling og saltvann som skal simulere et marint miljø.

2.5.1. UV-effekt

Materialer som plast og treverk som brukes utendørs, har en tendens til å være følsomme for UV-stråling. Dette kan føre til en betydelig reduksjon i levetiden til materialene under eksponering for UV-stråling over tid. Eksperimentelt vil effekten av de ulike typer lysindusert skade øke eksponentielt med avtaende bølgelengde til strålingen som materialene utsettes for. Derfor vil en liten økning i energien av UV-stråling, spesielt UVB-stråling, føre til betydelig reduksjon i levetid til plastmaterialer[48].

Generelt har UV stråling nok energi til å penetrere og påvirke atomer og deres elektroner. Energien er derfor nok til å endre atomstrukturen, og kan bryte bindingene som vil føre til kryssdannelse eller splittelse. Etter forlenget effekt av UV stråling vil de fleste polymerer bli skjøre, misfarget, danne sprekker og feile [28].

2.5.2. Effekt av vann

I våte miljøer vil polymere oppleve svelling. Dette skjer på grunn av at væsken fyller tomrommene mellom molekylene. Væsken som befinner seg i mellomrommene til molekylene ekspanderer og sveller opp polymeren. Økningen mellom kjedene fører til en reduksjon av de sekundære intermolekylære bindingskreftene, som gjør at polymere blir mykere og mer duktilt [28].

Alle polymerer er korrosjonsresistente i saltvann, men noen kan absorbere opp til 5 % saltvann og svelle opp. Både PE og PVC skal ha god motstand mot absorbsjon av saltvann, men mengden som absorberes kan øke ved høyere temperaturer. [46]

2.6. Tidligere arbeid

UV eksponering på polyetylen har blitt gjort tidligere i NTNU's materiallab på Kalvskinnet. Resultater fra disse forsøkene viste poredannelser, misfarging/overflateendringer, masseendring og endring i strekkfasthet [49]. Det ble også gjort strekktester på kunstgressfiber av PE med egen metode. De eksperimenterte med dobbeltsidig teip og sandpapir for å få økt friksjon [50].

2.7. Økonomi og Bærekraft

Fra et økonomisk perspektiv har plasttekstiler mange fordeler. De er ofte billige å produsere og har en relativt høy slitestyrke, og man har muligheten til å tilpasse egenskaper gjennom bruk av forskjellige polymerer og tilsetningsstoffer. Dette kan føre til lengre levetid for produktene, noe som kan redusere kostnadene på lang sikt. Imidlertid kan det også være økte kostnader knyttet til behandling og resirkulering av plasttekstiler, spesielt hvis de inneholder skadelige tilsetningsstoffer. [51]

Når det gjelder bærekraft, er det flere problemer som må vurderes. Plasttekstiler er ofte laget av petroleum, som er en ikke-fornybar ressurs, og produksjonen kan være energiintensiv og produsere betydelige mengder klimagassutslipp. I tillegg er plasttekstiler ofte ikke biologisk nedbrytbare og kan ta flere hundre år å bryte ned i miljøet. Dette har ført til betydelige problemer med plastavfall, spesielt i havet. [51]

FNs bærekraftsmål består av 17 mål og 169 delmål. Disse målene skal fungere som en veiledning for samfunnet der formålet er å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030 [52]. Bærekraftsmålene er vist i Figur 11.

Figur 11: FNs Bærekraftsmål [53].

Selv om alle målene er veiledende for å oppnå et globalt bærekraftig samfunn, så vil de også være viktige å ta hensyn til ved flytende akvakulturanlegg. Mål 12 omhandler ansvarlig forbruk og produksjon, der formålet er å sikre bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre. Plastavfall fra oppdrettsmerder kan ha alvorlige konsekvenser for miljøet i havet. Det er viktig å fremme bærekraftig forbruk og produksjon ved å redusere plastavfall, gjenbruke og resirkulere materialer, og forlenge brukstiden for plastmaterialene der det er mulig [53]. Delmål 12.4 konkretiserer dette videre.

Delmål 12.4 *«Innen 2020 oppnå en mer miljøvennlig forvaltning av kjemikalier og alle former for avfall gjennom hele livssyklusen, i samsvar med internasjonalt vedtatte rammeverk, og betydelig redusere utslipp av kjemikalier og avfall til luft, vann og jord for mest mulig å begrense skadevirkningene for folkehelsen og for miljøet»[53]*

Bærekraftsmål 14, også kjent som «Livet i havet» går ut på at man skal bevare og bærekraftig utnytte havressurser for å minimere miljøbelastningen. Dette inkluderer blant annet beskyttelse av økosystemer, som for eksempel bestanden av villaks, og reduksjon av forurensning i havet. Plast i havet er et stort miljøproblem ettersom opptil 20 prosent av den totale plastforurensningen i verden kommer fra fiskeri og marine næringer som for eksempel oppdrettsanlegg [54].

Nedbrytning av plastavfall fra oppdrettsnæringen kan ha direkte og indirekte konsekvenser for havets økosystem. Det er viktig å sikre en trygg og bærekraftig bruk av materialer i oppdrettsnæringen for å minimere påvirkningen på livet i havet. Dette inkluderer å redusere

forurensning og avfall fra hele næringen. Det er deriblant satt som mål at man innen 2025 skal forhindre og i betydelig grad redusere alle former for havforurensning [52].

Ved å forlenge levetiden til slitedeler gjennom bedre design, høyere kvalitetsmaterialer, eller forbedret vedlikehold, kan man redusere det totale forbruket av disse delene. Dette kan medføre økonomiske besparelser i form av reduserte produktinvesteringer, og også redusert miljøpåvirkning gjennom mindre avfall og mindre behov for produksjon.

2.8. Standarder for å bestemme levetiden

For å analyse plastnedbrytning, kan det brukes to tilnærminger. Den første tilnærmingen, vurderer eliminering av små molekyler gjennom kjemiske endringer (hydrofobicitet, funksjonelle grupper) i polymerstruktur. Den andre tilnærmingen vurderer fysiske endringer i materialegenskaper som endring i styrke, overflatemorfologi, krystallinitet, osv [55].

Beregning av massetap kan også benyttes, og vil i mange tilfeller være enklere å gjennomføre. Denne metoden blir blant annet brukt til å vurdere nedbrytning av i jord, kompost og mikrobiell vekst i laboratoriemiljøer. I første fase av nedbrytning, vil massetap være ubetydelig. I stedet kan massen faktisk øke ved korte eksponeringstider på grunn av oksygeninkorporering og mikroorganismer, avfall og annet rusk som kan samle seg i overflatesprekker og groper som utvikles under nedbrytning. Derfor er det nødvendig med ekstremt lange eksperimentelle tider for å oppnå meningsfulle resultater. [55]

Mekanisk analyse (DMA) er en metode som brukes for å karakterisere polymerstyrke. Endringer i strekkfastheten og bruddforlengelsen er en indikatorer på fysisk forringelse under polymernedbrytning. Endringer i disse mekaniske egenskapene er assosiert med dannelse av sprekker og porer ved overflaten, samt reduksjon i molekylvekt [55].

2.8.1. Teoretisk miljøsimulering

En miljøsimulering av UV-effekt kan gjennomføres i et UV-kammer. Formel 1 og 2 gir antall ekvivalente dager i miljøet som tilsvarer simuleringstid kontinuerlig belysning [56].

$$irrdiance\ (Wh \cdot m^{-2}) = irr\ (w \cdot m^{-2}) \cdot n \qquad 1$$

$$N = \frac{irrdiance\ (Wh \cdot m^{-2}) \cdot 365\ \ dag \cdot år^{-1}}{gjennomsnittlig\ UV - eksponering\ \left(\frac{Wh}{m^2 \cdot år}\right)} \qquad 2$$

n: antall timer eksponert i UV-kammer.

N: antall ekvivalente dager i miljøet.

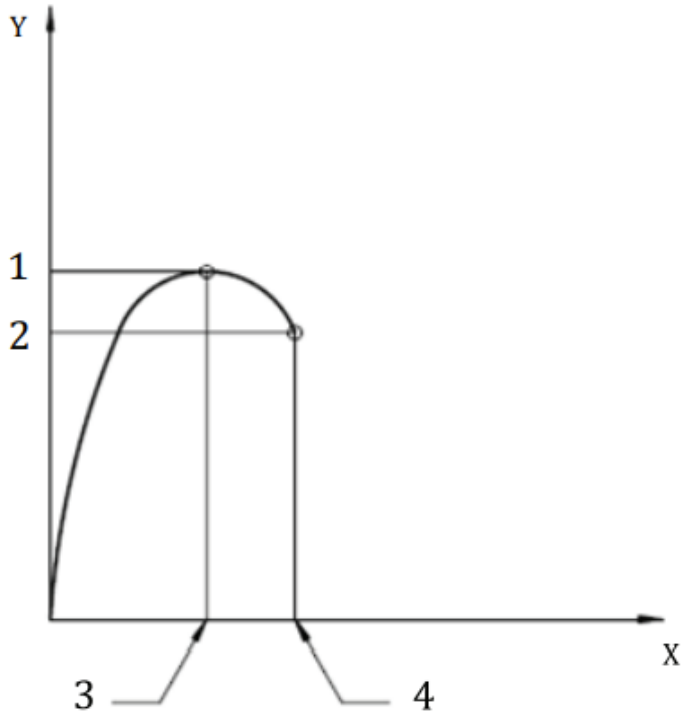
irr: irrdiance fra UV-kammer [$irrdiance$]

2.8.2. Strekktest

Strekktest er en av de mest brukte metodene for å evaluere feil i kompositttmaterialer [57].

Strekktest er en destruktiv test som innebærer å innspenne en prøve i to ender med klemmer og utsette prøvestykke for spenning langs en akse. Det er to typer deformasjon: elastisk og plastisk. Elastisk/lineær deformasjon er ikke permanente deformasjoner, mens plastisk deformasjon er permanente, hvor fibrene strekkes slik at de ikke kan gjenopprette sin opprinnelige tilstand. [28]

Figur 12 viser eksempel på belastning-forlengelse-kurve for en tekstil.



Key

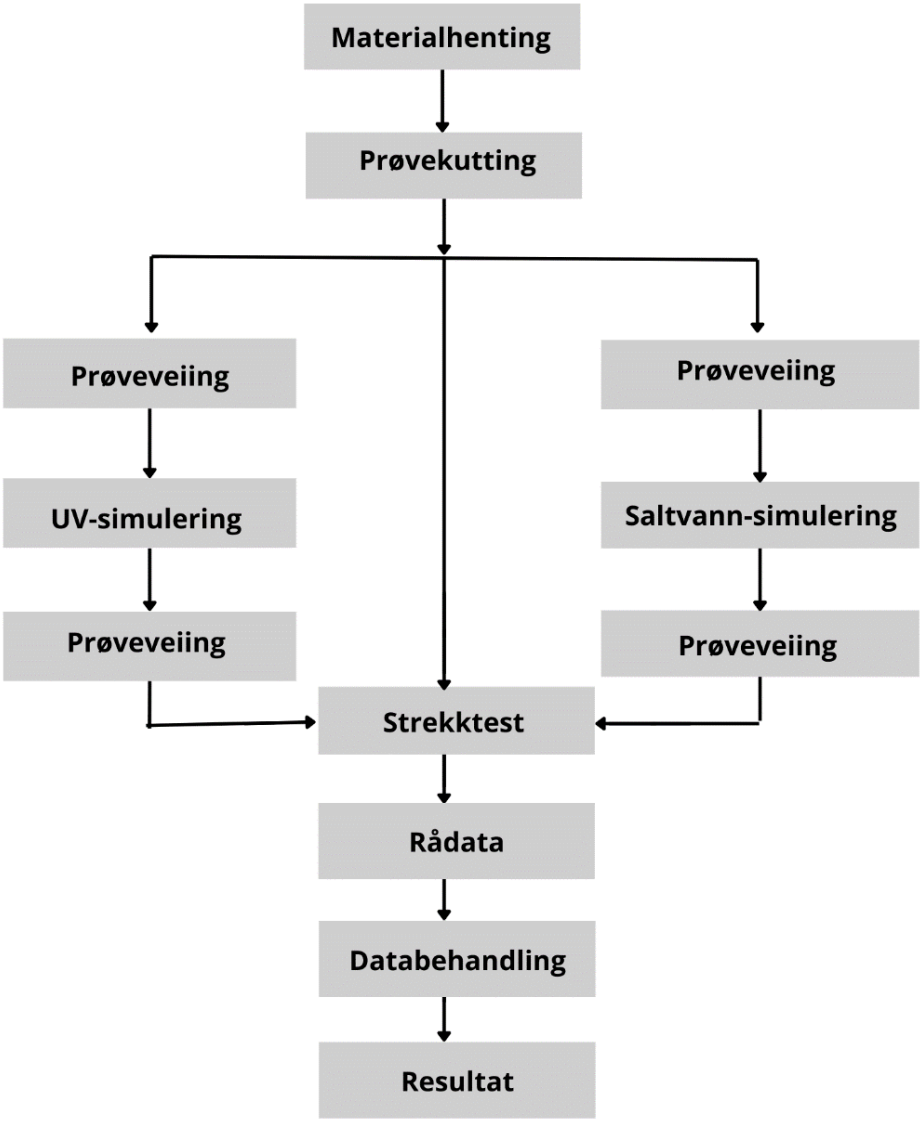
X	elongation, *E*
Y	force
1	maximum force
2	force at break
3	elongation at maximum force
4	elongation at break

Figur 12: Eksempel på hvordan strekkfastheten til plasttekstilen kan se ut [58].

Strekktest gjennomført etter standard ISO 1421:2016 vil rapportere om maksimal belastning, og belastning ved brudd. I tillegg til dette rapporteres informasjon om forlengelse ved maksimal belastning og forlengelse ved brudd [58].

3. Metode

Figur 13 viser fremgangsmåten som ble brukt i forsøket. Alle prøvene ble kuttet og videre fordelt mellom gruppene «saltvannsimulering», «UV-simulering» og «usimulerte prøver». Prøvene som ble plassert i kammer ble veid før og etter for å kontrollere vektendring. Alle prøvene ble deretter strekktestet og videre sammenlignet.



Figur 13: Stegvis prosess fra materialhenting til resultat.

3.1. Materialhenting

Materiale ble hentet hentet fra Fiizks anlegg på Lundamo, Trondheim den 28. februar 2023.

3.2. Kutting av prøver

Prøvene ble kuttet etter standard ISO 1421:2016 før videre testing. Disse ble kuttet for hånd. Figur 14 viser utstyret som ble brukt for kuttingen av materialet. Basert på ISO 1421:2016 måtte prøvene bli kuttet langs fibrene i to retninger, langs høyderetningen og bredderetningen. Størrelsen måtte være 1 cm bredde og 25 cm høyde, men på grunn av kutte metoden var det stor variasjon i bredde, samt ujevnt bredde.

Figur 14: Utstyr for klipping av prøver.

Prøvene ble gruppert i seks grupper, A, B, C, D, K og N. Gruppene A, B, C og D, gikk gjennom UV-simulering i UV-kammer, deretter ble de testet i strekkmaskin. Gruppe K gikk gjennom saltvann-simulering i korrosjonskammer før de deretter ble testet i strekkmaskin. Gruppe N ble testet i strekkmaskin som usimulert materiale. De ferdigkuttede prøvene er vist i Figur 15.

Figur 15: Ferdigkuttede prøver.

Det ble kuttet 5 prøver i bredderetning og 5 i høyderetning på størrelser 5, 10, 15 og 20 mm bredde for gjennomføring av strekktest. De prøvene ble kalt, N5, N10, N15 og N20. Målet med disse prøvene var å se på forholdet mellom prøvebredde og belastning ved strekkfasthet. Forholdet skal være lineært, men det ble oppdaget variasjoner i testfasen, som kunne skyldes variasjoner i prøvestørrelse og innspenning. Antall prøver for hver gruppe er listet i Tabell 5.

Tabell 5: Antall prøver for hver gruppe.

Prøvegruppe	Antall prøver i bredderetning	Antall prøver i høyderetning
N5	5	5
N10	5	5
N15	5	5
N20	5	5
A	10	10
B	10	10
C	10	10
D	10	10
K	30	30
Totalt	90	90

3.3. Veiing av prøver

Prøvene ble veid med Balance XS204 fra METTLER TOLEDO med 0,1 mg nøyaktighet før og etter UV-eksponering og saltvann-eksponering. Oppsettet av hvordan prøvene ble veid er vist i Figur 16. Begerglasset ble plassert på vekten og nullet ut. Deretter ble hver prøve plassert i begerglasset og avlesningen ble gjort etter at vekten hadde stabilisert seg, vanligvis etter et par sekunder.

Figur 16: Oppsett for veiing av prøver.

3.4. UV-eksponering

Prøvene ble utsatt til UV-stråling i UV-kammer for å simulere UV-effekt. Formel 1 og 2 ble brukt for å beregne antall eksponeringsdager i virkelig miljø. Gjennomsnittlig UV-eksponering ble estimert til å være 4 $kWh \cdot m^2$. Estimeringsberegning er forklart i vedlegg A ut fra informasjonen i delkapittel 2.1.4.

Simulering ble gjennomført i UV Accelerated Weathering Tester (LU-8047-TM) fra Q-LAB vist i Figur 17. Det bli brukt standard ASMT G154 i simuleringen. En eksponering syklus var delt i inn to steg. Først ble prøvene utsatt for UV-stråling med irradiansen på 1,55 $W \cdot m^{-2}$ og temperatur 60 ℃ i 8 timer. Deretter ble prøvene utsatt for kondensasjon med temperatur 50 ℃ i 3:45 timer. Først ble prøvene veid. Deretter ble prøvene festet i prøvebeholdere vist i Figur 18.

Figur 17: UV Accelerated Weathering Tester (LU-8047-TM).

