



Kunnskap for en bedre verden

## **Degradering av en 4G-kunstgressbane: Effekt av vinterdrift og UV-stråling**

Degradation of 4G Artificial Football Turf:  
Effect of Winter Maintenance and UV Radiation

TMAK3001 - Bacheloroppgave i materialteknologi

**Audun Olsen Misund og Casper Pilskog Orvik**

<b>Prosjektnummer</b>	IMA-B-17-2020
<b>Innleveringsdato</b>	27.05.2020
<b>Gradering</b>	Åpen
<b>Intern veileder</b>	Kjersti Kleveland
<b>Ekstern veileder</b>	Siri Marie Bø
<b>Oppdragsgiver</b>	Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT)



## Forord

Arbeidet er gjennomført våren 2020 i henhold til TMAK3001 Bacheloroppgave i materialteknologi ved studiet materialteknologi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven er en del av Kunstgress 2021 (KG2021) prosjektet til Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) ved NTNU, som er et treårig prosjekt med fokus på utvikling og prøving av nye konsept av fremtidens kunstgressbaner. Hensikten med arbeidet var å undersøke effekt av vinterdrift og UV-stråling på fysiske, kjemiske og mekaniske egenskaper til kunstgressfiber og backing på en 4G-kunstgressbane. Det eksperimentelle arbeidet ble gjennomført på Kalvskinnet og Gløshaugen ved Institutt for materialteknologi (IMA).

Vi vil gjerne takke vår interne veileder Kjersti Kleveland som har bidratt med verdifulle innspill gjennom hele perioden. Vi vil også rette en takk til vår eksterne veileder, Siri Marie Bø ved Insitutt for bygg- og miljøteknikk som har gitt gode føringer og vist stor tillitt til oss rundt gjennomføringen av arbeidet. Avdelingsingeniør Andrey Kosinskiy har bidratt med sin assistanse ved arbeidet rundt prøvepreparering til sveipelektronmikroskopi og UV-kammer. Overingeniør Pål Christian Skaret har assistert ved strekktesting.

Trondheim, 27.mai 2020



Audun Olsen Misund



Casper Pilskog Orvik



## Sammendrag

I arbeidet ble effekt av vinterdrift og UV-stråling på en 4G-kunstgressbane undersøkt ved salt- og UV-eksponering av kunstgressfiber og salteksponering av backing. Oppgaven er en del av Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) sitt prosjekt Kunstgress 2021 (KG2021). Dette er et 3-årig prosjekt med fokus på utvikling og prøving av nye konsepter for fremtidens kunstgressbaner. Bakgrunnen for prosjektet er hvordan bruk av Styren-butadien gummi (SBR) som ifyllsmateriale gir utfordringer som utslipp av mikroplast og utlekking av miljøgifter.

Fysiske- og kjemiske egenskaper til fiber av lineær lav-tetthet polyetylen (LLDPE) og backing av polypropylen (PP) ble kartlagt ved makroskopisk karakterisering og karakterisering av overflatestruktur i sveipelektronmikroskop (SEM). Mekaniske egenskaper til fiber ble også undersøkt ved strekktesting. Egenskaper ble kartlagt før og etter eksponering i saltløsning (NaCl, 10 vekt%) i en uke ved 4 °C, 22 °C og 70 °C og i UV-kammer (UVA, 0,89 W/m<sup>2</sup>) i en, to, fire, seks og åtte uker. UV-eksponerte fiber ble ikke karakterisert eller strekktestet grunnet restriksjoner i forbindelse med COVID-19.

Salteksponering ved 70 °C førte til størst masseøkning både for fiber og backing. Eksponert backing ved 70 °C mistet litt glans, mens eksponerte fiber ved 22 °C og 70 °C ble observert til å ha mer tilfeldig orientering. Dimensjonsforandringer etter eksponering ble ikke observert på noen prøver. Funnene er positive med tanke på å opprettholde spillegenskaper og utseende til kunstgressbanen ved salting. Ved karakterisering av mikrostruktur kunne karakteristiske striper og rifter sees på både før og etter salteksponering av fiber og backing ved alle temperaturer. Forekomst av hvite partikler/ujevnheter økte med økende eksponeringstemperatur, og kunne i større grad sees på fiber sammenlignet med backing. Strekktesting ble gjennomført med ti paralleller fra hver prøveserie av ueksponert og eksponert fiber, der strekkfasthet og maksimal tøyning ble målt. Ingen endring i strekkfasthet som følge av salteksponering ble påvist. Økt eksponeringstemperatur førte derimot til mindre spredning i verdier ved sammenligning av standardavvik for strekkfasthet. Samme trend kunne ikke observeres for tøyning. Avtagende gjennomsnittsverdi for tøyning ved økt eksponeringstemperatur kunne derimot sees.

Effekt av UV-eksponering fra lignende forsøk viste varierende endring i strekkfasthet og tøyning, og ingen konkret effekt av UV-stråling ble derfor påvist. Type og mengde UV-stabilisator antas å spille en viktig rolle med tanke på degradering av kunstgressbanens komponenter fra UV-stråling. Varmeabsorpsjon i polymer som følge av UV-stråling kan føre til økt tøyning og redusert stivhet, som kan resultere i tap av friksjon mellom ball og bane.