Figur 18: Ferdigkutteda prøver i prøvebeholderne til UV-kammer.

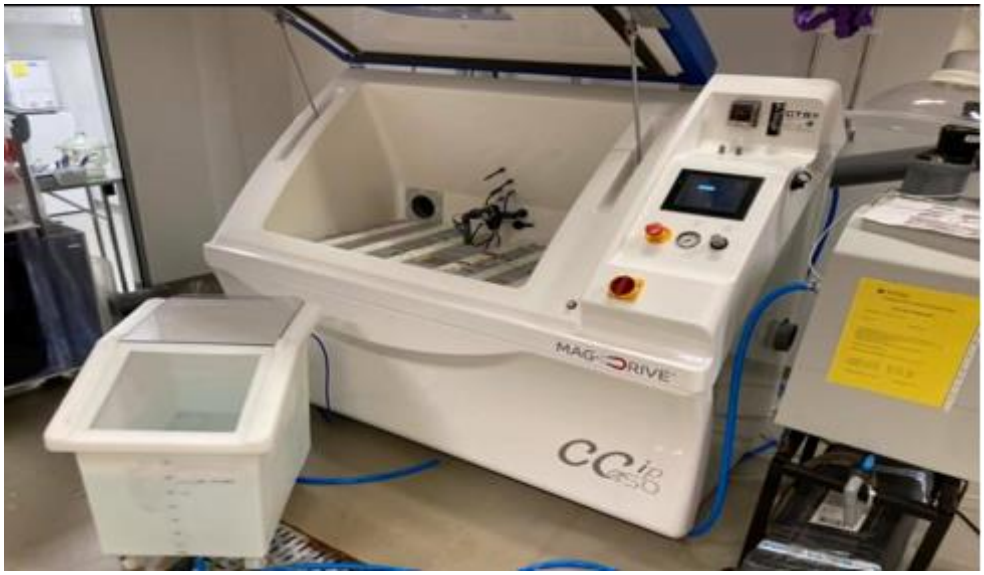
Gjennom simulering ble UV Accelerated Weathering Tester stoppet 5 ganger uten at stopptiden ble rapportert nøyaktig. Uttaav prøvegrupper ble gjort etter, 14 dager, 28 dager, 42 dager og 28 dager. Tabell 6 viser startdato, utakkdato og antall eksponerings timer for UV-stråling for prøvegrupper.

Tabell 6: Viser start, og uttaksdatoer for prøver i UV-simulering.

Prøvegrupper	Antall prøver	Startdato	Utakksdato	Antall sykluser	Total simuleringstid [t]	UV-eksponerings timer [t]
A	10×2	17.03	31.03	23,32	274	186
B	10×2	17.03	14.04	41,36	486	331
C	10×2	31.03	28.04	46,51	546,5	372
D	10×2	17.03	28.04	69,79	820,5	558

3.5. Saltvann-eksponering

Prøvene ble satt i Ascott S450iP korrosjonskammer, vist i Figur 19, og fulgte standarden: ASTM G85 A3.



Figur 19: Ascott S450iP korrosjonskammer.

Saltvannløsning var bestående av destillert vann og 3,5 wt% NaCl. Programmet varte fra 29.03-28.04, men stoppet mellom 07.04-12.04, totalt 26 dager. Figur 20 og Figur 21 viser prøvene før og etter simuleringsstart.

Figur 20: Prøver i korrosjonskammer før.

Figur 21: Prøver i korrosjonskammer etter.

3.4. Strekktest

Strekktesten ble gjennomført etter ISO 1421:2016 standarden metode 1: Strip test. Det ble gjort tilpasninger på metoden basert på tilgjengelige utstyr og innspenning slik at glipp og brudd nær klemmen ikke forekom. Strekkmaskin Instron 5982 vist i Figur 22 ble brukt for gjennomføring av testene.

Figur 22: Strekkmaskin Instron 5982.

Testing ble gjennomført i normal atmosfære ved 22 ºC. Tøyningshastigheten ble satt til en konstant hastighet på 100 mm/min ± 10 mm/min inntil brudd oppstod Maskinen ble innstilt til å stoppe målingene av seg selv hvis strekkfastheten falt med 80 % etter at den hadde nådd minst 100 N.

Det ble målt bredde og tykkelse for hver prøve før testing, og det ble målt maksimal belastning, belastning ved brudd og forlengelse under testing. Testing ble gjennomført gruppevis for alle gruppene.

Tester skal fortsettes til det er fått fem gyldige tester av hver gruppe. En gyldig test er en test som:

- Ikke glipper mer 2 mm.
- Ikke opplever brudd innenfor 5 mm av klemmen.

3.5.1. Standardisering

Det ble gjennomført flere tester på usimulerte prøver for å løse eventuelle problemer, og bli kjent med strekkmaskin. Prøvene som ble brukt i de testene var nye prøver. Testene startet med testelengde på 200 mm og innfestningslengde på 20 mm × 2.

Første metode: her ble det brukt teksturerte klemmer. Brudd oppstod ved klemmen i alle de prøvene som ble testet. Figur 23 viser brudd ved klemmen. Resultatet fra første forsøk var at metoden trengte forbedring ettersom resultatene var ugyldige i henhold til standarden da bruddet ble for nærme klemmene.

Figur 23: Strekkmaskin Instron 5982.

Andre metode: Her ble det brukt sandwich metode for å feste prøvene. To rektangulære biter av samme materiale ble det satt på prøven på begge sider. Det skjedde glipp i de fleste tester. Underveis ble klemmedybde justert fra 20 mm til 40 mm for å finne ut hvilken klemmedybde som var best. Resultatet fra andre forsøk var at metoden trenger forbedring.

Tredje metode: Her ble det introdusert bruk av metallplater. Platene ble limt på klemmene. Det skjedde glipp i de fleste tester. Resultatet fra tredje forsøk var at metoden trenger forbedring

Fjerde metode: Det ble brukt lim til å lime rektangulære biter av samme materiale på begge sider av prøver ved innfestningsoverflaten. Prøven er vist i Figur 24. Resultatene ble gyldige men det var fortsatt forbedringspotensiale. Derfor ble testelengden justert fra 200 mm til 150 mm for å øke innfestningslengde for UV-prøver fra 20 mm til 40 mm.

I alle innstrammingsmetodene ble det vanskelig å holde forspenning på 2 N som er forspenningsverdi for dette materiale basert på tetthet (kg/m^2) ifølge ISO 1421:2016.

3.5.2. Prøvepreparering

Prøvestørrelsen var på 10 mm × 230 mm. Testelengde på 150 mm og innfestningslengde ca. 40 mm × 2. Fire rektangulære biter av samme materiale med bredde 11 mm og lengde 40 mm, ble limt på innfestningsoverflaten ved bruk av lynlim av type cyanoakrylat.

Figur 24: Ferdiglimt testprøve.

3.6. Databehandling

Data fra vektmåling og strekktestene ble behandlet i Python. Vedlegg C inneholder rådata for vektmåling og fra strekktestene. Rådata for belastning-forlengelse og vektmåling er vedlagt i Vedlegg G. Vedlegg D inneholder Python-koder, disse er også vedlagt i Vedlegg G «Bacheloroppgave IMA-B-20-2023» som blir vedlagt oppgaven som en egen digital komprimert fil.

Det ble beregnet gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall (t-fordeling). Vedlegg F inneholder $t_{\alpha/2}$ verdier [59].

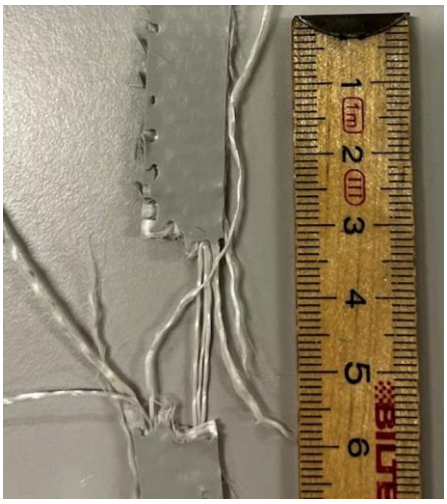
Det ble brukt minste kvadraters metode for lineær regresjon.

4. Resultater

4.1. Strekktest

Figur 25a viser brudd i to prøver av gruppe N10. Prøvene i denne gruppen ble testet som usimulerte prøver. Prøve 2 til høyre er i bredderetning har strekkfasthet på 964 N, belastning ved brudd på 809 N og forlengelse ved brudd på 36,63 mm. Prøve 2 i høyderetning til venstre har strekkfasthet på 964 N, belastning ved brudd på 809 N og forlengelse ved brudd på 36,63 mm. Figur 25b viser brudd i prøve 5 i bredderetning som ble testet i korrosjonskammer som ble testet i korrosjonskammer. Prøven har strekkfasthet på 1647 N, belastning ved brudd på 1366 N og forlengelse ved brudd på 37,77 mm.

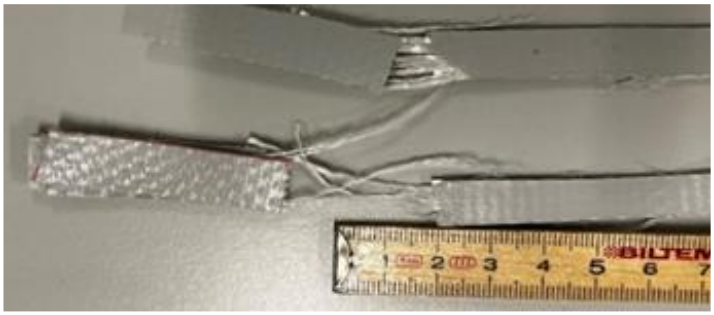
a) Brudd av prøve 2 i bredderetning til høyre og prøve 2 i høyderetning av gruppe N10.



b) 10 av gruppe K i bredderetning.

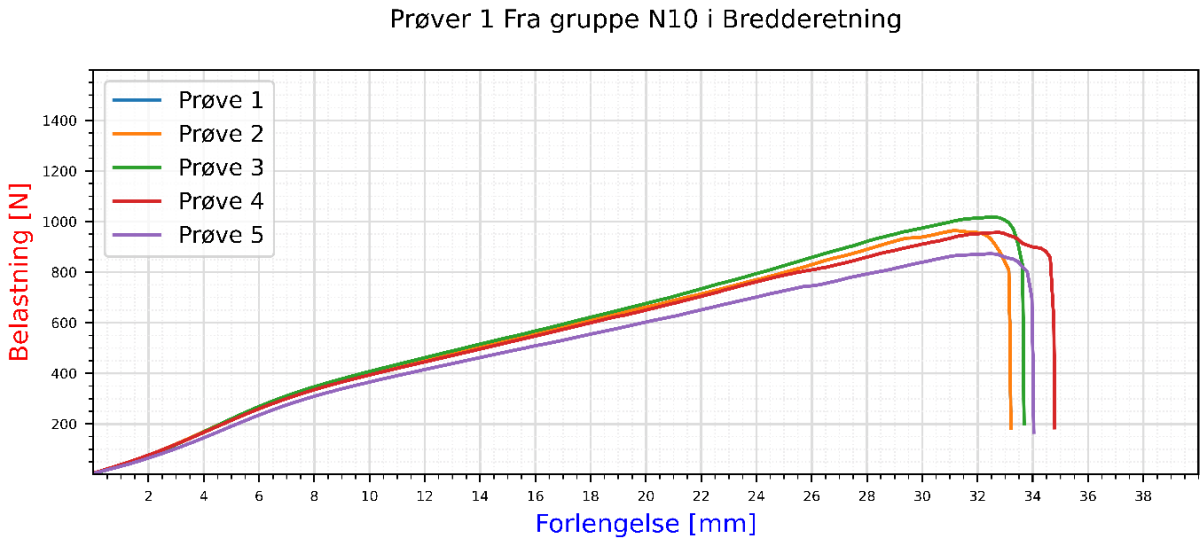
Figur 25: Brudd i tre prøver etter strekktest.

Figur 26 viser to ugyldige prøver på grunn av brudd ved klemmen. Prøve 4 fra gruppe A i bredderetning nederst på figuren hadde strekkfasthet på 718 N, belastning ved brudd på 379 N og forlengelse ved brudd på 35,97 mm. Prøve 4 av gruppe B i høyderetning øverst på figuren hadde strekkfasthet på 1806 N, belastning ved brudd på 1343 N og forlengelse ved brudd på 46,61 mm.



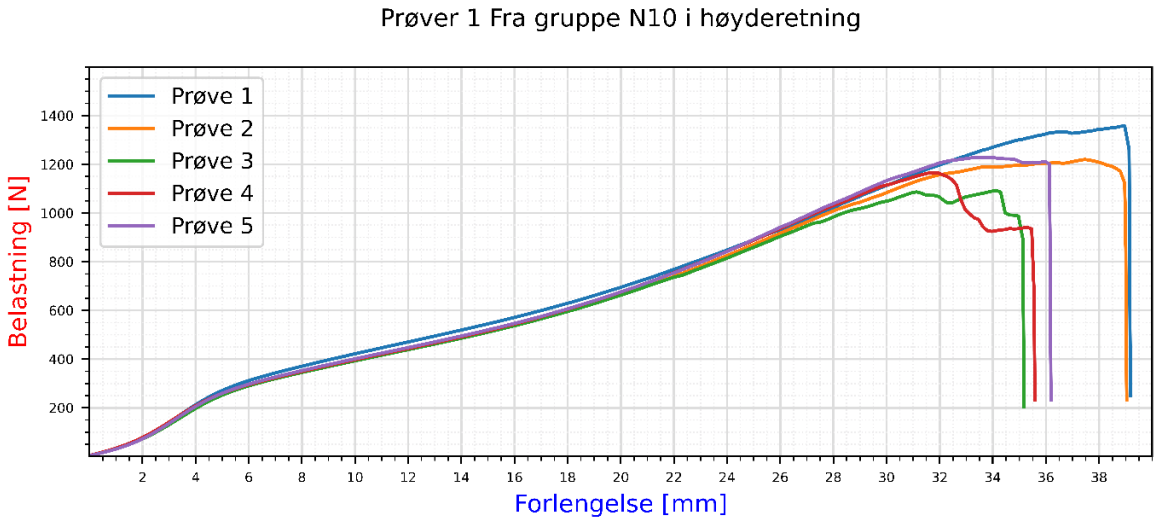
Figur 26: Brudd ved klemmen for prøve 4 i gruppe A i bredderetning og prøve 4 i gruppe B i høyderetning.

Figur 27 viser belastning-forlengelse-kurver for prøver av gruppe N10 i bredderetning. Denne gruppen har gjennomsnittlig verdi for strekkfasthet på 933 $\pm$ 68 N, gjennomsnittlig verdi for belastning ved brudd på 731 $\pm$ 161 N, og gjennomsnittlig forlengelse ved brudd på 35 $\pm$ 1 mm.



Figur 27: Strekktest-resultater for N10 i bredderetning.

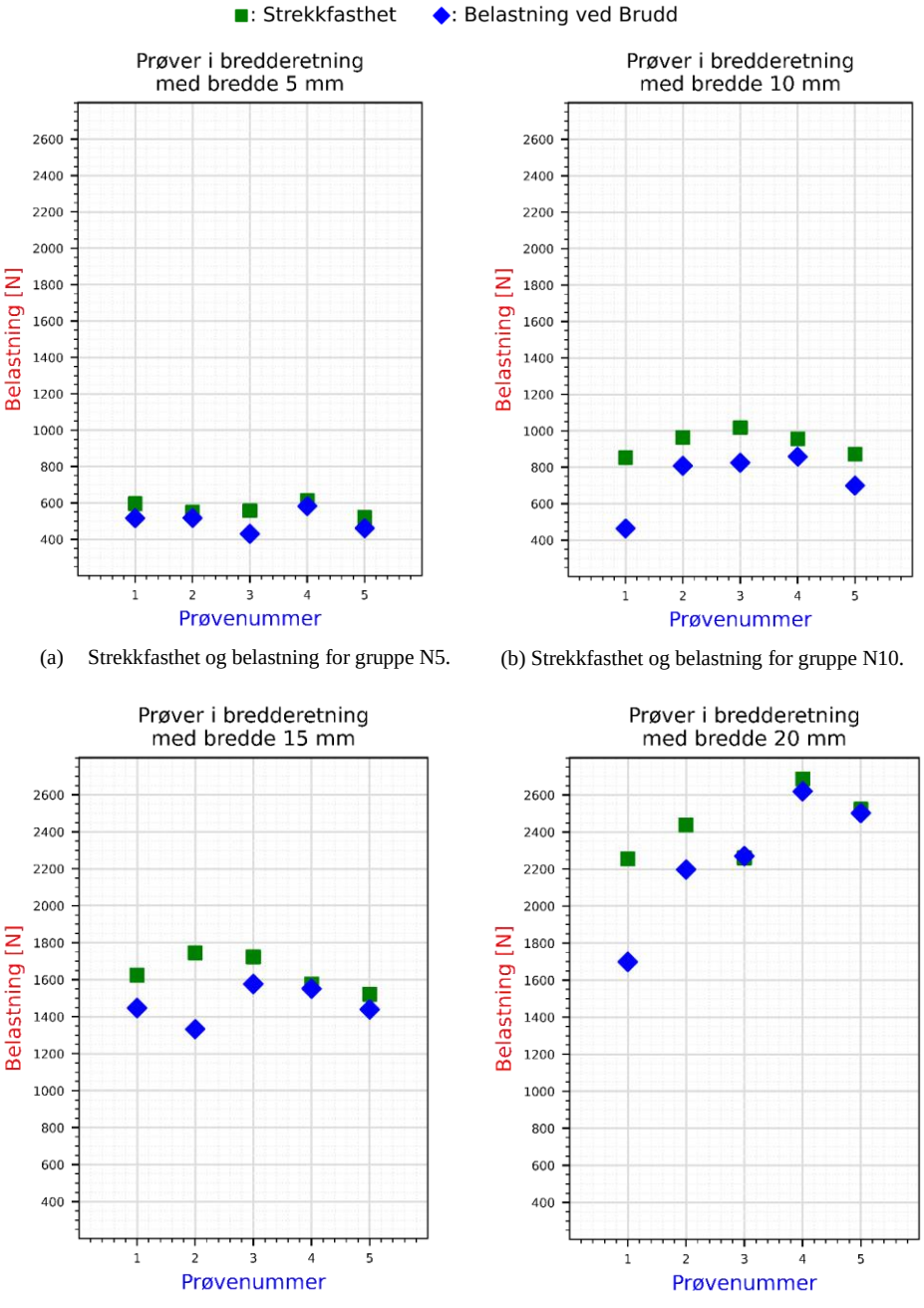
Figur 28 viser belastning-forlengelse-kurver for prøver av gruppe N10 i Høyderetning. Denne gruppen har gjennomsnittlig verdi for strekkfasthet på 1179 $\pm$ 107 N, gjennomsnittlig verdi for belastning ved brudd på 1062 $\pm$ 150 N, og gjennomsnittlig forlengelse ved brudd på 37 $\pm$ 2 mm.



Figur 28: Strekktes-resultater for N10 i høyderetning.

4.2. Nye prøver med ulik bredde

Figur 29 viser strekkfasthet og belastning ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i bredderetning. Figur 29a viser strekkfasthet og belastning ved brudd til gruppe N5 som har laveste verdier i forhold til de ander gruppene av klasse N (usimulerte). Figur 29b viser prøver i gruppe N10, Figur 29c viser prøver i gruppe N15 og Figur 28d viser grupper i N20.



(a) Strekkfasthet og belastning for gruppe N5.

(b) Strekkfasthet og belastning for gruppe N10.

(c) Strekkfasthet og belastning for gruppe N15.

(d) Strekkfasthet og belastning for gruppe N20.

Figur 29: Strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper N5, N10, N15 og N20.

Tabell 7 viser gjennomsnittlig verdi ($\bar{x}$), standardavvik (σ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i bredderetning. Verdiene øver med økende bredde på prøven. Det vil si fra N5 til N20.

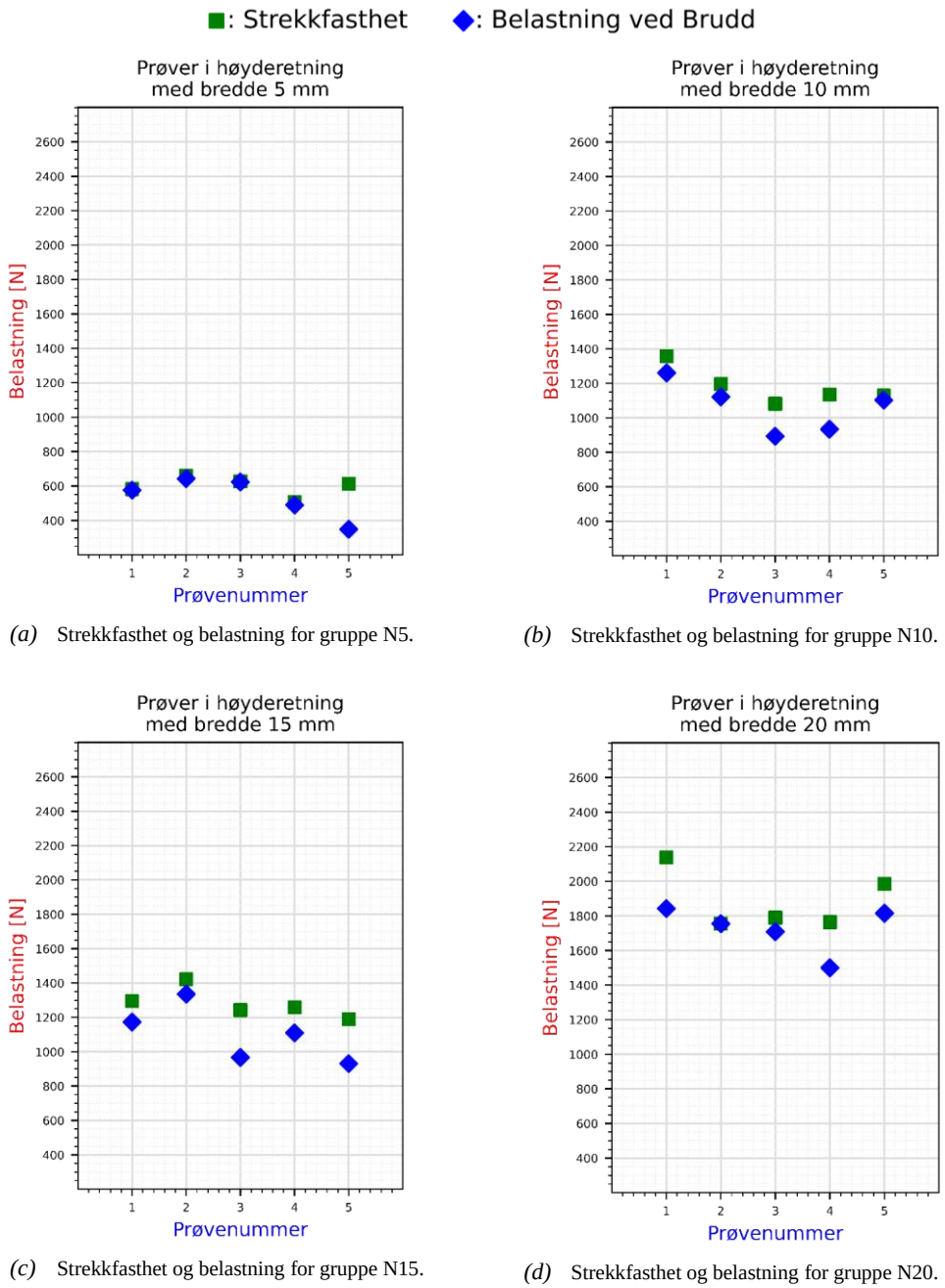
Tabell 7: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i bredderetning.

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Strekkfasthet [N]	95%-konfidensintervall [N]
5 mm	567 ± 38	$[515, 620]$
10 mm	933 ± 68	$[838, 1027]$
15 mm	1638 ± 96	$[1505, 1771]$
20 mm	2433 ± 183	$[2178 , 2687]$

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Belastning ved brudd [N]	95%-konfidensintervall [N]
5 mm	502 ± 59	[420, 583]
10 mm	731 ± 161	[508, 954]
15 mm	1469 ± 98	[1333, 1605]
20 mm	2258 ± 356	[1764, 2752]

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Forlengelse [mm]	95%-konfidensintervall [mm]
5 mm	35 ± 1	[33, 37]
10 mm	35 ± 1	[33, 37]
15 mm	40 ± 1	[38, 42]
20 mm	45 ± 6	[37, 52]

Figur 30 viser strekkfasthet og belastning ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i høyderetning. Figur 30a viser strekkfasthet og belastning ved brudd til gruppe N5 som har laveste verdier i forhold til de ander gruppene av klasse N (usimulerte). Figur 30b viser prøver i gruppe N10, Figur 30c viser prøver i gruppe N15 og Figur 30d viser grupper i N20.



(a) Strekkfasthet og belastning for gruppe N5.

(b) Strekkfasthet og belastning for gruppe N10.

(c) Strekkfasthet og belastning for gruppe N15.

(d) Strekkfasthet og belastning for gruppe N20.

Figur 30: Strekkfasthet og belastning ved brudd for gruppe N5, N10, N15 og N20.

Tabell 8 viser gjennomsnittlig verdi ($\bar{x}$), standardavvik (σ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i høyderetning. Verdiene øver med økende bredde på prøven. Det vil si fra N5 til N20.

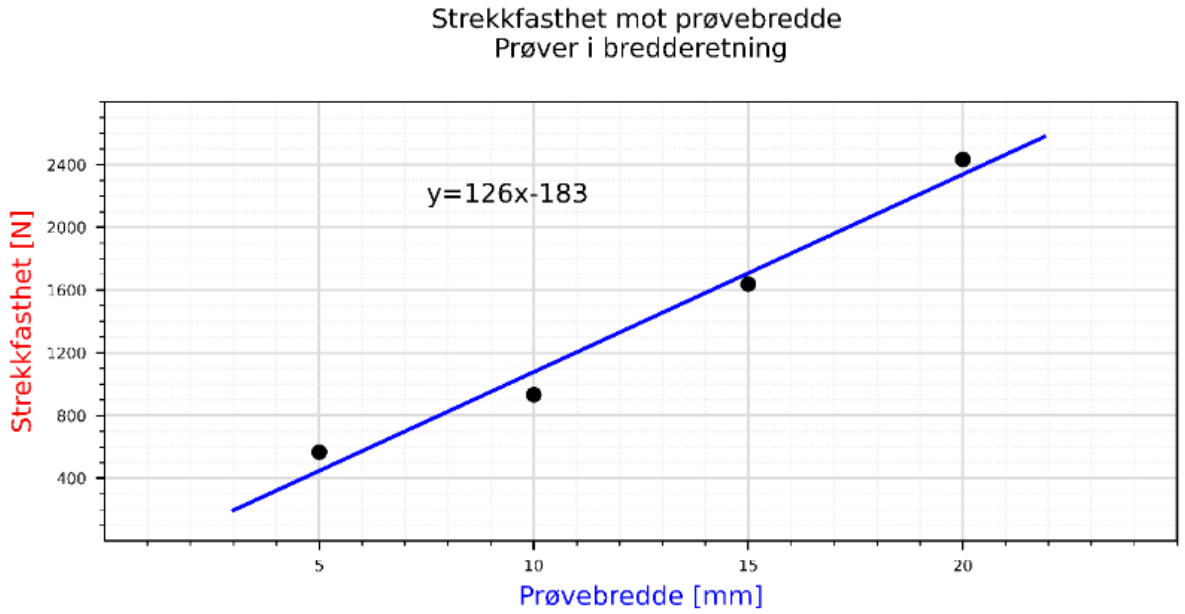
Tabell 8: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene N5, N10, N15 og N20 i høyderetning.

Gruppe	$\overline{x} \pm \sigma$ Strekkfasthet [N]	95%-konfidensintervall [N]
5 mm	598 ± 58	[518, 679]
10 mm	1179 ± 107	[1031, 1328]
15 mm	1282 ± 87	[1161, 1403]
20 mm	1887 ± 170	[1651, 2122]

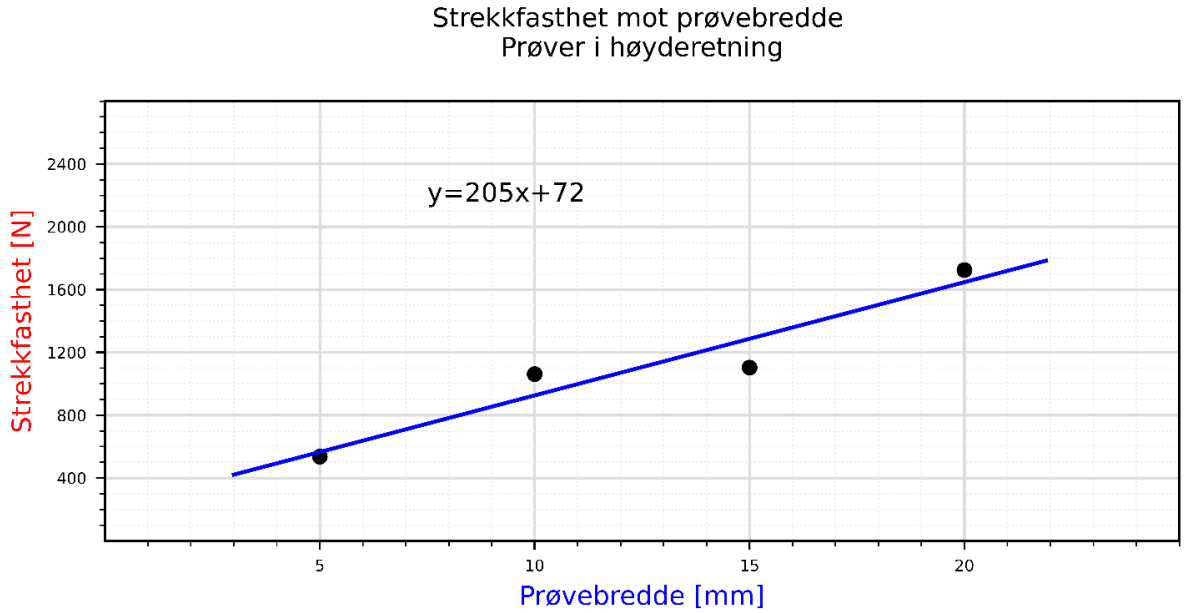
Gruppe	$\overline{x} \pm \sigma$ Belastning ved brudd [N]	95%-konfidensintervall [N]
5 mm	536 ± 120	[369, 703]
10 mm	1062 ± 150	[855, 1270]
15 mm	1103 ± 64	[876, 1330]
20 mm	1724 ± 136	[1536, 1913]

Gruppe	$\overline{x} \pm \sigma$ Forlengelse [mm]	95%-konfidensintervall [mm]
5 mm	36 ± 2	[33, 40]
10 mm	37 ± 2	[34, 40]
15 mm	40 ± 3	[36, 44]
20 mm	40 ± 3	[35, 44]

Figur 31 og 32 viser forholdet mellom strekkfasthet og prøvebredde for høyde-, og bredderetning. Det ble gjort en lineær regresjon der strekkfasthet er på y-akse og prøvebredde på x-akse. Stigningstall for bredderetning er 126 og for høyderetning er 205.



Figur 31:Forholdet mellom strekkfasthet og prøvebredde for prøver i bredderetning.



Figur 32: Forholdet mellom strekkfasthet og prøvebredde for prøver i høyderetning.

4.3. UV-prøver

Tabell 9 viser antall ekvivalente dager og til svarende antall eksponerings-timer i UV-kammer. Ekvivalentene dager ble beregnet fra ligning 1 og 2. Beregninger er forklart i vedlegg A. Vedlegg B inneholder beregnete antall ekvivalente dager basert på minimum UV-strålingsfraksjon

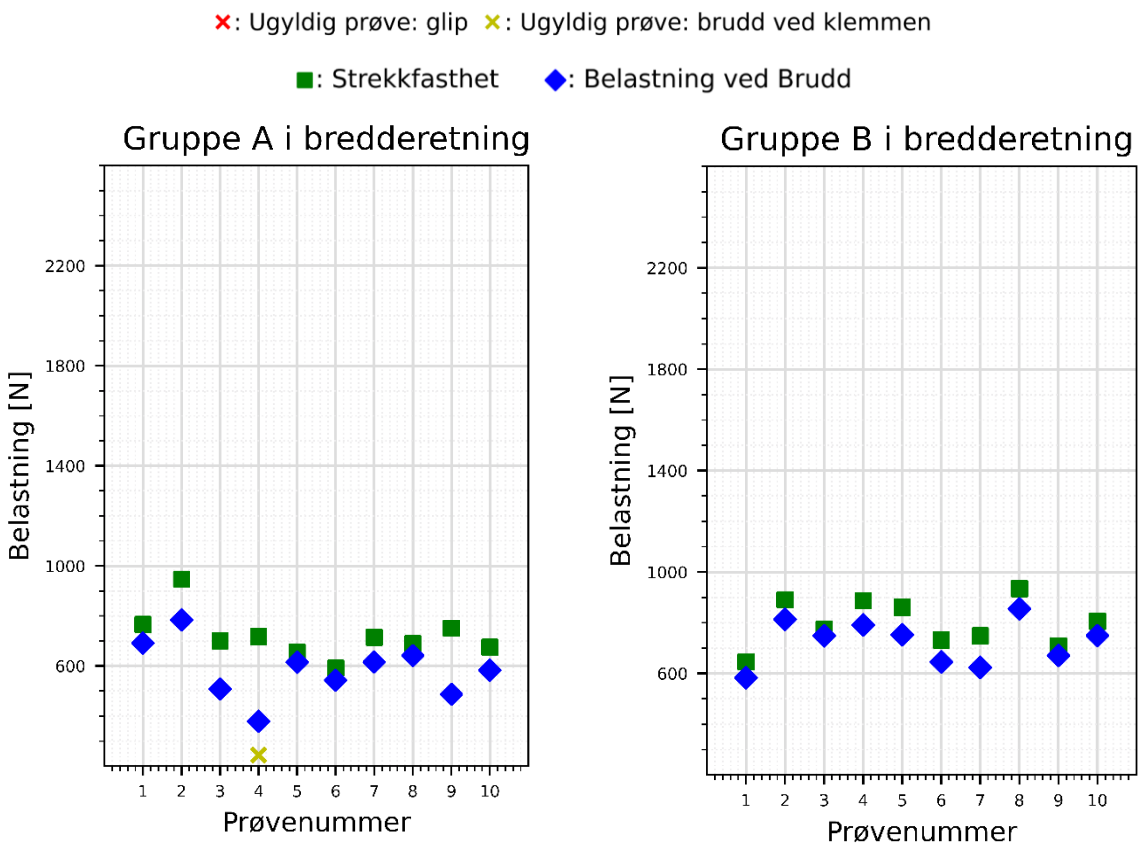
Tabell 9: Antall ekvivalente dager i miljøet.

Gruppe	Antall UV-eksponeringstimer i UV-kammer [time]	Antall ekvivalente dager Minimum UV-strålingsfraksjon [dag]
A	186	26
B	331	46
C	372	51
D	558	77

Figur 33 viser strekkfasthet og belastning ved brudd til UV-simulerte grupper i bredderetning. Figur 33a viser verdier for gruppe A. Figur 33b viser verdier for gruppe B. Figur 33c viser verdier for gruppe C. Figur 33d viser verdier for gruppe D.