En vinteråpen kunstgressbane vil oppleve større degradering sammenlignet med en vinterstengt bane som følge av hyppigere bruk og vedlikehold. Dette forekommer fra mekanisk og kjemisk fjerning av snø og is, i kombinasjon med temperaturforandringer og mekanisk slitasje fra økt antall brukstimer. Degradering kan dermed føre til redusert levetid fra endring av komponentenes mekaniske egenskaper ved lave temperaturer. Fiber og backing vil da bli stivere og ha redusert tøyning, noe som fører til ugunstige spillegenskaper som økt ballsprett og ballrulle samt redusert støtdemping. Salting, bruk av undervarme og anbefalt utstyr fra FDV-instruks er sentralt for å opprettholde ønskede spillegenskaper i vintersesongen.



## Abstract

In this thesis, the effect of winter maintenance and UV radiation on a 4G-artificial football turf was investigated by exposure to salt and artificial UV. The assignment is part of Centre for Sport Facilities and Technology (SIAT) project Kunstgress 2021 (KG2021). This is a 3-year project focusing on the development and testing of new concepts for future artificial turfs. Purpose of the project is based on usage of Styrene-butadiene rubber (SBR) as infill material due to release of microplastic and the leakage of environmental toxins.

Physical and chemical properties of linear low-density polyethylene fiber (LLDPE) and backing of polypropylene (PP) were mapped by macroscopic characterization and characterization of surface structure in scanning electron microscope (SEM). The mechanical properties of the fibers were also measured by tensile testing. Properties were studied before and after exposure of sodium chloride (NaCl, 10 wt%) for one week at 4 °C, 22 °C and 70 °C and in UV chamber (UVA, 0.89 W / m<sup>2</sup>) for one, two, four, six and eight weeks. UV-exposed fibers were not characterized or measured by tensile testing, due to restrictions associated with COVID-19.

Salt exposure at 70 °C lead to greatest increase in mass for both fiber and backing. Loss of gloss was observed on exposed backing at 70 °C, and fibers at 22 °C and 70 °C appeared to have more random orientation. No changes in dimensions was observed after exposure at any temperature. The results are positive in terms of maintaining playing abilities and appearance of the artificial turf by salting during winter maintenance. Characterization of microstructure in SEM showed crazing and tear both before and after salt exposure of fibers and backing at all temperatures. Occurrence of white particles/imperfections increased by exposure at higher temperatures and appeared more frequently on the fibers compared to the backing. The mechanical properties tensile strength and strain were measured by tensile testing of fibers. No change in tensile strength due to salt exposure was detected. However, increased exposure temperature resulted in less dispersion in values when comparing standard deviations for tensile strength. The same trend could not be observed for strain measurements. Decreasing average values for strain at increased exposure temperature could on the other hand be seen.

Effect of UV-exposure from similar experiments showed little and varying change in tensile strength and strain, and no specific effect of UV radiation was therefore detected. Type and quantity of UV stabilizer is believed to play an important role upon degradation of the artificial turf from UV radiation. Heat absorption in polymer due to UV radiation can lead to increased strain and reduced stiffness, which can result in loss of friction between the ball and turf.

A winter-open artificial football field will experience greater degradation compared to a winter-closed field due to more frequent use and maintenance. This occurs from mechanical and chemical removal of snow and ice, combined with changes in temperature and mechanical wear from increased hours of use. At low temperatures, degradation can lead to reduced lifespan from change in mechanical properties. The fibers and backing will become stiffer and experience reduction in strain, resulting in unfavorable playing abilities such as increased ball bounce and ball rolling, as well as reduced shock absorption. Salting, use of heating elements and recommended equipment from the “FDV”-instruction are essential for maintaining desired playing abilities during the winter season.





## Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>VII</b>
<b>Figurer</b> .....	<b>IX</b>
<b>Tabeller</b> .....	<b>XI</b>
<b>Forkortelser</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1. Bakgrunn.....	1
1.2. Problemstilling.....	3
<b>2. Teori</b> .....	<b>4</b>
2.1. Polymer.....	4
2.1.1. Oppbygning av polymer.....	5
2.1.2. Inndeling og mikrostruktur i polymer.....	7
2.1.3. Polyetylen og polypropylen.....	8
2.1.4. Mekaniske egenskaper til polymer.....	10
2.2. Faktorer som påvirker egenskaper til polymer.....	15
2.2.1. Effekt av UV-stråling.....	15
2.2.2. Effekt av væskeabsorpsjon.....	17
2.2.3. Effekt av temperaturendringer.....	17
2.3. 4G-kunstgressbaner.....	19
2.3.1. Komponenter og oppbygning av 4G-kunstgressbaner.....	19
2.3.2. Bærekraft og EoL-strategier for egenskapsfyll og dempematter.....	21
2.3.3. Vedlikehold og bruk av 4G-kunstgressbaner.....	23
2.3.4. Degradering av fiber og backing.....	25
2.4. Statistisk behandling av måledata.....	26
<b>3. Eksperimentelt arbeid</b> .....	<b>27</b>
3.1. Oversikt over prøveserier.....	27
3.2. Eksponering.....	29
3.2.1. Salteksposering.....	29
3.2.2. UV-eksponering.....	30
3.3. Karakterisering og måling.....	31
3.3.1. Makroskopisk karakterisering.....	31
3.3.2. Mikroskopisk karakterisering i sveipelektronmikroskopi.....	32
3.3.3. Strekktesting av kunstgressfiber.....	32