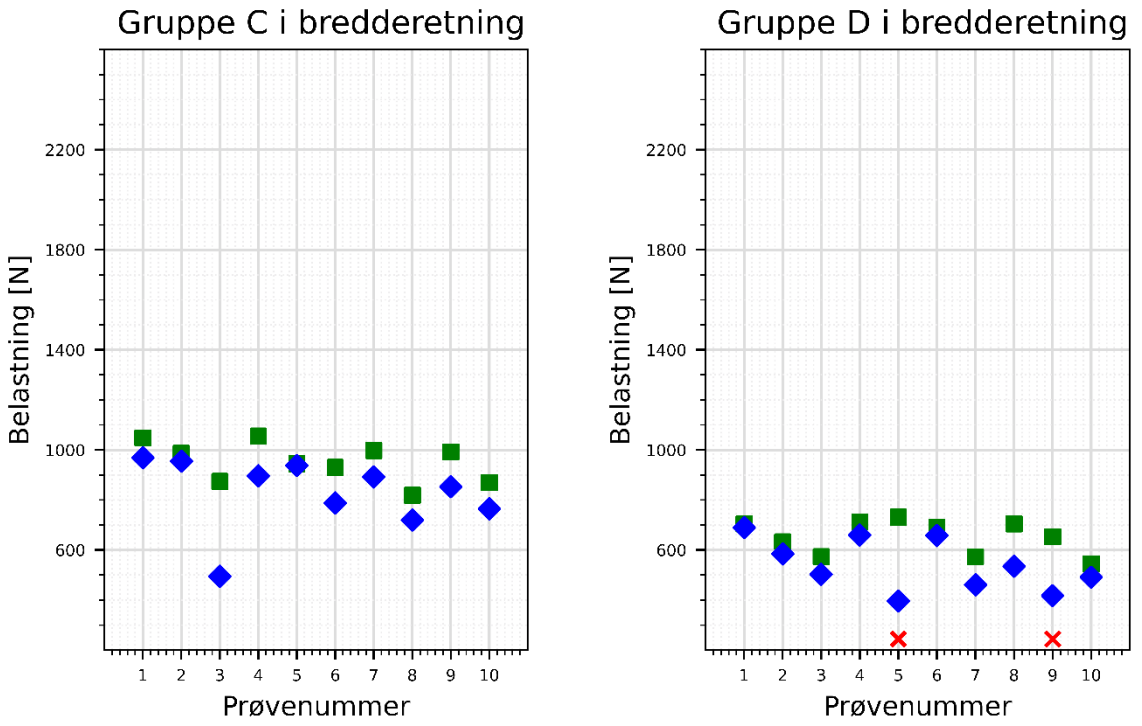
Figur 33 a viser at prøve 4 i gruppe A er ugyldig på grunn av brudd ved klemmen. Prøve 4 i gruppe A har strekkfasthet på samme område til de gyldige prøvene i samme gruppen, men belastning ved brudd er lavere enn de andre prøvene.

Figur 33 b og c viser at alle prøvene er gyldige i gruppe B og C i bredderetning. Figur 33d viser at gruppe D i denne retningen har to ugyldige prøver, prøve 5 og 9. De to er ugyldige på grunn av glipp.



(a) Strekkfasthet og belastning for gruppe A.

(b) Strekkfasthet og belastning for gruppe B.



c) Strekkfasthet og belastning for gruppe C.

d) Strekkfasthet og belastning for gruppe D.

Figur 33: Strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper A, B, C og D i bredderetning.

Tabell 10 viser gjennomsnittlig verdi ($\bar{x}$), standardavvik (σ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene A, B, C og D i bredderetning.

Prøvene i gruppe A i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,75 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,328 mm.

Prøvene i gruppe B i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,79 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,323 mm.

Prøvene i gruppe C i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,53 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,331 mm.

Prøvene i gruppe D i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,639 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,319 mm.

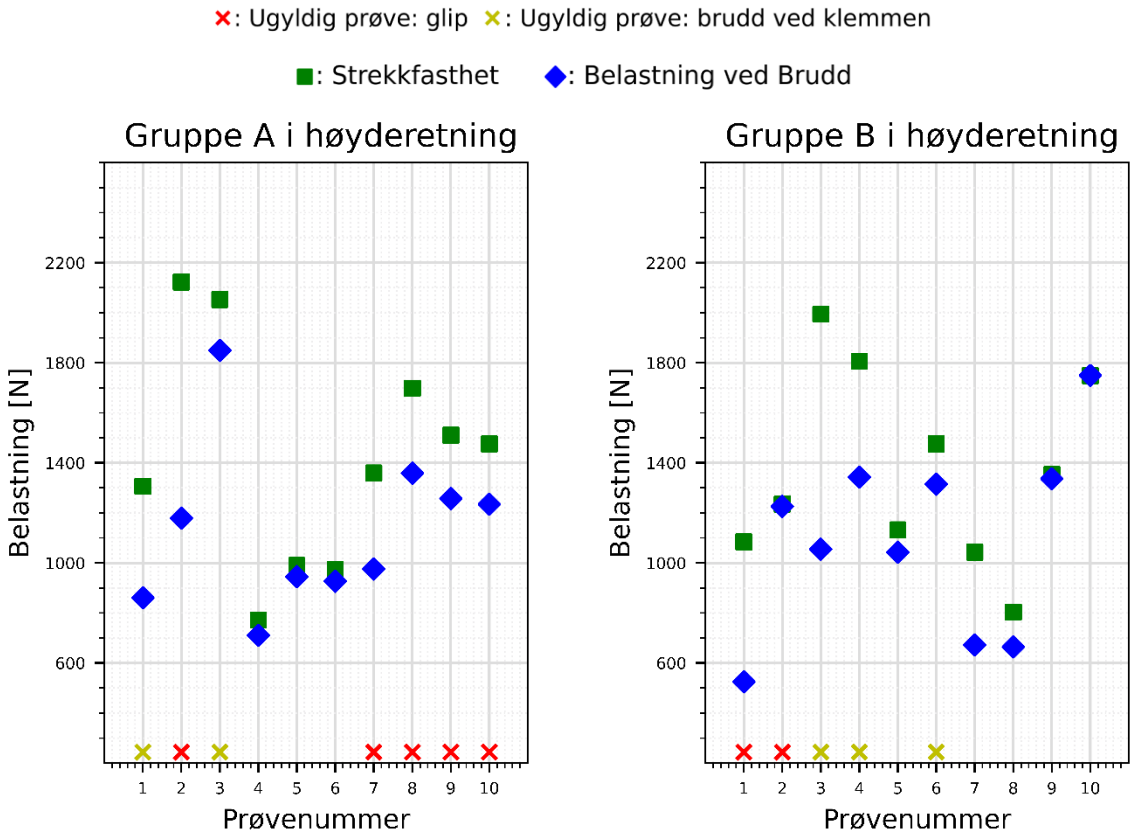
Tabell 10: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene A, B, C og D i bredderetning.

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Strekkfasthet [N]	95%-konfidensintervall [N]
A	721 ± 99	[640, 802]
B	799 ± 93	[729, 869]
C	952 ± 79	[892, 1011]
D	642 ± 70	[580, 705]

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Belastning ved brudd [N]	95%-konfidensintervall [N]
A	608 ± 93	[532, 683]
B	723 ± 88	[657, 790]
C	827 ± 144	[719, 936]
D	573 ± 88	[494, 651]

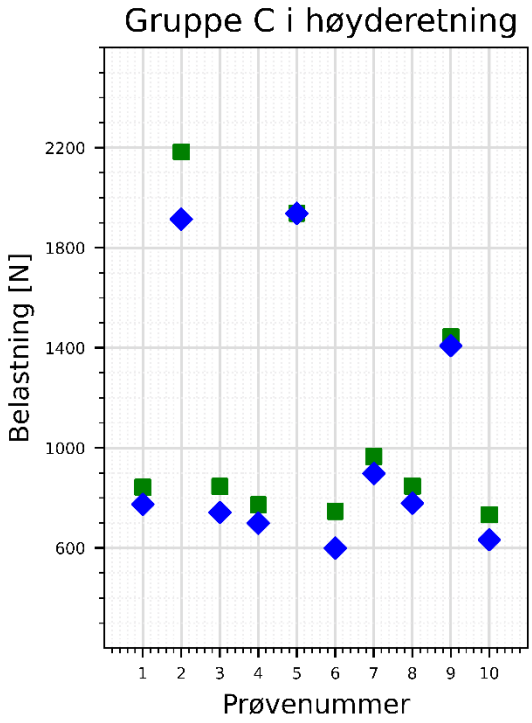
Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Forlengelse [mm]	95%-konfidensintervall [mm]
A	34 ± 2	[33, 36]
B	37 ± 2	[36, 39]
C	36 ± 2	[35, 38]
D	34 ± 3	[32,37]

Figur 34 viser verdiene for strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper A, B, C og D i høyderetning.

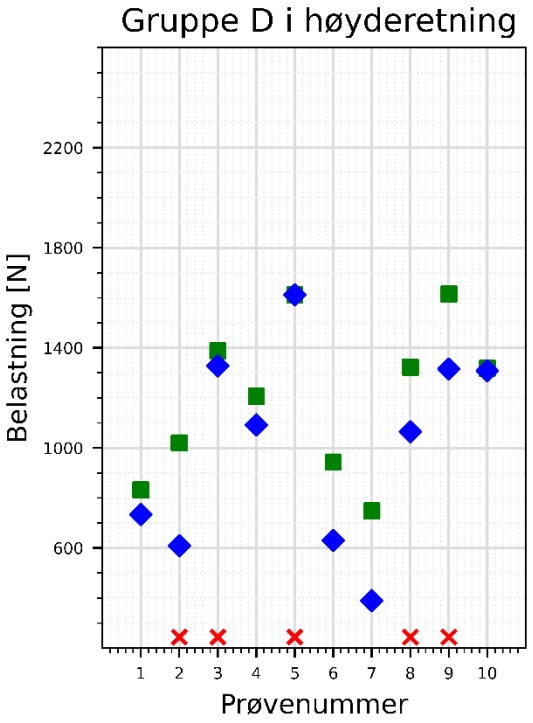


a) Strekkfasthet og belastning for gruppe A.

b) Strekkfasthet og belastning for gruppe B.



c) Strekkfasthet og belastning for gruppe C.



d) Strekkfasthet og belastning for gruppe D.

Figur 34: Strekkfasthet og belastning ved brudd til prøvene i grupper A, B, C og D i høyderetning.

Tabell 11 viser gjennomsnittlig verdi ($\bar{x}$), standardavvik (σ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene A, B, C og D i høyderetning. Prøvene i gruppe A i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,238 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,306 mm. Prøvene i gruppe B i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,99 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,310 mm. Prøvene i gruppe C i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,89 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,332 mm. Prøvene i gruppe D i denne retningen har gjennomsnittlig bredde på 10,423 mm og gjennomsnittlig tykkelse på 1,299 mm.

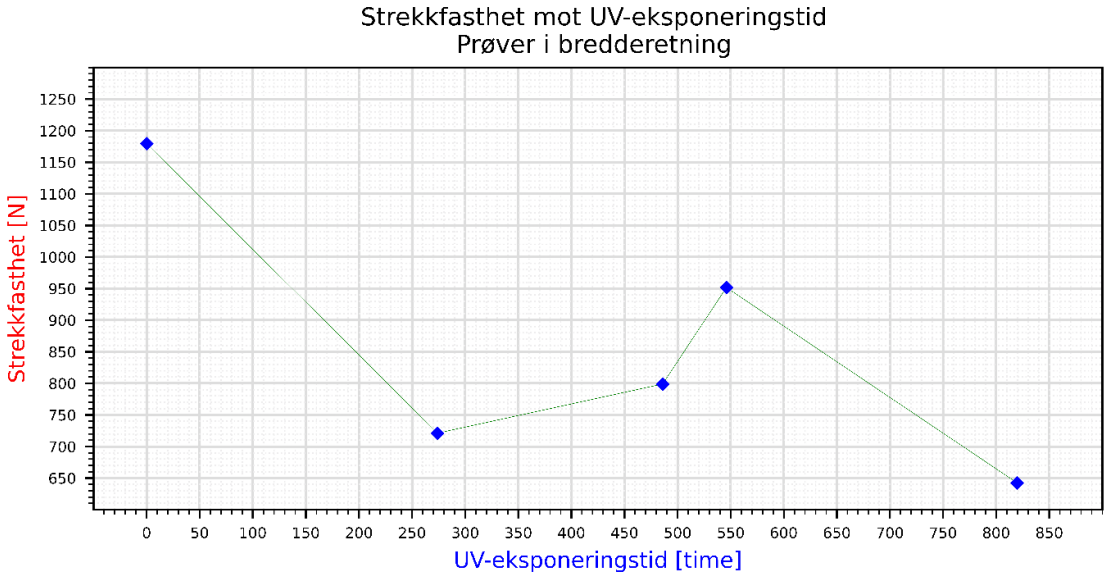
Tabell 11: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppene A, B, C og D i høyderetning.

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Strekkfasthet [N]	95%-konfidensintervall [N]
A	912 ± 122	[542, 1282]
B	1216 ± 357	[721, 1712]
C	1132 ± 534	[730, 1534]
D	1010 ± 244	[671, 1349]

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Belastning ved brudd [N]	95%-konfidensintervall [N]
A	861 ± 130	[464, 1258]
B	1093 ± 462	[452, 1734]
C	1039 ± 520	[647, 1430]
D	831 ± 367	[321, 1341]

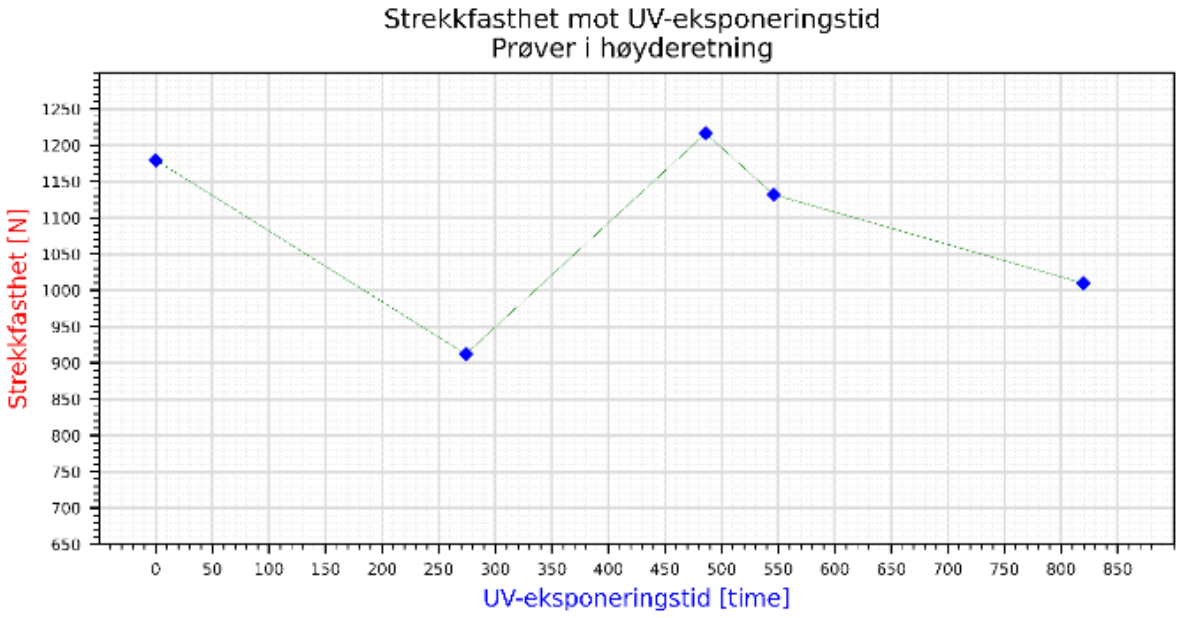
Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Forlengelse [mm]	95%-konfidensintervall [mm]
A	37 ± 1	[35, 39]
B	41 ± 3	[37, 45]
C	37 ± 4	[34, 40]
D	40 ± 2	[38, 43]

Figur 35 Viser forholdet mellom strekkfasthet og eksponeringstid i bredderetning. Første punkt representerer gjennomsnittlig verd for strekkfasthet for usimulerte prøver (gruppe N10) som er høyere enn gjennomsnittlig strekkfasthet til gruppene A, B, C og D.



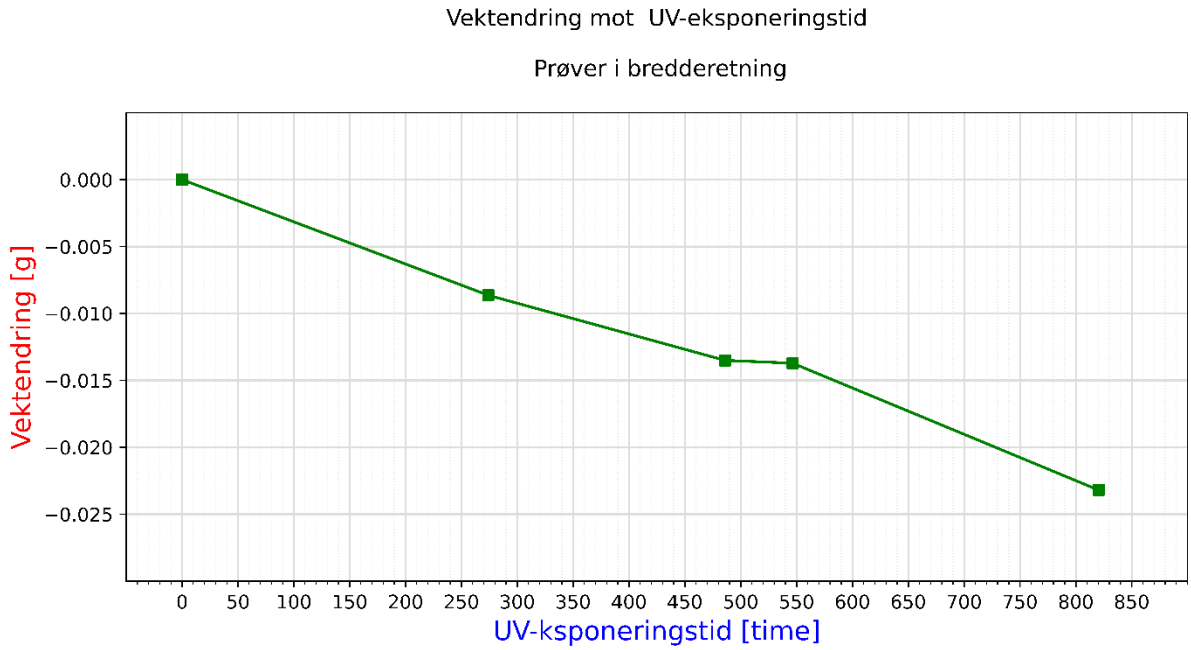
Figur 35: Forholdet mellom strekkfasthet og eksponeringstid i bredderetning.

Figur 35 Viser forholdet mellom strekkfasthet og eksponeringstid i høyderetning. Første punkt representerer gjennomsnittlig verd for strekkfasthet for usimulerte prøver (gruppe N10). gruppe B har høyeste strekkfasthet, C og D.

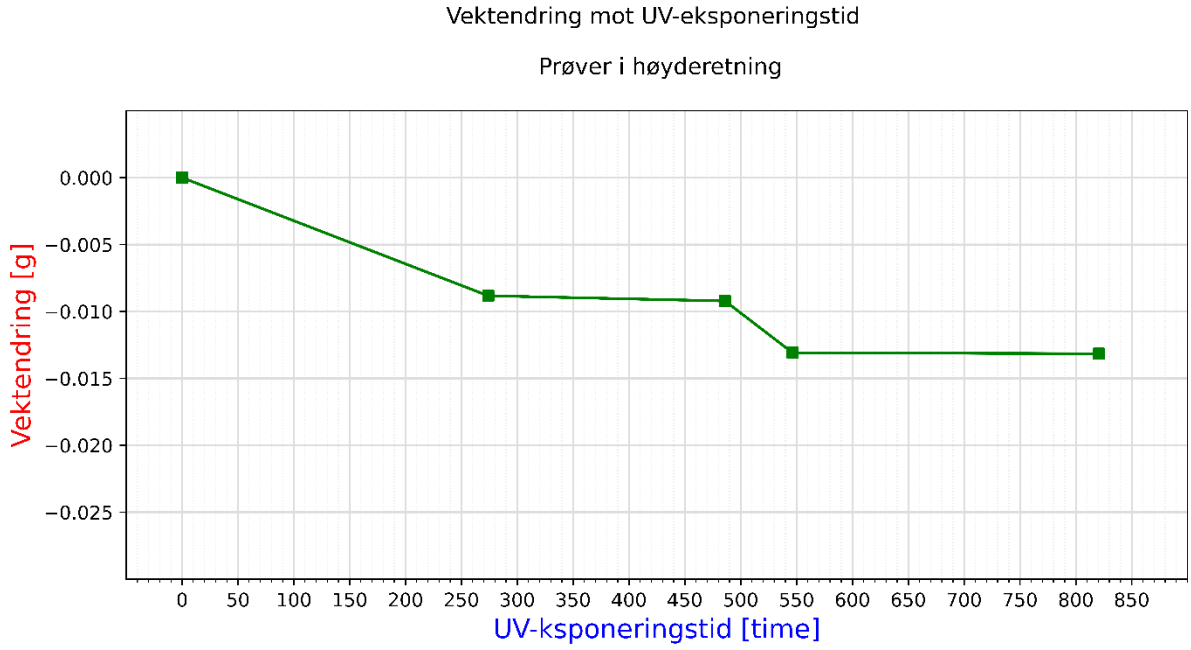


Figur 36: Strekkfasthet mot UV-eksponeringstid.

Figur 37 viser gjennomsnittlig vektendring mot eksponeringstid i UV-kammer for prøvene i bredderetning, og Figur 38 viser gjennomsnittlig vektendring mot eksponeringstid i UV-kammer for prøvene i høyderetning. Vektendringen er ubetydelig og er på -0,02319 for gruppe D som ble eksponert til UV-stråling i 558 timer i UV-kammer. Figur 37 og Figur 38 viser ikke lineært forhold mellom vektendring og eksponeringstid.



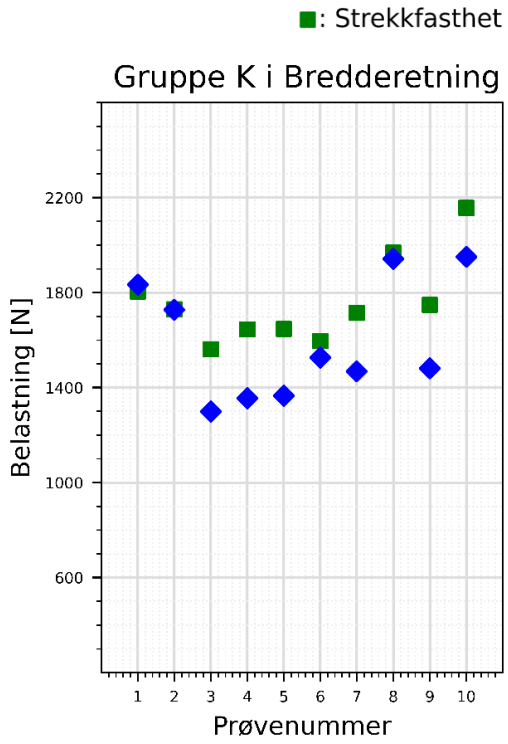
Figur 37: Vektendring mot antall eksponerings-timer for UV bredde prøver.



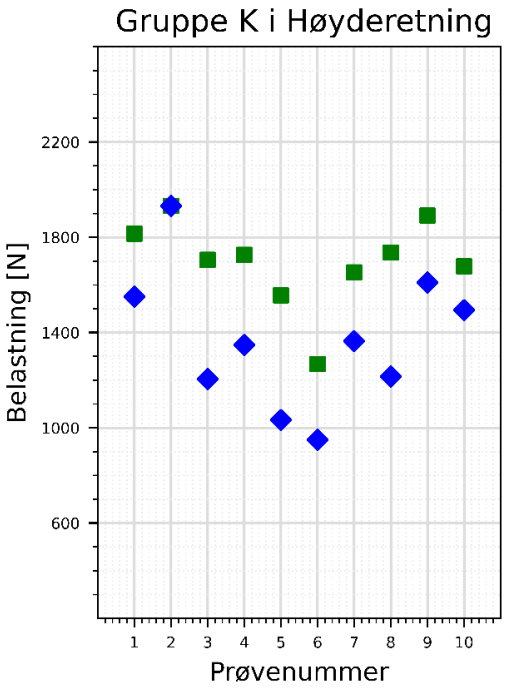
Figur 38: Vektendring mot antall eksponeringstimer for UV høyderetning,

4.4. Simulering av saltvann

Vektendring ved saltvann-simulering er +0,0358 g i bredderetning og +0,03503g i høyderetning. Figur 39 viser strekkfasthet og belastning ved brudd til prøver i gruppe K i bredderetning, og Figur 40 viser det samme for gruppe K i høyderetning.



Figur 39: Strekkfashet og belastning ved brudd for prøver i gruppe k i bredderetning.



Figur 40: Strekkfashet og belastning ved brudd for prøver i gruppe k i høyderetning.

Tabell 12 viser gjennomsnittlig verdi ($\bar{x}$), standardavvik (σ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppe k i bredde og i høyderetning.

Tabell 12: Gjennomsnittlig verdi, standardavvik og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet, belastning ved brudd og forlengelse ved brudd til gruppe k i bredde og høyderetning.

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Strekkfasthet [N]	95%-konfidensintervall [N]
K-Bredderetning	1757 ± 182	[1620,1894]
K-Høyderetning	1696 ± 187	[1555,1837]

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Belastning ved brudd [N]	95%-konfidensintervall [N]
K-Bredderetning	1595 ± 247	[1408,1782]
K-Høyderetning	1370 ± 291	[1151,1590]

Gruppe	$\bar{x} \pm \sigma$ Forlengelse [mm]	95%-konfidensintervall [mm]
K-Bredderetning	41 ± 3	[39,43]
K-Høyderetning	41 ± 2	[40,43]

4.5. Sammenligning med datablad

Stigningstallet fra regresjonen til gruppe N ble brukt til å beregne strekkfasthet for nye prøver per 50 mm. Verdien i bredde-retning er mindre enn verdien i databladet til materialet. Verdiene av strekkfasthet er presentert i Tabell 13.

Tabell 13: Sammenligning av strekkfasthet til nye prøver og strekkfasthet oppgitt i datablad.

Type	Bredde	Strekkfasthet Bredderetning $\left[\frac{\text{N}}{5\text{ cm}}\right]$	Strekkfasthet Høyderetning $\left[\frac{\text{N}}{5\text{ cm}}\right]$
Datablad	50 mm	8000	10000
Nye	50 mm	6117	10178

5. Diskusjon

5.1. Miljø og Miljøsimulering

I lukkede oppdrettsmerder er miljøet kontrollert. Det vil si at den ugjennomtrengelige membranen «Biobrane Aqua 1550» hindrer naturlige strømninger å komme inn i oppdrettsmerdene. Utfra det er det kun sjøvann som pumpes og fôr som tilføres kommer inn i oppdrettsmerder. I tillegg til andre organismer som kan komme gjennom vannutskifting.

Fra fôrtilførsel dannes fiskeavfall som inneholder organiske og uorganiske stoffer i oppløst og uoppløst form. Konsentrasjoner av de stoffene er vist i Figur 4. Disse konsentrasjonene er oppgitt for produksjon av et tonn laks over en gitt periode. Det vil si at avfallsmengden som er presentert i teorien er en akkumulert verdi. Oppdrettsmerder vil i realiteten ha en kontinuerlig vannutskifting, i tillegg til vanlig rensing av anlegg som gjennomføres etter forskrifter og andre krav som skal bidra til å sikre en lav verdi mengde avfallsstoffer

Anbefalte verdier i Tabell 2 oppgir også lavere verdier for en rekke stoff i oppdrettsmerder. Tabell 3 viser reelle verdier fra en lukket oppdrettsmerd og ubehandlet sjøvann. Disse verdiene er i oppgitt i mikrogram per liter vann. En økning i konsentrasjon fra avfallsstoffer kan derfor raskt detekteres ettersom målingene opererer på en nøyaktig skala. Avfallsstoffene vil i utgangspunktet først påvirke velferds- og vekstbetingelser i anlegget, og ikke degradering av plastmaterialene da konsentrasjonene blir for lave ved realistiske tilstander ved anlegget. Ut ifra dette er mengde av avfallsstoff betydelig lave.

Begrenset tid i forsøket gjorde det vanskelig å simulere alle variabler som har mulig effekt på egenskapene til plasttekstilen. Av den grunn ble det simulert et marint miljø og UV-påvirkning ved bruk av korrosjonskammer og UV-kammer.

I saltvannssimuleringen ble det antatt at saltvannet inneholder kun NaCl med konsentrasjon på 3,5 wt% selv om det finnes flere stoffer i vannet. Grunnen til dette er at NaCl-innhold er en parameter som kan kontrolleres i simuleringen siden konsentrasjonen er høyere enn de andre saltene i sjøvann. Temperaturen ble satt på 50 grader. Det var ikke teoretisk grunn til valget, men erfaring viser at høyere temperaturer vil akselerere potensiell nedbrytningshastighet for materialet.

I UV-simuleringen ble prøvene eksponert for UV-A stråling med 340 nm bølgelengde. Dette ble valgt ettersom denne typen UV-stråler utgjør den største andelen elektromagnetisk stråling som når havoverflaten.

Estimering av strålingsmengde ble brukt for å beregne antall ekvivalente eksponeringsdager i miljøet. Beregningen gir en matematisk sammenheng mellom gjennomsnittlig verdi og totalverdi av UV-stråling, som skal gi en teoretisk riktig verdi.

Mengden av UV-stråling ble estimert etter gjennomsnittlig verdi av total solenergi i de store byene i Norge. Ettersom ulike kilder vil gi ulike verdier av UV-stråling, gjorde dette det vanskelig å velge en verdi for UV-strålingsfraksjonen.

Ut fra det ble derfor valgt å beregne antall ekvivalente dager for maksimum og minimum verdi av UV-strålingsfraksjonen. Det ble også estimert at 40 % av UV-belysning trenger ned i dybde på 50 cm under havoverflaten. Antall ekvivalente dager med hensyn på minimum UV-strålingsfraksjon er presentert i Tabell 9. Antall ekvivalente dager med hensyn på maksimum UV-strålingsfraksjon er vedlagt i Vedlegg B. Disse antagelsene vil naturligvis medføre noe usikkerhet i den teoretiske estimeringen.

I begge miljøsimuleringene ble det brukt kuttete prøver med bredde tilnærmet lik 10 mm. Det kan ses i Figur 8. Polyetylenfibrene kan som nevnt i teorien være mer mottakelige for saltvann og UV-stråling. Det vil si at størrelsen på prøven har en betydning i disse simuleringene.

Miljøet i oppdrettsmerder vil som forklart i teorien og vist i analysen variere avhengig av plassering, dybde, gjennomstrømning, oksygentilførsel og mer. Alt disse faktorene er vanskelig å simulere og med begrenset tid var det umulig å få med seg alle variabler som kan påvirke egenskapene til plasttekstilen. Av den grunn ble det gjort en del tilpasninger.

For saltvannssimuleringen ble det antatt at saltvannet hadde en NaCl konsentrasjon på 3,5 wt% selv om det finnes flere stoffer i vannet. Grunnen til dette er at det ble antatt at NaCl hadde mest påvirkning på materialene i duken. I tillegg ville dette være med på å begrense antall variabler i forsøket noe som gjorde det lettere påvise hvilken virkning saltvann hadde på plasttekstilen.

Prøvene i UV-kammeret ble eksponert for UVA strålinger med 340 nm bølgelengde. Dette ble valgt fordi det simulerte dagslys likt virkeligheten, som fra teorien burda ha en og ville ha en effekt på plasttekstilen. Fra teorien er det vist at UV-strålene ikke vil trenge dypt ned i vannet. Det området på tekstilen som derfor vil påvirkes mest i et reelt miljø vil være i skvalpesonen der lyset blir reflektert av dugg og væske. Dette er også det området som antas ble simulert ettersom prøvene ble kondensert ved jevnlige mellomrom ut ifra innstillinger i standarden.

UV-strålingen i det simulerte forsøket kan ha hatt større effekt en planlagt ettersom polyetylenet ble eksponert i kantene på de kuttede prøvene. Ettersom prøvene i UV-kammeret hadde en bredde tilnærmet lik 10 mm kan denne eksponeringen av polyetylenet ha hatt en stor påvirkning for strekkfastheten til materialet. Denne varianten av polyetylen (LDPE) har lavere motstandsdyktighet mot UV-belysning en det PVC har. I virkeligheten vil kun PVC-belegget bli eksponert for UV-stråling ettersom det er sammensveist for å unngå vanninntrengning.

5.2. Resultater fra strekktest

Resultater fra strekktestingen av de usimulerte prøvene med bredder fra 5,10,15 og 20 mm viste som forventet til et lineært forhold mellom prøvebredde og strekkfastheten i begge retninger for prøvene. Brudd innenfor 5 mm av klemmene ble observert til å ha tilnærmet like verdier med prøvene fra samme gruppe.

Dette kan blant annet tyde på unøyaktighet i kutting dersom tykkelsen i nærheten av klemmene var mindre enn for resten av prøven. Det ble fremdeles valgt å ikke ta med disse prøvene i utregningene ettersom de i henhold til standarden er å anse som ugyldige. En annen faktor som kan ha medvirket til at bruddet oppsto nært klemmene er dersom innspenningen var for hard. De nye prøvene hadde en lavere strekkfasthet enn det som var oppgitt i databladet for bredderetning.

Det ble observert at UV-belysningen senket strekkfastheten til plasttekstilen for prøvene i både høyde- og bredderetningen. Resultatene viste også at det var en ikke-lineær sammenheng mellom strekkfasthet og eksponeringstid, der den høyeste strekkfastheten ble målt for prøvene som var i kammeret i 11 dager, og den laveste strekkfastheten ble målt på prøvene for 34 dager.

Dette kan settes i sammenheng med at UV-strålene har en degraderende effekt på plastmaterialer, og da særlig polyetylen. Det ble også observert en sammenheng mellom eksponeringstid og massetap for UV-prøvene, noe antas å være på bakgrunn av den degraderende effekten UV vil ha på materialet. Det kan derimot ikke estimeres nøyaktig hvor mye vekt plasttekstilen vil miste på grunn av UV eksponering ettersom intervallene mellom prøvene var for små.

For saltvannsprøvene ble det observert i resultatene at prøvene fikk økt strekkfasthet og masse etter eksponeringen i kammeret, noe som er uventet basert på teorien og rapporten for e-glass. Dette kan muligens forklares ved at temperaturen i sammenheng med saltet i kammeret kan hatt en klebende effekt i på de tynne mikrofibrene i tekstilen. Vektøkningen kan muligens forklares ved spor av resterende fuktighet i prøvene selv etter 24 t tørking, som enten ligger intermolekylært mellom molekylene eller mellom PE-fibrene.