<b>4. Resultater .....</b>	<b>34</b>
4.1. Makroskopisk karakterisering .....	34
4.2. Overflateanalyse i sveipelektronmikroskopi (SEM) .....	36
4.2.1. Gressfiber .....	36
4.2.2. Backing .....	39
4.3. Strekktesting .....	42
4.3.1. Innledende tester .....	42
4.3.2. Beskrivelse av kurveforløp til spenning-tøyningskurver .....	42
4.3.3. Sammenligning av verdier for strekkfasthet og tøying .....	43
4.4. Oppsummering .....	46
<b>5. Diskusjon.....</b>	<b>47</b>
5.1. Makroskopisk karakterisering .....	47
5.2. Mikroskopisk karakterisering i sveipelektronmikroskop .....	47
5.3. Strekktesting av kunstgressfiber .....	48
5.3.1. Prøvepreparering og valg av metode.....	48
5.3.2. Beskrivelse av spenning-tøyningskurver .....	48
5.3.3. Tolkning og sammenligning av måledata fra strekktesting.....	49
5.3.4. Forventet effekt av endret lasthastighet og temperatur .....	50
5.4. Effekt av UV-eksponering .....	50
5.5. Miljø og økonomi ved EoL-strategier for alternative ifyllsmaterialer .....	51
5.6. Degradering fra vinterdrift og bruk .....	52
5.7. Videre arbeid.....	52
<b>6. Konklusjon.....</b>	<b>54</b>
<b>Referanser .....</b>	<b>55</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>59</b>

## Figurer

Figur 1: Oppbygning og komponenter i en 3G-bane .....	1
Figur 2: Kilder til utslipp av mikroplast i Norge i løpet av ett år i % [11]. .....	2
Figur 3: 4G-kunstgress med dobbelt lag gressfiber uten egenskapsifyll og stabiliserende ifyll [13]. .....	3
Figur 4: Tetthet [ $kgm^3$ ] mot strekkfasthet [ $MPa$ ] for de ulike materialgruppene [16]. .....	4
Figur 5: De to første stegene i addisjonspolymerisasjon av etylen ( $C_2H_4$ ) til polyetylen. ....	5
Figur 6: Monomer og repeterende enhet for a) Polyeten (PE) og b) Polypropylen (PP) .....	6
Figur 7: Fire typer strukturell oppbygning av polymer .....	6
Figur 8: a) Sfærulittisk struktur for en semi-krystallinsk termoplast, hvor forskjellen mellom krystallinske og amorfe områder synliggjøres og b) Repeterende enhet i polystyren (PS) [15]. .....	7
Figur 9: Oversikt over tre av de ulike grenstrukturene til polyeten .....	8
Figur 10: Tre former for taktisitet som gir oppgav til ulike egenskaper i termoplaster .....	9
Figur 11: Eksempel på spenning-tøyningskurve ( $\sigma - \epsilon$ ) for et materiale med lineær-elastisk oppførsel .....	11
Figur 12: a) Spenning-tøyningskurve for en semikrystallinsk polymer og b) utstrekking av polymerkjeder langs kurveforløpet .....	12
Figur 13: Spenning-tøyningskurver for heksen-LLDPE [30] .....	13
Figur 14: Viskoelastisk oppførsel ved påføring av konstant spenning .....	13
Figur 15: Spenning-tøyningskurver for HDPE ved a) og b) tre ulike lasthastigheter (0,001 s <sup>-1</sup> , 1 s <sup>-1</sup> , 100 s <sup>-1</sup> ) ved 20 °C og c) samme hastigheter ved -20 °C [32]. .....	14
Figur 16: Tre forskjellige typer for UV-stråling med tilhørende bølgelengder .....	15
Figur 17: SEM-bilder av overflatestruktur til prøveserie 1 (monofilament) a) før og b) etter UVA-eksponering i 732 timer [37]. .....	16
Figur 18: Monomer og polymer for PVC .....	17
Figur 19: a) Oppførselen til en termoplast i strekk ved ulike temperaturer med lasthastighet ( $\epsilon = 2 s - 1$ ) og b) Endring i E-modul for en termoplast med lav- og høy grad av krystallinitet i ulike temperaturintervall [41], [42]. .....	18
Figur 20: Glasstemperatur, $T_g$ , mot smeltetemperatur, $T_m$ , for PE, LLDPE, middeltetthets PE (MDPE), høytetthets PE (HDPE), og PP [15]. .....	18
Figur 21: Tverrsnittsbilde av 4G-kunstgress med kunstgressfiber sydd fast i backing. ....	19
Figur 22: Oversiden av backingen fra ScanTurf sydd sammen fra bånd av PP .....	20
Figur 23: Sammenligning av klimautslipp ved bruk av ulike EOL-strategier for ulike ifyllsmaterialer med og uten dempematte [48]. .....	22
Figur 24: Økonomisk gevinst fra endring av EOL-strategi per tonn ifyllsmateriale [48]. .....	22
Figur 25: Eksempel på bruk av traktor og sloddebørste til fordeling av egenskapsifyll anbefalt av NFF [52]. .....	24
Figur 26 Eksempel på mekanisk fjerning av snø og is ved anbefalt traktor med et Hammer SP-355 skjær [53]. .....	24
Figur 27: Illustrasjon av a) adhesiv- og b) abrasiv slitasje [56]. .....	25
Figur 28: SEM-bilder av overflate til fiber med forstørrelse 50x hentet fra område med a) lav forekomst av slitasje og b) høy forekomst av slitasje. ....	26

Figur 29: Prøvepreparering av fiber og backing før videre klargjøring til salt- og UV-eksponering og strekktesting.....	27
Figur 30: Prøvestykker av backing og fiber festet med fiskesnøre til aluminiumskloser før salteksponering .....	29
Figur 31: Prøvestykker av fiber og backing senket i løsning med 10 vekt% NaCl.....	29
Figur 32: Prøvepreparering av fiber til UV-eksponering og strekktesting.....	30
Figur 33: Preparert prøveserie bestående av 15 fiber før UV-eksponering. ....	31
Figur 34: Gullbelagte prøvestykker på aluminiumskloss ( $d = 3\text{ cm}$ ) med karbontape etter fysisk dampdeponering .....	32
Figur 35: Strekktestmaskin, lastcelle med innspenning og gripeflater brukt til strekktesting.....	33
Figur 36: Fiber og backing a) før- og b) etter eksponering.....	34
Figur 37: SEM-bilder av ueksponert fiber (REF.F).....	36
Figur 38: SEM-bilder av salteksponert fiber ved 4°C (SALT4.F).....	37
Figur 39: SEM-bilder av salteksponert fiber ved 22 °C (SALT22.F).....	37
Figur 40: SEM-bilder av salteksponert fiber ved 70 °C (SALT70.F).....	38
Figur 41: SEM-bilder av ueksponert backing (REF.B) .....	39
Figur 42: SEM-bilder av salteksponert backing ved 4 °C (SALT4.B) .....	40
Figur 43: SEM-bilder av salteksponert backing ved 22 °C (SALT22.B) .....	40
Figur 44: SEM-bilder av salteksponert backing ved 70 °C (SALT70.B) .....	41
Figur 45: Spenning-tøyningskurve fra strekktesting av ti fibre fra ueksponert prøveserie REF.F.....	42
Figur 46: Innzoomet spenning-tøyningskurve fra strekktesting av ti fibre fra ueksponert prøveserie REF.F. ....	43
Figur 47: Måleverdier for strekkfasthet og tøying fra strekktesting .....	44
Figur 48: Sammenligning av gjennomsnittsverdier for prøveserier med tilhørende konfidensintervaller for a) strekkfasthet og b) tøying. ....	45

## Tabeller

Tabell 1: Sammenligning av mekaniske egenskaper for ulike varianter av PE .....	8
Tabell 2: Sentrale mekaniske egenskaper for ulike kommersielle semikrystallinske polymerer [16]. .....	12
Tabell 3: Endring i strekkfasthet [%] og tøyning [%] for ulike kunstgressfiber som følge av UVA-stråling i 732 timer.....	16
Tabell 4: Oversikt over hvilke tester som er utført på gressfiber og backing. ....	28
Tabell 5: Dimensjoner på enkeltfiber for UV-eksponering og strekktesting. ....	30
Tabell 6: Parametere for makroskopisk karakterisering gjort på gressfiber og backing før og etter salteksponering.....	31
Tabell 7: Oversikt over makroskopiske observasjoner før eksponering.....	34
Tabell 8: Oversikt over makroskopiske observasjoner etter eksponering.....	35
Tabell 9: Gjennomsnittsverdi ( $\bar{X}$ ), standardavvik ( $\sigma$ ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet og tøyning .....	45



## Forkortelser

	<b>Norsk</b>	<b>Engelsk</b>
3G-bane	Tredje generasjons kunstgressbane	Third generation artificial turf
4G-bane	Fjerde generasjons kunstgressbane	Fourth generation artificial turf
ASTM	Den Amerikanske organisasjon for testing og materialer	American Society for Testing and Materials
EOL	Endt livssyklus	End Of Life
EPDM	Etylenpropylengummi	Ethylene-propylene diene monomer rubber,
FDV	Forvaltning, drifts- og vedlikeholdsinstruks	Operation- and maintenance manual
FIFA	Det internasjonale fotballforbundet	Fédération Internationale de Football Association
HDPE	Høy-tetthet polyetylen	High-density polyethylene
ISO	Den internasjonale standardiseringsorganisasjon	International Organization for Standardization
LDPE	Lav-tetthet polyetylen	Low-density polyethylene
LLDPE	Lineær lav-tetthet polyetylen	Linear low-density polyethylene
NFF	Norges fotballforbund	Norwegian football federation
PE	Polyetylen	Polyethylene
PP	Polypropylen	Polypropylene
PS	Polystyren	Polystyrene
PVC	Polyvinylklorid	Polyvinyl chloride
SBR	Styren-butadien gummi	Styrene-butadiene rubber
SEM	Sveipelektronmikroskop	Scanning electron microscope
SIAT	Senter for idrettsanlegg og teknologi	Centre for Sport Facilities and Technology
t-fordeling	Students t-fordeling	Student's t-distribution
TPE	Termoplastisk elastomer	Thermoplastic elastomer
UV	Ultrafiolett	Ultraviolet
vekt%	Vektprosent	Percentage by weight