Plasttekstilen opplevde to brudd under strekktesten, det første var når PVC belegget røyk, her røyk også vanligvis en del PE fibre samtidig. Det andre bruddet var når PE fibrene røyk. I tillegg var det kun «duktile» brudd for plasttekstilen siden både PVC belegget og PE fibrene revnes. Teoretisk burde strekkfasthet og belastning ved brudd vært likt, men på målingene ble de to ulike bruddene og bruddtype bidro til forsinket registrering av brudd, som bidro til at avlesningene ble forskjellig.

På generell basis så vil det anbefales å måle prøvene over et større intervall for å få bedre forstå sammenhengen mellom resultatene.

5.3. Materialpåvirkninger i faktiske miljøer

5.3.1. Mekanisk slitasje

Tekstilen vil i marine forhold være utsatt for fysiske belastninger fra blant annet havstrømning, bølger, og vær. Men materialet kan også bli påvirket av menneskelige faktorer. Vedlikehold og inspeksjoner av plasttekstil i oppdrettsmerder kan bidra til å redusere nedbrytning og slitasje av tekstilene på flere måter, som tidlig oppdagelse av skader, reparasjon og utskifting, optimalisering av driftsforhold, og overvåking av miljø.

Imidlertid er det også mulig at skader kan oppstå som følge av vedlikehold på plasttekstiler i oppdrettsmerder, for eksempel på grunn av menneskelige feil, uerfarne operatører, bruk av upassende verktøy eller metoder, og hyppig håndtering.

Noen av de faktorene som fører til slitasje og skader på materialet skyldes også operatørfeil. Slike feil vil nok i større grad komme ved installasjon og rutinemessig vedlikehold. En feil i installasjonen av plasttekstilet kan føre til at materialet blir utsatt for større belastninger enn planlagt. Årsaker til dette kan blant annet være at plasttekstilen er montert for stramt slik at den blir mindre fleksibel i sjøen, noe som kan føre til økt belastninger på sammensveiste skjøter. Dette kan føre til for tidlig slitasje og potensielt skade tekstilen.

Dersom materialet er degradert i betydelig grad, vil også risikoen for fysiske skader som rifter og brudd øke ettersom materialet er svekket.

5.3.2. Materialegenskaper

Selv små forskjeller i fremstillingsprosessen kan føre til store forskjeller i materialets egenskaper. Faktorer som trykket og temperaturen som brukes under fremstilling, samt avkjølingshastigheten, kan påvirke plastens krystallinitet, som videre kan påvirke styrken til plasttekstilen. Dette er blant annet en av årsakene for at man bør undersøke komponentene i oppdrettsanlegget 24 måneder etter installasjon, i henhold til standarden NS 9415:2021.

5.3.3. Plassering av merden

Som vist i resultatene så har UV-effekt en signifikant betydning for degradering av plast. Fra teorien vet vi at ulike områder langs kysten vil ha ulik UV-stråling ettersom det er flere faktorer som påvirker hvor sterkt UV-indeksen er i løpet av en dag. Deriblant solhøyde, skyfri himmel, refleksjon fra snø, vann, metallplater eller annet fra omgivelsene, i tillegg til tykkelsen på ozonlaget som varierer regelmessig.

Plassering av merden vil derfor ha en påvirkning på hvor mye UV-stråling som treffer materialet. Men selv om et område i teorien vil ha større UV-stråling er det ikke sikkert at dette stemmer med realiteten ettersom lokale forhold kan påvirke. Deriblant hvis merden er plassert i en bukt med høye fjellformasjoner rundt vil disse kunne være med på å gi skygge til merden slik at UV-strålene ikke degraderer plasten like raskt.

En annen faktor som påvirker UV-degraderingen, er at oppdrettsanlegg i nordlige deler av Norge er utsatt for mørketid om vinteren. Mørketiden vil variere avhengig av hvor i landet man befinner seg. Av de stedene som har total mørketid så er det Røstlandet som har minst med 11 dager, og Nordkapp lengst med 63 dager i totalt mørke. I praksis vil mørketiden vare lengre ved flere steder, ettersom andre lokale forhold som fjell i sørlig-retning sperrer for solen når den står lavt på himmelen [60].

En annen faktor som kan påvirke degraderingen av plastmaterialet ved plassering av oppdrettsanlegget er hvorvidt merden er plassert i et røft miljø. Med røft miljø menes ytre faktorer som er preget av sterk strøm, mye vind, bølger og lignende som kan øke de fysiske belastningene på anlegget. Dette er faktorer som kan ha større påvirkning på degraderingen en hva anlegget ville vært utsatt for dersom det er plassert i rolige forhold.

5.3.4. Andre organismer i merden

Som nevnt i teorien så vil miljøet i, og rundt et oppdrettsanlegg være preget av flere ulike avfallsstoffer, mikroorganismer i tillegg til andre havdyr. Biotisk degradering kan forekomme som en naturlig reaksjon i gitte miljøer dersom man har katalysator til stede. Sannsynligheten for dette vil i utgangspunktet være lav ettersom vannkvaliteten i merden kontinuerlig overvåkes gjennom blant annet vannanalyser slik at den ikke overgår angitte grenseverdier.

Som nevnt i teorien vil oppdrettsnæringen gjennom utskillelse, respirasjon, avføring, og tap av fôr til omgivelsene, frigjører avfall som består av karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P). Dette er faktorer som kan bidra til å senke det naturlige pH-nivået, som skal være rundt 8, dersom vannutskiftningen ikke er høy nok. Dette vil også være avhengig av tettheten av oppdrettslaksen i tillegg til størrelsen på merden. Uavhengig av dette vil nok påvirkningsgraden på plastmaterialene være neglisjerbar ettersom syntetiske plastmaterialer er inerte. Dette betyr at materialet ikke reagerer lett i kontakt med andre stoffer [61].

Disse organismene og avfallsstoffene vil derfor i liten grad kunne bryte ned materialet nevneverdig ved normal tidshorisont. Noen organismer som for eksempel alger kan derimot forsinke degraderingsprosessen ved å for eksempel danne biofilm på overflaten av plasttekstilen. Dette kan fungere som et beskyttende lag mot blant annet UV-belysning.

5.4. Økonomi og bærekraft

Det vil for oppdrettsselskapet komme flere kostnader ved innkjøp av nye dukposer i oppdrettsmerdene. I tillegg kommer kostnader knyttet til inspeksjon og vedlikehold av materialet. Det vil derfor være av interesse for selskapet å forsøke å forlenge utskiftningsintervallet for å spare kostnader. Dette vil også være i samsvar med bærekraftsmålene da en forlengelse av levetiden vil bidra til et ansvarlig forbruk og lavere produksjon.

Det man bør være oppmerksom på ved økning av levetiden for dukposen er at man må ta hensyn til slitasje og degradering som har oppstått, og som kan oppstå ved videre bruk. Degradering av materialet kan føre til utslipp av mikroplast og mikrofiber til havet. Dette vil selvfølgelig være uforenelig med mål Nr.14 der formålet er å redusere utslipp av kjemikalier og avfall til marint miljø. Det er viktig å merke seg at mens forlengelse av levetiden på tekstilen kan bidra til å redusere det kortsiktige avfallet og ressursbruken, så kan det føre til større kostnader i fremtiden dersom svekkelsen i materialet fører til for eksempel lakserømming.

5.5. Forslag til videre arbeid

Ved videre arbeid anbefales det å finne en konsistent og presis måte for oppkutting av prøver, slik at variasjoner i bredde ikke vil påvirke strekkfastheten i betydelig grad. Det anbefales også å benytte større tidsintervaller mellom uttak av prøvene ettersom plastmaterialer har lang levetid. Dette anbefales for å finne en bedre sammenheng over hvordan UV og saltvann påvirker plasttekstilen.

Ettersom PE fibrene i realiteten ikke vil utsettes for direkte UV-belysning så bør det gjennomføres forsøk der man tar en større bit av tekstilen i kammeret og utsetter den for UV-stråling, for å så ved slutten av perioden skalere ned prøven for å utelukke påvirkning på fibrene fra de ubeskyttende kantene på materialet. Man kan også undersøke om UV prøvene skiller ut mikroplast/mikrofiber i takt med at prøvene blir med porøse, dette kan gjøres ved å prøve å samle opp «Vann/fukt» i UV kammeret og undersøke dette med mikroskopi for å se etter forurensninger. Dette vil på mange måter være relevant da det kan bekrefte teorien om at plasttekstiler som er utsatt for.

Dukposen vil i en oppdrettsmerde være utsatt for mekanisk belastning. Det kan derfor være relevant å gjennomføre slitasjetest på materialet, ved for eksempel tribologi for å undersøke hvor god motstand materialet har mot mekaniske belastninger over lengre tid.

Det viktigste forslaget ved videre arbeid vil derimot involvere sammenligning av brukte materialer, med de simulerte og teoretiske verdiene. Dette vil inkludere evaluering av brukte versjoner av plasttekstilen etter definerte eksponeringsperioder som for eksempel etter 3, 5 og 10 år i merdene. Det vil også være nyttig å samle inn prøvematerialer fra forskjellige steder rundt om i landet. Dette er viktig fordi UV-eksponeringen kan variere basert på geografiske forskjeller, noe som gir oss mulighet til å observere effektene av varierende eksponeringsnivåer.

Ved å utføre en slik sammenligning, kan vi forsøke å identifisere flere potensielle sammenhenger og faktorer knyttet til hvordan materialet degraderer over tid.
Et eksempel på hvordan vi kan utnytte denne metoden er når to materialprøver som har vært i bruk i nøyaktig samme tidsperiode, men hvor det ene materialet har vært utsatt for en betydelig høyere grad av UV-eksponering.

Hvis det viser seg å være en forskjell i strekkfasthet mellom disse to prøvene, kan vi anta at UV-eksponering vil ha en betydelig innvirkning på materialets egenskaper. På en annen side, hvis resultatene er sammenlignbare uavhengig av UV-eksponering, kan vi anta at andre faktorer muligens har en større rolle i degraderingen, noe som i så fall motsier det vi tidligere har antatt.

6. Konklusjon

Det ble gjort tilpasninger på ISO: 1421:2016 standarden som kan ha påvirket strekkfastheten til prøvene. Kuttingen av prøvene ble gjort for hånd som førte til variasjoner i bredde og at nøyaktigheten på ± 0,5 mm kunne ikke opprettholdes. UV-stråling reduserer strekkfastheten ikke-lineært ut ifra våre resultater og kan også føre til massetap, og videre forurensing i form av mikrofiber. Antall reelle dager i fra UV-simuleringen er beregnet til å være 26, 46, 51 og 77 dager der det antas at UV-strålingsfraksjon fra den totale elektromagnetiske stråling mengden som når jordoverflaten.

Resultatene er påvirket av for lite måledata, slik at forsøket bør gjennomfører igjen. I tillegg ble polyetylenet utsatt for UV-stråling gjennom kantene i prøvene, og vil dermed ikke samsvare med realiteten. Men det vil fortsatt gi en indikasjon på en sammenheng mellom tiden merden er utsatt for UV og strekkfastheten til materialet.

Saltvann-eksponeringen økte både strekkfastheten og vekten til plasttekstilen, noe som ikke stemmer overens litteraturen eller lignende forsøk. Ledende hypotese er at saltet og temperaturpåvirkningen har forsterket fibrene ved å binde de sammen. Dette kan forklare økningen i strekkfasthet, i tillegg til massen.

Ved undersøkelser av det reelle miljøet i oppdrettsmerder så vises det at biologiske organismer og avfallsstoffer har liten degraderingseffekt på plasten, uavhengig av merdeplassering. Dette antas å være riktig ettersom materialet er inert og konsentrasjonene er for lave til å ha noen effekt. Effekten av mekaniske påkjenninger vil være til stede merden, men hvor stor grad de degraderer materialet kan bare vises ved videre undersøkelser. Jevnlig vedlikehold av dukposen vil i stor grad kunne avdekke om tekstilen er utsatt for nevneverdig slitasje, men det vil være vanskelig å fange opp UV-degradering ved å bare gjennomføre visuelle undersøkelser. Degradering av materialet fører til en svekkelse av materialets styrke. Dette gjør tekstilen mer utsatt for mekaniske belastninger som kan føre til rifter, eller lignende som gir laksen mulighet til å rømme

Ettersom UV-belysningen antas å ha størst påvirkning på degraderingen virker det rimelig at dukposen har en forventet levetid som vil variere mellom 5-10 år, da eksponeringen i stor grad er avhengig av plasseringen av merden. Dersom materialet skal benyttes lengre en anbefalt må komponentens nåværende tilstand, og forventet degradering tas i betraktning å unngå utslipp av avfall til miljøet.

Referanseliste

1. Regjeringen. Norsk havbruksnæring. 2021. Regjeringen; [hentet 17. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/fiskeri-og-havbruk/1/oppdrettslaksen/Norsk-havbruksnaring/id754210/
2. sjømatråd N. Norge eksporterte sjømat for 151,4 milliarder kroner i 2022. 2023. Norges sjømatråd; [oppdatert 4. januar 2023; hentet 17. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://seafood.no/aktuelt/nyheter/norge-eksporterte-sjomat-for-1514-milliarder-kroner-i-2022/
3. Fiizk. SEMI-LUKKET MERD. Fiizk; [hentet 01. mars 2023]. Tilgjengelig fra: https://fiizk.com/no/product/semi-lukket-merd/
4. Misund B. fiskeoppdrett. 2023. Stor norske leksikon; [oppdatert 21. januar 2023; hentet 17. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://snl.no/fiskeoppdrett
5. Laksefakta. HVORFOR RØMMER LAKSEN? 2021 2023. Tilgjengelig fra: https://laksefakta.no/laks-og-miljo/romming/
6. Forskrift om krav til teknisk standard for akvakulturanlegg for fisk i sjø, innsjø og vassdrag (NYTEK23). Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2022-08-22-1484
7. Regjeringen. Skjerper kravene for å hindre rømming av oppdrettsfisk. 2022. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/skjerper-kravene-for-a-hindre-romning-av-oppdrettsfisk/id2925708/
8. Forskrift om lakselusbekjempelse. *Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg.* Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140
9. Rosten TW, Ulgenes Y, Henriksen K, Terjesen BF, Biering E, Winther U. Lukkede oppdrettsanlegg i sjø – økt kunnskap er nødvendig. 2013. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_872558.pdf
10. Fiizk. SEMI-LUKKET MERD. https://fiizk.com/no/product/semi-lukket-merd/: Fiizk.
11. Bryndis H. En ny type oppdrettsanlegg hindrer lakselus. 2021 19.05 2023. Tilgjengelig fra: https://forskning.no/dyrevelferd-fisk-fiskehelse/en-ny-type-oppdrettsanlegg-hindrer-lakselus/1843033
12. Haave M, Gomiero A. Mikroplastforurensning i laksefilet og oppdrettsmiljø - Screening av mikroplast iprosesser og ferdig produkt fra lakseoppdrett. NORCE Miljø; 2020. Tilgjengelig fra: https://norceresearch.brage.unit.no/norceresearch-xmlui/bitstream/handle/11250/2653735/Rapport%20NORCE%20Milj%C3%B8%2C%202-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. Bjerkås AM. Lukkede oppdrettsanlegg er bra for miljøet. Men skal fisken trives, må vannkvaliteten overvåkes nøye. 2018. forskning.no; [hentet 19. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://forskning.no/fisk-fiskehelse-fiskerifag/lukkede-oppdrettsanlegg-er-bra-for-miljoet-men-skal-fisken-trives-ma-vannkvaliteten-overvakes-noye/1263777
14. biovitenskap If. Saltvann. 2011.Oslo: Universitetet i oslo; [hentet 19. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/saltvann.html
15. Wang X, Olsen LM, Reitan KI, Olsen Y. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. Aquaculture Environment Interactions. 2012;2(3):267-83.
16. Røsvik IO. Biologi for akvakultur. 2. utg.: Landbruksforl; 1997.