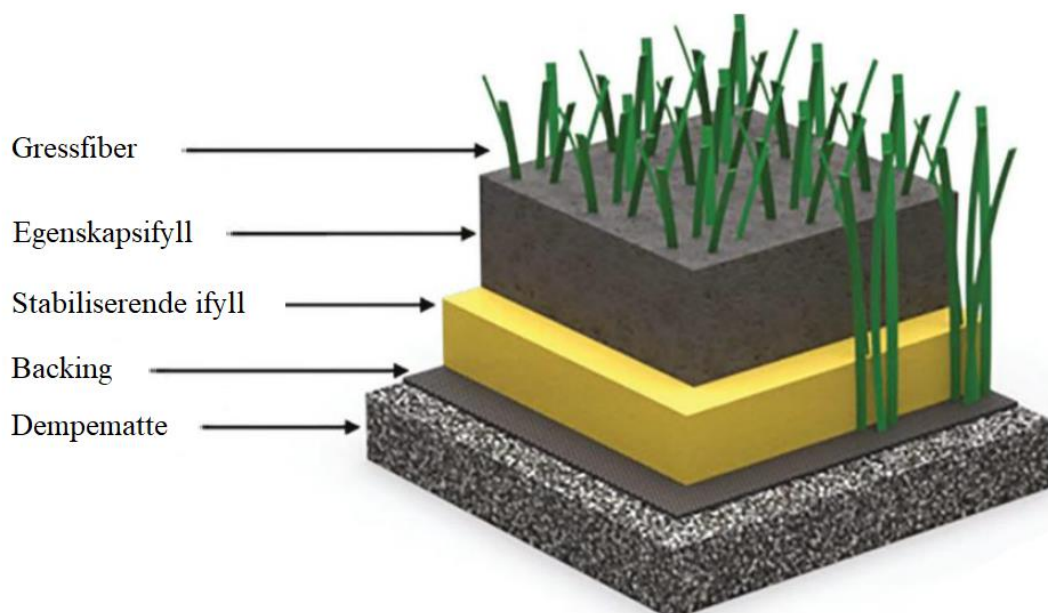




# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

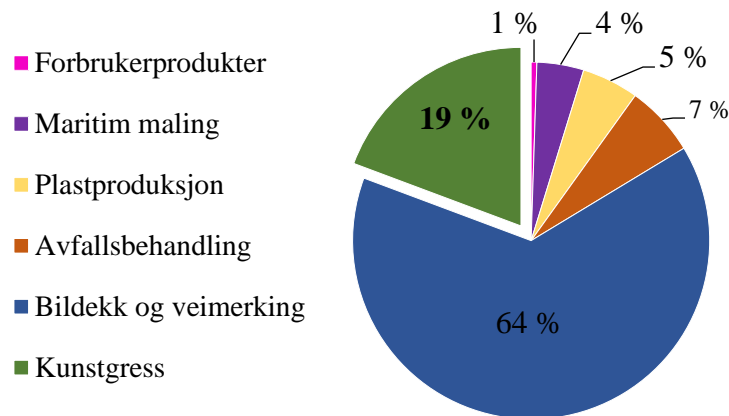
Kunstgressbaner har blitt vanlig å bruke i sportssammenheng, spesielt i land hvor snø og sterk vind kan skape problem for vedlikehold og drift av naturgressmatter. Funksjonen til en kunstgressbane er å simulere kvalitetene og egenskapene til en bane med naturgress. Siden godkjenningen fra fotballtinget i 1985 har kunstgress blitt brukt som spilleunderlag i alle divisjoner, og ifølge Norges fotballforbund (NFF) finnes det per 1.1.2017 omtrent 1600 kunstgressbaner i Norge [1], [2]. Den mest utbredte kunstgressstypen som brukes i dag er tredje generasjons kunstgressbaner (3G-baner) som består av komponenter med ulike egenskaper som skal støtte opp gresset og hindre skader på brukerne. Oppbygningen av en 3G-bane er vist i Figur 1, der en *dempematte* legges direkte på bakkeunderlaget. Over dempematten ligger *backing* som er matten hvor *gressfiber* er festet. Det *stabiliserende ifyll* er som regel sand, og legges i direkte kontakt med backingen. *Egenskapsifyll* ligger over sanden og er laget av vulkanisert gummi hentet fra oppmalte bildekk, i denne rapporten referert til som styrenbutadien gummi (SBR) [3]. Fordeler med SBR er at det har lav pris, gir gode spilleegenskaper som støtdemping og ballsprett, og er laget av et materiale som er lett tilgjengelig.



Figur 1: Oppbygning og komponenter i en 3G-bane med egenskaper som skal støtte opp gressfiberen og gi gode spilleegenskaper [4]. Banens oppbygning fra bunn til topp består av dempematte, backing, stabiliserende ifyll, egenskapsifyll og gressfiber [5].

Ulemper ved bruk av egenskapsifyll laget av SBR er at det avgir farge, lukt og tungmetaller, samt at det består av kjemiske forbindelser som er vanskelig å bryte ned [3]. Mindre biter av SBR karakteriseres derfor som mikroplast; svært små plastpartikler (1  $\mu\text{m}$  – 5 mm) som kan forsvinne og bli liggende i miljøet rundt banene. Bekymringen rundt mikroplast på avveie handler om mulige skader det kan forårsake på levende organismer i for eksempel elver, sjøer og i jorden [6].