17. Øie G. Biofilm i fiskeoppdrett. 2012. Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/siste-nytt/2012/biofilm-i-fiskeoppdrett/
18. Babatunde EB, red. Solar Radiation: IntechOpen; 2012.[hentet 25. mars 2023]. Tilgjengelig fra: https://mts.intechopen.com/storage/books/1679/authors_book/authors_book.pdf
19. Manuel Nunez, Forgan B, Roy C. Estimating ultraviolet radiation at the Earth's surface: Heidelberg: Springer; 1994.[hentet 06. mai 2023]. Tilgjengelig fra: https://link.springer.com/article/10.1007/BF01241798
20. Karoliussen H, Hennum T, Oppdatert, Lamb JJ, Bjørnås G. Fornybar energi grunnkursSolenergi. Trondheim: NTNUFakultet for ingeniørvitenskap; 2021.[hentet 11. mai 2023]. Tilgjengelig fra: https://drive.google.com/file/d/1zbX8uNRKEo5qXiEGpPBOWrwlzm9aJe7g/view?usp=share_link
21. Nilsen LTN, Johnsen B, Komperød M, Christensen T, Hannevik M. UV-eksponering av den norske befolkningen. 2015.Østerås: Statens strålevern; [hentet 26.03 2023]. Tilgjengelig fra: https://dsa.no/publikasjoner/_/attachment/inline/ce4a0e3b-a6be-491b-865b-421643bfc467:00e5ba453ac85a2879131c78d397204d3012c179/StralevernRapport_07-15_UV-eksponering.pdf
22. Rosten TW, Ulgenes Y, Henriksen K, Terjesen BF, Biering E, Winther U. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - forprosjekt. SINTEF; 2011. Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri_og_havbruk/internasjonalt_radgivning/lukkede_anlegg_forprosjekt_endelig_med-endret-tabell.pdf
23. Rosten T, Åtland Å, Kristensen T, Rosseland BO, Braathen B. Vannkvalitet og dyrevelferd. Trondheim: Mattilsynet; 2004. Tilgjengelig fra: https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/mattilsynet__rapport_om_vannkvalitet_og_fiskevelferd_2004.5943/binary/Mattilsynet%20-%20Rapport%20om%20vannkvalitet%20og%20fiskevelferd%20(2004)
24. Norge S. Flytende akvakulturanleggLokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk. 2021.www.standard.no: Standard Norge; [oppdatert 09.08.2021].
25. Standard Norge. Flytende akvakulturanlegg - Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk. 2021. Standard Norge; [hentet 23. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1367329
26. Koltzenburg S, Maskos M, Nuyken O. Polymer Chemistry. 1. utg. utg. Berlin: Springer; 2017.[hentet 19. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-49279-6
27. Institutt, for, biovitenskap. Plast. 2020.Oslo: Universitetet i oslo; [hentet 22. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/plast.html
28. Callister WD, Jr., Rethwisch DG. Materials science and engineering. 9th edition, SI version. utg. Chichester, W. Sussex: John Wiley & Sons, Inc; 2015. Tilgjengelig fra: http://imp-primo.hosted.exlibrisgroup.com/openurl/44IMP/44IMP_services_page?u.ignore_date_coverage=true&rft.mms_id=9956057453201591
29. 3., red. Rudin A, Choi P. The elements of polymer science and engineering. Waltham, MA: Academic Press; 2013.[hentet 22. april 2023]. Tilgjengelig fra:

https://www.sciencedirect.com/book/9780123821782/the-elements-of-polymer-science-and-engineering
30. Chowdhury RA, Sadri AM, Hoque ME. Industrial implementations of biocomposites. I: Hoque ME, Sharif A, Jawaid M, red. Green Biocomposites for Biomedical Engineering: Elsevier Science; 2021. 391-408 s.; hentet 2023].
31. Mohan L, Cherian E, Jayasree Joshi T. Chapter 31 - Emerging issues and challenges for plastic bioremediation I: Malik JA, red. Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation: Elsevier; 2022. s. 589-600. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323904520000104
32. Amobonye AE, Bhagwat P, Singh S, Pillai S. Chapter 10 - Biodegradability of Polyvinyl chloride I: Sarkar A, Sharma B, Shekhar S, red. Biodegradability of Conventional Plastics: Elsevier; 2023. s. 201-20. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323898584000178
33. Koerner GR, Koerner RM. 7.3 - Polymeric Geomembrane Components in Landfill Liners I: Cossu R, Stegmann R, red. Solid Waste Landfilling: Elsevier; 2018. s. 313-41. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124077218000176
34. Yousif E, Hasan A. Photostabilization of poly(vinyl chloride) – Still on the run. Journal of Taibah University for Science. 2015;9(4):421-48. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658365514000880
35. Yuan Z, Xu X-R. Chapter Six - Surface characteristics and biotoxicity of airborne microplastics I: Wang J, red. Comprehensive Analytical Chemistry; 100: Elsevier; 2023. s. 117-64. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166526X2200071X
36. Kumar N, Ukey PD, Francis V, Singh RP, Sahu S. Chapter 16 - Plastic pellets I: Izdebska-Podsiadły J, red. Polymers for 3D Printing: William Andrew Publishing; 2022. s. 307-23. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128183113000197
37. Tátraaljai D, Tang Y, Pregi E, Vági E, Horváth V, Pukánszky B. Stabilization of PE with Pomegranate Extract: Contradictions and Possible Mechanisms. Antioxidants (Basel). 2022;11(2). Tilgjengelig fra: https://mdpi-res.com/d_attachment/antioxidants/antioxidants-11-00418/article_deploy/antioxidants-11-00418-v3.pdf?version=1656301743
38. Ferrari S. Flexible semi closed cage system (SCCS). Serge Ferrari; 2018.
39. Helseth LE. Mikroplast. I: Store norske leksikon. https://snl.no/mikroplast: 2022. Tilgjengelig fra: https://snl.no/mikroplast
40. Klepp IG. mikrofiber. I: Store norske leksikon. 2020. Tilgjengelig fra: https://snl.no/mikrofiber
41. Kögel T. Nye metoder fant mikroplast i filet og lever hos fisk. 2018. HAVFORSKNINGSINSTITUTTET; [hentet 23. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/oktober/nye-metoder-fant-mikroplast-i-filet-og-lever-fisk
42. Ratikainen II. biotiske faktorar. I: Store norske leksikon. snl.no: Store norske leksikon; 2021. Tilgjengelig fra: https://snl.no/biotiske_faktorar
43. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin. 2011;62(8):1596-605. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11003055
44. Uggerud E. dioktylftalater. 2023.Oslo: Store norske leksikon; [hentet 28. april 2023]. Tilgjengelig fra: https://snl.no/dioktylftalater

45. Kyrikou I, Briassoul D. Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. Journal of Polymers and the Environment 2007. Tilgjengelig fra: https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-007-0053-8
46. Ansys. GRANTA Edupack. 20.1.1 utg2020.
47. Booth AM, Kubowicz S, Beegle-Krause J, Skancke J, Nordam T, LandsemMimmi E, et al. Microplastic in global and Norwegian marineenvironments: Distributions, degradation mechanisms and transport. Trondheim: SINTEF; 2017. Tilgjengelig fra: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m918/m918.pdf
48. Andrady AL, Hamid H, Torikai A. Effects of solar UV and climate change on materials. Photochem Photobiol Sci. 2011;1(2):292-3.
49. Groven AS, Hovsbakken IA. Mikroplastfibre i det marine miljø:Nedbrytning og utslipp av additiversom følge av UV-eksponering.: NTNU; 2020.
50. Misund AO, Orvik CP. Degradering av en 4G-kunstgressbane: Effekt av vinterdrift og UV-stråling: NTNU; 2020.
51. Polarinstitutt N. Plast. 2017.https://www.npolar.no/: Norsk Polarinstitutt. Tilgjengelig fra: https://www.npolar.no/faktaside/plast/
52. FN. FNs BÆREKRAFTSMÅL. fn.no: FN; 2022.
53. FN. FNs bærekraftsmål. 2022. FN. Tilgjengelig fra: https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal
54. EcoWatch. 80% of Ocean Plastic Comes From Land-Based Sources, New Report Finds. 2016. Tilgjengelig fra: https://www.ecowatch.com/80-of-ocean-plastic-comes-from-land-based-sources-new-report-finds-1891173457.html
55. Chamas A, Moon H, Zheng J, Qiu Y, Tabassum T, Jang JH, et al. Degradation Rates of Plastics in the Environment. 2020.
56. Gewert B, Plassmann M, Sandblom O, MacLeod M. Supporting information Identification of Chain Scission Products Released to Water by Plastic Exposed to Ultraviolet Light. 2018.Stockholm: Environmental Science & Technology Letters; [hentet 26.03 2023]. Tilgjengelig fra: https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/acs.estlett.8b00119/suppl_file/ez8b00119_si_001.pdf
57. Wypych G. 8 - THE EFFECT OF FILLERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF FILLED MATERIALS I: Wypych G, red. Handbook of Fillers (Fourth Edition): ChemTec Publishing; 2016. s. 467-531. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781895198911500105
58. ISO. Gummi- eller plastbelagte tekstiler Bestemmelse av strekkfasthet og bruddforlengelse 2016.Standard NORGE. Tilgjengelig fra: https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=881529

59. Løvås GG. Statistikk for universiteter og høgskoler. 4 utg.: Universitetsforlaget; 2018.
60. Pedersen K. Nå drar sola for vinteren. 2013. YR; [hentet 19. mai 2023]. Tilgjengelig fra: https://www.yr.no/artikkel/na-drar-sola-for-vinteren-1.11368304
61. Pedersen B. inert. 2021. Store norske leksikon; [hentet 18. mai 2023]. Tilgjengelig fra: https://snl.no/inert

Vedlegg A: Beregning

Gjennomsnittlig årlig solinnstråling= 854 $kWh \cdot m^{-2}$ i året.

UV-stråling representerer 1,2 % av total mengde av solenergi

40 % av UV-strålingen nå ned til en halvmeters dybde.

$gjennomsnittlig\ UV - eksponering = 854 \cdot 1{,}2\ \% \cdot 40\ \% = 4\ kWh \cdot m^{-2}\ i\ året$

$irrdiance\ \ i\ kWh \cdot m^{-2}$ ble beregnet fra Formel 1. Der er $irr\ = 1{,}55\ W \cdot m^{-2}$ og n = 186 timer for gruppe A

$$irrdiance = 1{,}55\ W \cdot m^{-2} \cdot 186\ timer = 288{,}3\ Wh \cdot m^{-2}$$

N ble beregnet fra Formel 2

$$N = \frac{288{,}3 Wh \cdot m^{-2} \cdot 365\ \ dag \cdot år^{-1}}{4000\ Wh \cdot m^{-2} \cdot år^{-1}} = 26{,}3\ dager$$

Gjennomsnittlig verdier, standardavvik og 95%-konfidensintervall (t-fordeling) ble beregnet i Python. Lineær regresjon (minste kvadraters metode) ble beregnet i Python.

Python kode er i Vedlegg F.

Vedlegg B: Antall ekvivalente dager

Tabell 14: Antall ekvivalente dager med minimum på laveste og maksimum UV-friksjonsverdi

Gruppe	Antall ekvivalente dager Minimum UV-friksjonsverdi [dag]	Antall ekvivalente dager Maksimum UV-friksjonsverdi [dag]
A	26	4
B	46	7
C	51	8
D	77	11

Vedlegg C: Rådata

Vekt for UV prøver:

Gruppe A bredde

Tabell 15: Vekt til gruppe A bredde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,8476	4,8350
2	4,2843	4,2740
3	4,5125	4,5050
4	4,5738	4,5655
5	4,5825	4,5784
6	4,3326	4,3345
7	4,7841	4,7787
8	4,7136	4,7021
9	4,4174	4,4014
10	4,5128	4,5002

Gruppe A høyde

Tabell 16: Vekt til gruppe A høyde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,2645	4,2558
2	4,4672	4,4581
3	4,4321	4,4287
4	4,3417	4,3412
5	4,1649	4,1542
6	4,1875	4,1809
7	4,4975	4,4811
8	4,2847	4,275
9	4,5287	4,5116
10	4,1044	4,0983

Vekt for UV prøver:

Gruppe B bredde

Tabell 17: Vekt til gruppe B bredde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,4236	4,4030
2	4,8572	4,8538
3	4,4462	4,4424
4	4,8542	4,8332
5	4,7287	4,7130
6	4,5842	4,5825
7	4,6573	4,6428
8	5,1254	5,1012
9	4,6871	4,6824
10	4,6376	4,6121

Gruppe B høyde

Tabell 18: Vekt til gruppe B høyde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,5052	4,4886
2	4,1124	4,1081
3	4,9466	4,9391
4	4,6145	4,6112
5	4,7346	4,7259
6	4,4633	4,4565
7	4,6682	4,6564
8	4,1386	4,1271
9	4,5876	4,5769
10	4,6822	4,6712

Vekt for UV prøver:

Gruppe C bredde

Tabell 19: Vekt til gruppe C bredde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,1327	4,1228
2	4,2235	4,2113
3	3,7963	3,7760
4	4,3078	4,2938
5	4,1390	4,1133
6	4,0571	4,0477
7	4,1832	4,1734
8	4,8521	4,8342
9	4,1883	4,1771
10	3,9453	3,9385

Gruppe C høyde

Tabell 20: Vekt til gruppe C høyde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	3,9538	3,9451
2	4,4716	4,4587
3	4,3548	4,3428
4	4,1270	4,1148
5	4,3942	4,3820
6	4,0064	3,9780
7	4,2284	4,2142
8	4,0518	4,0422
9	4,4680	4,4561
10	4,0901	4,0813

Vekt for UV prøver:

Gruppe D bredde

Tabell 21: Vekt til gruppe D bredde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,7876	4,7646
2	4,8357	4,8272
3	4,3973	4,3781
4	4,7459	4,7389
5	4,7527	4,7483
6	4,5327	4,5188
7	4,4837	4,3972
8	4,6829	4,6753
9	4,6195	4,5959
10	4,3378	4,2996

Gruppe D høyde

Tabell 22: Vekt til gruppe D høyde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	4,1327	4,1228
2	4,2235	4,2113
3	3,7963	3,7760
4	4,3078	4,2938
5	4,1390	4,1133
6	4,0571	4,0477
7	4,1832	4,1734
8	4,0518	4,0422
9	4,4680	4,4561
10	4,0901	4,0813

Vekt for UV prøver:

Gruppe K bredde

Tabell 23: Vekt til gruppe K bredde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	5,7330	5,7670
2	5,1538	5,1956
3	5,8263	5,8544
4	5,6458	5,6821
5	5,7317	5,7823
6	6,3229	6,3743
7	5,6181	5,6459
8	5,2200	5,2558
9	5,2958	5,3352
10	5,1360	5,1488

Gruppe K høyde

Tabell 24: Vekt til gruppe K høyde.

Prøvenr.	Vekt før [g]	Vekt etter [g]
1	5,4160	5,4480
2	5,5393	5,5772
3	5,3779	5,4388
4	5,2366	5,2802
5	4,6405	4,6723
6	5,0431	5,0679
7	5,3749	5,4053
8	4,7139	4,7519
9	5,2542	5,2801
10	4,8643	4,8893

Tabell 25: Rådata for gruppe 5 mm i bredderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	596,22	516,54811	35,96555	5	1,33
2	549,54	517,73431	36,63269	5	1,33
3	557,42	429,93588	33,78053	5	1,33
4	614,07	582,44287	34,46626	5	1,33
5	520,21	460,89874	33,63263	5	1,33

Tabell 26: Rådata for gruppe 5 mm i høyderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	582,49	576,1005	36,29928	5	1,33
2	661,45	642,8648	38,46569	5	1,33
3	626,35	622,8139	38,13233	5	1,33
4	507,64	489,9549	32,63234	5	1,33
5	613,53	348,9026	36,78262	5	1,33

Tabell 27: Rådata for gruppe 10 mm i bredderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	852,86	464,08148	35,96555	10	1,33
2	963,96	807,91724	36,63269	10	1,33
3	1017,14	825,41974	33,78053	10	1,33
4	956,73	858,59412	34,46626	10	1,33
5	872,63	699,49731	33,63263	10	1,33

Tabell 28: Rådata for gruppe 10 mm i høyderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1357,15	1260,49	39,13221	10	1,33
2	1195,83	1121,595	38,96625	10	1,33
3	1081,53	892,9845	35,13215	10	1,33
4	1134,29	933,8416	35,4658	10	1,33
5	1128,68	1102,677	36,13233	10	1,33

Tabell 29: Rådata for gruppe 15 mm i bredderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1625,01	1446,92859	41,29947	15	1,33
2	1745,43	1332,82996	40,77244	15	1,33
3	1723,5	1577,026	39,96609	15	1,33
4	1576,57	1551,10168	41,6326	15	1,33
5	1520,38	1439,02234	37,96626	15	1,33

Tabell 30: Rådata for gruppe 15 mm i høyderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1295,94	1172,704	42,94394	20	1,33
2	1421,86	1335,162	38,63234	20	1,33
3	1242,51	966,6637	39,9656	20	1,33
4	1258,45	1109,6932	41,69931	20	1,33
5	1189,41	930,6242	35,79393	20	1,33

Tabell 31: Rådata for gruppe 20 mm i bredderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	2254,74	1699,06342	53,69049	20	1,33
2	2438,38	2197,25903	40,26926	20	1,33
3	2260,13	2269,78394	40,13278	20	1,33
4	2686,73	2619,47681	45,96613	20	1,33
5	2522,9	2502,33594	43,63246	20	1,33

Tabell 32: Rådata for gruppe 20 mm i høyderetning.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	2139,34	1842,732	41,63289	15	1,33
2	1754,87	1754,871	38,63219	15	1,33
3	1789,73	1708,603	35,96566	15	1,33
4	1763,93	1499,915	37,29891	15	1,33
5	1985,23	1815,5172	44,39722	15	1,33

Tabell 33: Rådata gruppe A Bredde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	765,96	691,3765	35,29914	11,44	1,33
2	946,91	784,7165	36,96585	10,61	1,36
3	700,38	508,337	35,63244	10,14	1,33
4	717,63	379,193	35,96586	10,84	1,32
5	656,26	614,9254	32,13245	10,77	1,32
6	591	543,1939	35,29903	10,30	1,31
7	714,41	615,9354	33,46601	11,39	1,34
8	689,95	641,3393	33,29887	10,83	1,33
9	750,75	486,952	35,7995	10,41	1,32
10	675,05	583,3844	32,29921	10,72	1,32

Tabell 34: Rådata gruppe A høyde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1306,69	860,5605	44,63283	10,43	1,31
2	2122,82	1179,259	49,94942	10,86	1,28
3	2053,01	1849,463	50,96611	10,5	1,28
4	771,99	710,6065	36,6325	10,82	1,31
5	989,72	945,4575	37,63249	9,8	1,3
6	974,79	926,4368	36,3212	9,56	1,32
7	1 359,26	975,6486	49,5412	9,71	1,31
8	1 698,21	1358,437	51,3268	10,34	1,32
9	1 510,69	1256,754	51,1298	10,13	1,31
10	1 475,48	1234,542	50,3245	10,23	1,32

Tabell 35: Rådata for gruppe B Bredde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	645,81	583,3769	34,96592	10,38	1,32
2	890,92	813,4227	38,1327	11,36	1,32
3	775,03	748,3231	34,29907	10,60	1,32
4	887,32	791,7647	34,4658	10,05	1,31
5	861,28	753,2062	39,29939	11,02	1,35
6	732,02	645,7043	37,6325	10,67	1,32
7	748,47	623,8563	38,13216	10,66	1,32
8	934,44	854,6924	39,29896	11,81	1,34
9	708,58	671,3444	37,63277	10,84	1,31
10	806,06	749,1975	37,29911	10,50	1,32

Tabell 36: Rådata for gruppe B høyde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1084,02	525,1849	43,29729	11,16	1,30
2	1235,23	1225,814	34,96560	9,91	1,29
3	1994,64	1054,996	49,62941	11,6	1,33
4	1805,52	1343,129	46,61049	11,05	1,32
5	1132,43	1043,032	42,96585	11,72	1,30
6	1475,91	1314,516	38,46585	10,66	1,30
7	1043,05	672,3674	38,62408	10,81	1,31
8	803,35	664,4373	37,96577	10,34	1,32
9	1353,63	1336,234	41,63251	10,88	1,32
10	1749,11	1749,11	44,13231	11,75	1,31

Tabell 37: Rådata for gruppe C Bredde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1048,13	968,52	36,80	10,58	1,33
2	986,03	954,98	35,80	10,61	1,33
3	874,05	494,9274	36,95549	9,50	1,32
4	1055,31	897,0393	37,9659	10,71	1,33
5	944,96	938,0278	38,46572	10,83	1,33
6	929,85	788,6428	36,79898	10,40	1,32
7	997,64	891,9887	36,13262	10,62	1,35
8	818,77	719,9865	33,79932	11,47	1,34
9	992,3	853,4851	36,79963	10,48	1,34
10	869,75	765,0716	33,13293	10,10	1,32

Tabell 38: Rådata for gruppe C høyde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	842,72	774,5609	34,96582	10,19	1,32
2	2 183,47	1914,27	45,78924	11,54	1,33
3	845,97	741,8416	33,79911	11,75	1,33
4	772,57	698,6775	35,2989	10,88	1,34
5	1 937,93	1937,932	40,46586	11,6	1,33
6	746,82	600,043	35,13246	10,15	1,33
7	965,66	897,6087	38,46567	10,33	1,33
8	847,89	779,3729	35,96574	10,82	1,34
9	1443,75	1409,001	38,79965	11,54	1,33
10	732,92	633,3696	32,96616	10,05	1,34

Tabell 39: Rådata for gruppe D Bredde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	704,59	689,2596	34,47	11,29	1,30
2	632,77	584,4516	34,97	11,28	1,31
3	573,38	502,7573	31,47	10,33	1,30
4	712,18	660,006	39,97	10,75	1,32
5	731,12	396,1098	35,46	10,81	1,33
6	691,39	657,6477	34,47	10,63	1,35
7	572,95	460,9079	32,30	10,53	1,32
8	704,95	535,2743	34,80	10,07	1,32
9	652,95	417,4928	35,97	10,36	1,32
10	545,06	490,6869	32,97	10,34	1,32

Tabell 40: Rådata for gruppe D høyde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	831,87	734,1606	38,46569	10,57	1,31
2	1020,33	608,6519	48,81412	10,77	1,3
3	1387,84	1327,967	37,29895	10,64	1,3
4	1207,05	1092,563	42,63277	10,94	1,32
5	1611,61	1611,613	36,63273	10,85	1,3
6	943,56	630,5617	40,94923	9,64	1,29
7	748,36	390,1988	38,12463	9,98	1,3
8	1322,65	1064,276	36,94385	9,82	1,3
9	1615,06	1315,513	39,78769	11,15	1,29
10	1318	1308,363	42,1326	9,87	1,28

Tabell 41: Rådata for gruppe K Bredde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1803,81	1833,04028	39,4659	10,78	1,33
2	1729,86	1727,40894	42,96601	9,87	1,33
3	1561,82	1299,4137	38,09619	9,69	1,33
4	1645,56	1355,33118	41,60745	10,34	1,33
5	1647,1	1366,44263	37,77254	10,51	1,33
6	1595,86	1525,91	39,79	9,98	1,33
7	1714,52	1468,87	46,11	9,16	1,33
8	1968,56	1941,45715	41,79917	11,24	1,33
9	1748,46	1481,93628	43,11391	9,89	1,33
10	2156,4	1950,73877	43,46589	10,7	1,33

Tabell 42: Rådata for gruppe K Høyde.

Prøvenr.	Strekkfasthet [N]	Belastning ved brudd [N]	Forlengelse [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	1815,43	1551,246	39,94423	10,99	1,33
2	1932,12	1932,116	40,96573	11,15	1,33
3	1705,19	1205,397	42,63298	10,00	1,33
4	1726,13	1347,316	41,29918	10,31	1,33
5	1556,57	1032,531	40,46625	10,83	1,33
6	1268,04	949,7893	36,93764	9,85	1,33
7	1652,79	1364,23	41,09	10,12	1,33
8	1736,46	1215,51	45,04	11,48	1,33
9	1891,21	1610,1	41,13	11,72	1,33
10	1677,91	1493,79	40,96	11,8	1,33

Vedlegg D: Python koding for grafer og beregninger.

Data punkt fra strekktest

In [1]:

```
# x-akse er forlengelse i [mm] og y-akse er belastning i [N].
x1=[]
y1=[]
x2=[]
y2=[]
x3=[]
y3=[]
x4=[]
y4=[]
x5=[]
y5=[]
```

Import av biblioteker

In [ ]:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.lines import Line2D
from matplotlib.ticker import AutoMinorLocator
from scipy import stats
import sys
import matplotlib
import numpy.linalg as LA
plt.rcParams['figure.dpi']=1800
```

Plotet av belastning mot forlengelse

In [ ]:

```
#grid
plt.rcParams["figure.figsize"] = [7.50, 3.50]
plt.rcParams["figure.autolayout"] = True
plt.grid()
plt.savefig("myimage.eps", dpi=1900)
plt.grid(True)
plt.grid(which='major', color='#DDDDDD', linewidth=1)
# Show the minor grid as well. Style it in very light gray as a thin,
# dotted line.
plt.grid(which='minor', color='#EEEDEE', linestyle=':', linewidth=0.6)
# Make the minor ticks and gridlines show.
plt.minorticks_on()
# grid end
```

```
#Akser
# naming the x axis
plt.xlabel('Forlengelse [mm]',color='b',size=14)

# naming the y axis
plt.ylabel('Belastning [N]', color='r',size=14)
plt.xlim(0, 40)
plt.ylim(0, 3200)
plt.xticks([2,4, 6, 8, 10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44])
plt.yticks([400, 800, 1200,1600,2000,2400,2800 ])
#askser end

# titel
plt.title(' Prøver i Bredderetning med 20 mm bredde\n',size=16)
# titel end
```

```
#corve
# function to show the plot
plt.plot(x1, y1,label = "Prøve 1")
plt.plot(x2, y2, label = "Prøve 2")
plt.plot(x3, y3, label = "Prøve 3")
plt.plot(x4, y4, label = "Prøve 4")
plt.plot(x5, y5, label = "Prøve 5")
plt.legend()
plt.show()
```

Strekkfasthet og belastning ved brudd

In [ ]:

```
x = [1,2,3,4,5]
y1=[596,549.54,557.42,614.07,520.2,]
y2=[516.5481,517.73431,429.93588,582.44287,460.89874]
plt.rcParams["figure.figsize"] = [3.15, 4.25]
plt.rcParams["figure.autolayout"] = True
plt.grid()
plt.savefig("myimage.eps", dpi=1900)
plt.grid(True)
plt.grid(which='major', color='#DDDDDD', linewidth=1)
# Show the minor grid as well. Style it in very light gray as a thin,
# dotted line.
plt.grid(which='minor', color='#EEEDEE', linestyle=':', linewidth=0.6)
# Make the minor ticks and gridlines show.
plt.minorticks_on()
plt.rc('axes', axisbelow=True)
```

```
# naming the x axis
plt.xlabel('Forlengelse [mm]',color='b',size=14)

# naming the y axis
plt.ylabel('Belastning [N]', color='r',size=14)
plt.xlim(0, 6)
plt.ylim(200, 2800)
plt.xticks([1,2,3,4,5],size=6)
plt.yticks([400,600,800,1000,1200,1400,1600,1800,2000,2200,2400,2600,],size=6)
#askser end


# plotting points as a scatter plot
plt.scatter(x, y1, label= "stars", color= "green",
            marker= "s", s=40)

plt.scatter(x, y2, label= "stars", color= "Blue",
            marker= "D", s=40)
```

```
# x-axis label
plt.xlabel('Prøvenummer',size=10)
# frequency label
plt.ylabel('Belastning [N]',size=10)
# plot title
plt.title(' Prøver i bredderetning \nmed bredde 5 mm',size=10)
# showing legend

# function to show the plot
plt.show()
```

Beregning av gjennomsnittlig verdier, standardavvik og 95%-konfidensintervall

DATA

In [ ]:

```
# kun gyldige prøver er med i beregning
x = [1,2,3,4,5]
y1=[]                       #strekkfasthet
y2=[]                       #belastning ved brudd
y3=[]                       # forlengelse
n=5
m=n-1
t_alfa=2.776      #for fire antall prøver 95%-konfidensintervall fra tabell
```

Beregning

```
# gjennomsnitt strekkfasthet
gjennomsnitt_y1=0
i=0
for i in range (n):
    gjennomsnitt_y1=gjennomsnitt_y1+y1[i]
    i=i+1
gjennomsnitt_y1=gjennomsnitt_y1/n
print (f'Strekkfasthet gjennomsnittverdi: {round (gjennomsnitt_y1,0)}')



# standardavvik strekkfasthet
stand_y1=0
i=0
for i in range (n):
    stand_y1=stand_y1+(y1[i]-gjennomsnitt_y1)**2
    i=i+1
stand_y1=(stand_y1/m)**0.5

print (f'Standardavvik strekkfasthet: {round (stand_y1,0)}')
```

```
#konfidensintervall strekkfasthet


maks_y1= gjennomsnitt_y1+ t_alfa* stand_y1/(m**0.5)
min_y1=gjennomsnitt_y1- t_alfa* stand_y1/(m**0.5)
print ('95%-konfidensintervall strekkfasthet:[',round (min_y1,0),',',round (maks_

# gjennomsnitt belastning ved brudd

gjennomsnitt_y2=0
i=0
for i in range (n):
    gjennomsnitt_y2=gjennomsnitt_y2+y2[i]
    i=i+1
gjennomsnitt_y2=gjennomsnitt_y2/5
print (f'Belastning ved brudd  gjennomsnittverdi: {round (gjennomsnitt_y2,0)}')
```

```
# standardavvik belastning ved brudd
stand_y2=0
i=0
for i in range (n):
    stand_y2=stand_y2+(y2[i]-gjennomsnitt_y2)**2
    i=i+1
stand_y2=(stand_y2/m)**0.5

print (f'Standardavvik belastning ved brudd: {round (stand_y2,0)}')


#konfidensintervall Belastning ved brudd


maks_y2= gjennomsnitt_y2+ t_alfa* stand_y2/(m**0.5)
min_y2=gjennomsnitt_y2- t_alfa* stand_y2/(m**0.5)
print ('95%-konfidensintervall belastning ved brudd:[',round (min_y2,0),',',round
```

```
# gjennomsnitt forlengelse
gjennomsnitt_y3=0
i=0
for i in range (n):
    gjennomsnitt_y3=gjennomsnitt_y3+y3[i]
    i=i+1
gjennomsnitt_y3=gjennomsnitt_y3/n
print (f'forlengelse gjennomsnittverdi: {round (gjennomsnitt_y3,0)}')


# standardavvik forlengelse
stand_y3=0
i=0
for i in range (n):
    stand_y3=stand_y3+(y3[i]-gjennomsnitt_y3)**2
    i=i+1
stand_y3=(stand_y3/m)**0.5

print (f'Standardavvik forlengelse: {round (stand_y3,0)}')
```

```
#konfidensintervall forlengelse


maks_y3= gjennomsnitt_y3+ t_alfa* stand_y3/(m**0.5)
min_y3=gjennomsnitt_y3- t_alfa* stand_y3/(m**0.5)
print ('95%-konfidensintervall forlengelse:[',round (min_y3,0),',',round (maks_y3
```

Lineær Regresjon: Minste kvadraters metode for strekkfasthet mot prøvebredde

```
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats
import sys
import matplotlib
import numpy.linalg as LA

x_v1=np.array ([5,10,15,20])
y_v1=np.array ([536,1062,1103,1724])
a11=np.array([1,1,1,1])
a21=x_v
b_v1=y_v
A1=np.column_stack((a1, a2))
x01=LA.inv(A1.transpose()@A1)@ A1.transpose()@b_v1
print(f'x0={np.round(x0,4)}')
plt.close('all')
plt.plot(x_v1, y_v1,'.k', markersize=10)
x1=np.arange(3, 22, 0.1)
y1=x0[0]+x0[1]*x
plt.plot(x1,y1,'b')
```

```
#grid
plt.rcParams["figure.figsize"] = [6.50, 3.50]
plt.rcParams["figure.autolayout"] = True
plt.grid()
plt.savefig("myimage.eps", dpi=1900)
plt.grid(True)
plt.grid(which='major', color='#DDDDDD', linewidth=1)
# Show the minor grid as well. Style it in very light gray as a thin,
# dotted line.
plt.grid(which='minor', color='#EEEDEE', linestyle=':', linewidth=0.6)
# Make the minor ticks and gridlines show.
plt.minorticks_on()
# grid end
```

```
#Akser
# naming the x axis
plt.xlabel('Prøvebredde [mm]',color='b',size=10)

# naming the y axis
plt.ylabel('Strekkfasthet [N]', color='r',size=10)
plt.xlim(0, 25)
plt.ylim(0, 2800)
plt.xticks([5,10,15,20],size=6)
plt.yticks([400, 800,1200, 1600, 2000,2400,],size=6)
#askser end
plt.text(x=7.5,y=2160,s=f' y={round (x0[0],0)}+({round (x0[1],0)})x',
         )
# titel

plt.title('Belastning mot forlengelse \n Prøver i bredderetning med 15 mm bredde'
plt.title('Strekkfasthet mot prøvebredde \nPrøver i høyderetning\n',size=10)
# titel end


plt.show()
```

Strekkfasthet mot UV-eksponeringstid

In [ ]:

```
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot()
# 0.00883,0.00822,0.01554,0.01309,
x1=[0,274,486,546,820]
y1=[1179.50,721.1855556,798.993,951.679,642.15875]


d = Line2D(x1, y1, color='green', linewidth=0.2, marker='D', markersize=2, marker
markeredgewidth=2)

ax.add_line(d)

plt.title("Strekkfasthet mot UV-eksponeringstid \nPrøver i bredderetning ",fontsi
plt.xlabel("x-axis",fontsize=9)
plt.ylabel("y-axis",fontsize=9)
```

```
#grid
plt.rcParams["figure.figsize"] = [7.50, 3.50]
plt.rcParams["figure.autolayout"] = True
plt.grid()
plt.savefig("myimage.eps", dpi=1900)
plt.grid(True)
plt.grid(which='major', color='#DDDDDD', linewidth=1)
# Show the minor grid as well. Style it in very light gray as a thin,
# dotted line.
plt.grid(which='minor', color='#EEEDEE', linestyle=':', linewidth=0.6)
# Make the minor ticks and gridlines show.
plt.minorticks_on()
# grid end
```

```
plt.ylabel('Strekkfasthet [N]', color='r',size=9)
plt.xlabel('UV-eksponeringstid [time]', color='b',size=9)
plt.xlim(-50, 900)
plt.ylim(600, 1300)
plt.xticks([0,50,100,150,200,250,300,350,400,450,500,550,600,650,700,750,800,850]
plt.yticks([650,700,750,800,850,900,950,1000,1050,1100,1150,1200,1250],size=6)

#plt.axis('Scaled')
plt.show()
```

Vektendring mot eksponeringstid

```
x=[0,274,486,820,846]
y=[0,-0.00883,
-0.00922,
-0.01309,
-0.01316,]



plt.rcParams["figure.figsize"] = [9,5]
plt.rcParams["figure.autolayout"] = True
plt.grid()
plt.savefig("myimage.eps", dpi=400)
```

```
# naming the x axis
plt.xlabel('Forlengelse [mm]',color='b',size=14)

# naming the y axis
plt.ylabel('Belastning [N]', color='r',size=14)
plt.xlim(-50, 900)
plt.ylim(-0.03, 0.005)
plt.xticks([0,50,100,150,200,250,300,350,400,450,500,550,600,650,700,750,800,850,
plt.yticks([0,-0.005,
-0.010,
-0.015,
-0.02,
-0.025])
#askser end
```

```
plt.rcParams["figure.figsize"] = [6.50, 3.50]
plt.rcParams["figure.autolayout"] = True
plt.grid()
plt.savefig("myimage.eps", dpi=1900)
plt.grid(True)
plt.grid(which='major', color='#DDDDDD', linewidth=1)
# Show the minor grid as well. Style it in very light gray as a thin,
# dotted line.
plt.grid(which='minor', color='#EEEDEE', linestyle=':', linewidth=0.6)
```

```
plt.plot(x0,y0,color="green")
x1=[274,486]
y1=[-0.00883,
-0.00922]
plt.plot(x1,y1,color="green")

x2=[486,820]
y2=[-0.00922,-0.01309]
plt.plot(x2,y2,color="green")
x3=[820,846]
y3=[-0.01309,-0.01316]
plt.plot(x3,y3,color="green")
```

```
# x-axis label
plt.xlabel('Eksponeringstid [time]')
# frequency label
plt.ylabel('Vektendring [g]')
# plot title
plt.title(' Vektendring mot eksponeringstid  \n\n Prøver i høyderetning\n ')
# showing legend

# function to show the plot
plt.show()
```

F: t-fordeling tabell

n-1	t.100	t.050	t.025	t.010	t.005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,557	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169