Tester og beregninger gjennomført av Fédération Internationale de Football Association (FIFA) viser at på en kunstgressbane med 120 tonn SBR, vil hver bane ha et tap mellom halvannet til fem tonn per år [7]. Dette tilsvarer en til fire prosent av den totale mengden egenskapsifyll installert. I 2019 kom det flere forslag fra det Europeiske Kjemikalietilsynet (ECHA) om begrensninger for å hindre spredning av mikroplast, og her i Norge har også miljødirektoratet kommet med tiltak som skal hindre spredning [6], [8]. Et av disse er krav om en fysisk barriere rundt utendørs idrettsbaner minst 20 cm opp fra bakkenivå [9]. I Norge har Mepex estimert at omtrent 3000 tonn egenskapsifyll forsvinner ut i miljøet hvert år [10]. Figur 2 viser kilder til utslipp av mikroplast i Norge i løpet av ett år gitt i %, der kunstgress står for 19 % av det totale utslippet.



Figur 2: Kilder til utslipp av mikroplast i Norge i løpet av ett år i % [11].

For å imøtekomme krav fra EU og miljødirektoratet er Senter for Idrettsanlegg og Teknologi (SIAT) ved NTNU i samarbeid med blant annet fylkeskommuner, kommuner, idrettslag og forskningsmiljø, i gang med prosjektet «Kunstgress 2021» (KG2021). Et av prosjektmålene er å redusere mikroplastspredning fra kunstgressbaner med 80 % [12]. KG2021 utprøver derfor konsepter for utvikling og drift av nye, fjerde generasjons kunstgressbaner (4G-baner) uten egenskapsifyll fra bildekk. Ved fjerning av SBR må egenskapene til ifyllet overføres til andre lag i oppbygningen av 4G-kunstgresset. Alternativer inkluderer dobbelt lag gressfiber eller ifyll av organiske materialer med lignende egenskaper som SBR-ifyll har. Eksempler på dette er kork eller olivenkjerner [8]. Figur 3 viser 4G-kunstgress med dobbelt lag gressfiber, uten tilsats av ifyll.



Figur 3: 4G-kunstgress med dobbelt lag gressfiber uten egenskapsifyll og stabiliserende ifyll [13].

## 1.2. Problemstilling

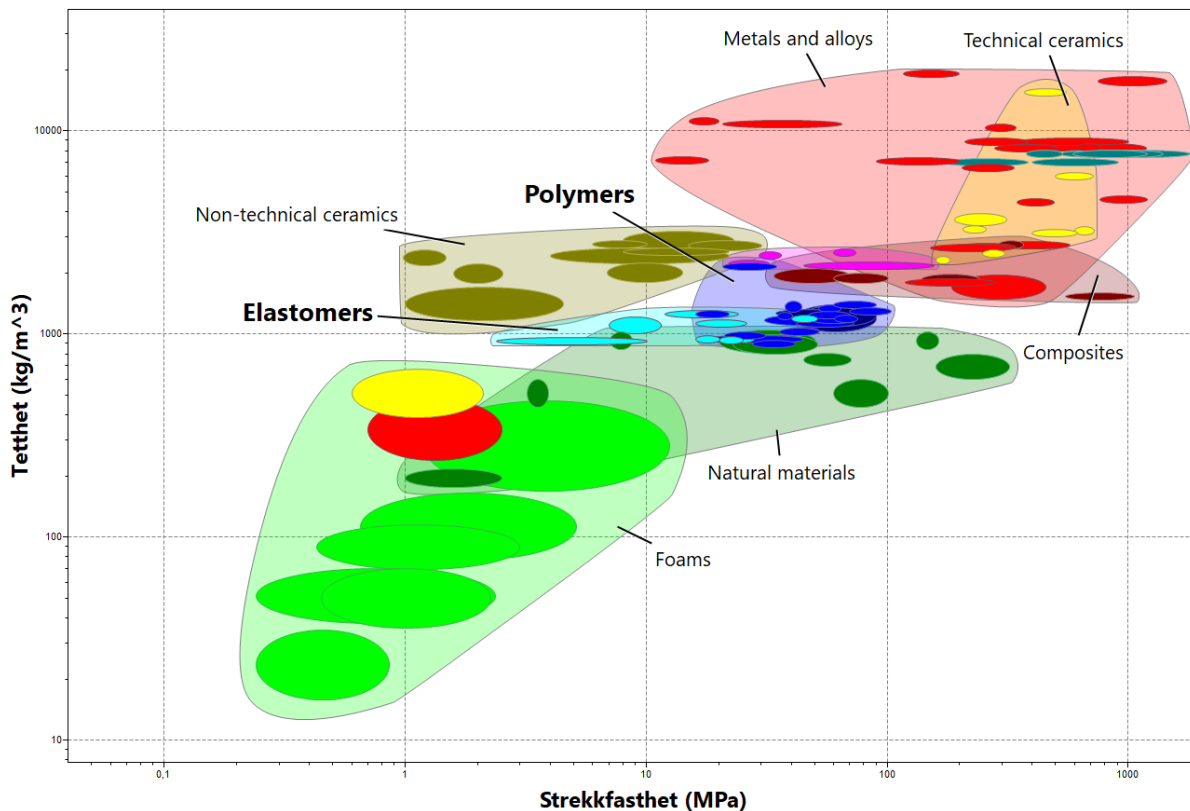
I arbeidet skal effekt av vinterdrift ved salting og effekt av UV-stråling på fysiske, kjemiske og mekaniske egenskaper til gressfiber og backing på en 4G-bane uten egenskapsifyll undersøkes. Gjennom litteratursøk og eksperimentelt arbeid søker arbeidet å besvare spørsmålet: *Hvilken påvirkning vil vinterdrift og UV-stråling ha på spill egenskaper og levetid for en 4G-bane?* For å besvare dette skal gressfiber og backing eksponeres i saltløsning ved tre temperaturer for å simulere salting av kunstgressbanen på vinterstid, og kartlegge effekt dersom saltet blir liggende på banen. Fiber skal også UV-eksponeres i UV-kammer etter standarder fra American Society for Testing and Materials (ASTM) for å simulere UV-stråling fra solen. Makro- og mikroskopisk karakterisering skal gjøres før og etter salt- og UV-eksponering ved bruk av sveipelektronmikroskop (SEM). I tillegg skal måling av mekaniske egenskaper gjøres på salt- og UV-eksponerte fiber ved strekktesting.

## 2. Teori

I følgende kapittel settes den teoretiske rammen for arbeidet. Kapitlet tar først for seg generell teori rundt polymer og videre faktorer som påvirker polymerer sine egenskaper. Avslutningsvis blir det sett nærmere på 4G-banens komponenter og faktorer som fører til degradering av banen.

### 2.1. Polymer

Polymer er betegnelsen på en av de fire materialgruppene som materialer på overordnet nivå deles inn i. Polymer defineres som en substans som er satt sammen av molekyler av lange kjeder av en eller flere atomer som er bundet sammen [14]. Typiske egenskaper for polymer er lav tetthet, motstand mot oksidasjon og moderat styrke sammenlignet med andre materialgrupper, vist i Figur 4 [15]. Her vises tetthet [ $\frac{kg}{m^3}$ ] mot strekkfasthet [ $MPa$ ]. Fysiske, kjemiske og mekaniske egenskaper blir gått nærmere inn på i Kapittel 2.1.4.

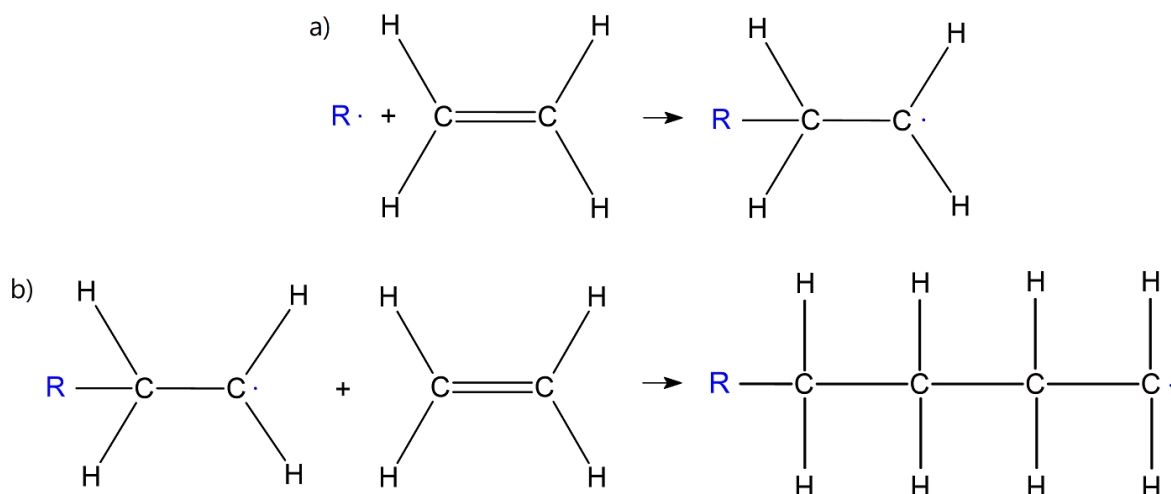


Figur 4: Tetthet [ $\frac{kg}{m^3}$ ] mot strekkfasthet [ $MPa$ ] for de ulike materialgruppene [16]. Polymer og elastomere er uthevet med **fet** skrift.

### 2.1.1. Oppbygning av polymer

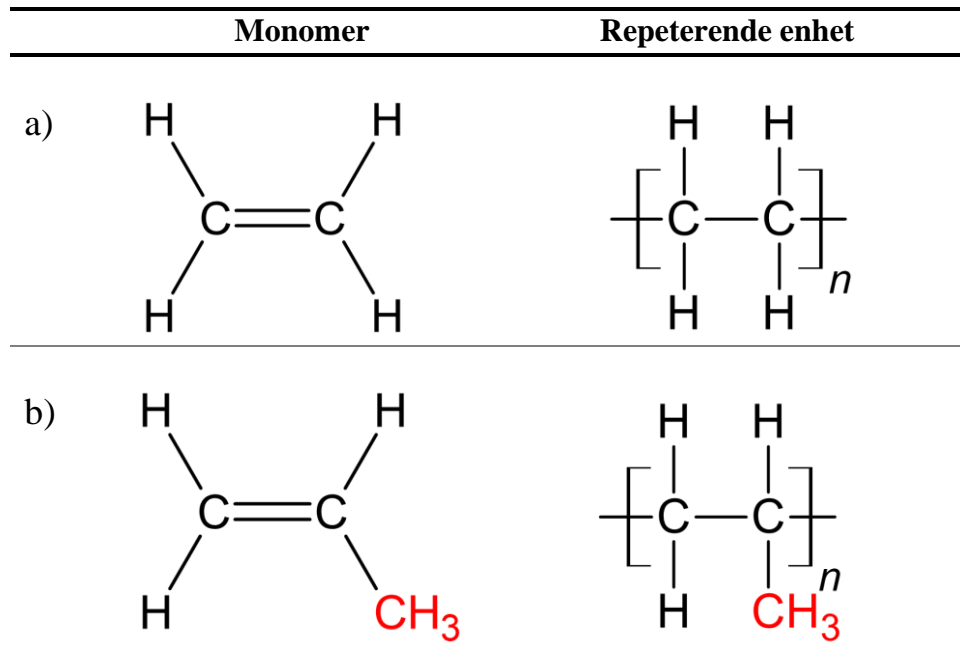
Kovalente bindinger er den viktigste bindingstypen i en polymerkjede da de bestemmer polymerens motstandsevne mot ytre påvirkninger, som varme [17], [18]. I tillegg til kovalente bindinger finnes det også svake krefter mellom polymerkjedene som kalles *intermolekulære krefter*. Disse bestemmer fysiske egenskaper som viskositet, friksjonsegenskaper og løselighet, samt mekaniske karakteristikk som flytegrense og elastisitet-modul (E-modul) [18]. Eksempler på intermolekulære krefter er *dispersjonskrefter (londonkrefter)* og *hydrogenbindinger* [17].

Dannelse av polymerkjeder kalles polymerisasjon, der de to viktigste mekanismene kalles *addisjon-* og *kondensasjonspolymerisasjon* [17]. Figur 5 viser de to første stegene i addisjonspolymerisasjon. Første steg, *initiering*, skjer ved at et fritt radikal med et uparet elektron «R·» reagerer med et monomer (her etylen ( $C_2H_4$ )) vist i Figur 5 a). Radikalet bryter opp dobbeltbindingen mellom karbonatomene og gjør at molekylet får en aktiv ende med et uparet elektron, angitt som «·». Figur 5 b) viser andre steg, *vekst*, der det uparede elektronet reagerer med et karbonatom i neste monomer som lenkes til kjeden.



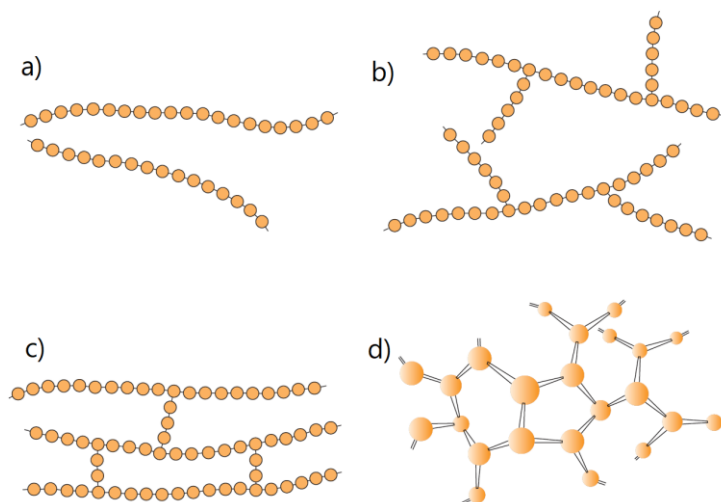
Figur 5: De to første stegene i addisjonspolymerisasjon av etylen ( $C_2H_4$ ) til polyetylen der a) initiering med oppbrytning av dobbeltbindingen mellom C-atomene og b) vekst der et monomer reagerer og hekter seg på den aktive enden angitt som «·» [15].

De minste strukturelle komponentene i oppbygningen av en polymerkjede kalles *repererende enheter*, som har samme kjemisk formel som den tilhørende monomeren. Figur 6 viser monomeren og den repeterende enheten for polyeten (PE) og polypropylen (PP), som begge dannes ved addisjonspolymerisasjon.



Figur 6: Monomer og repeterende enhet for a) Polyeten (PE) og b) Polypropylen (PP) der  $n$  angir antall ganger enheten repeteres [17].

Den *lineære* kjedeformasjonen er den mest grunnleggende oppbygningen for mange polymerer. Andre viktige strukturer er *forgrenet*, *krysslenket* og *nettverksstruktur*, vist i Figur 7. Variasjonen i oppbygning kan gi opphav til ulikheter med tanke på fysiske- og mekaniske egenskaper som smeltepunkt og hardhet. Et eksempel på dette er lineær PE som har smeltepunkt 20 °C høyere enn forgrenet PE [18]. Strukturell oppbygning vil derfor være en sentral faktor ved valg av polymer til ulike formål.



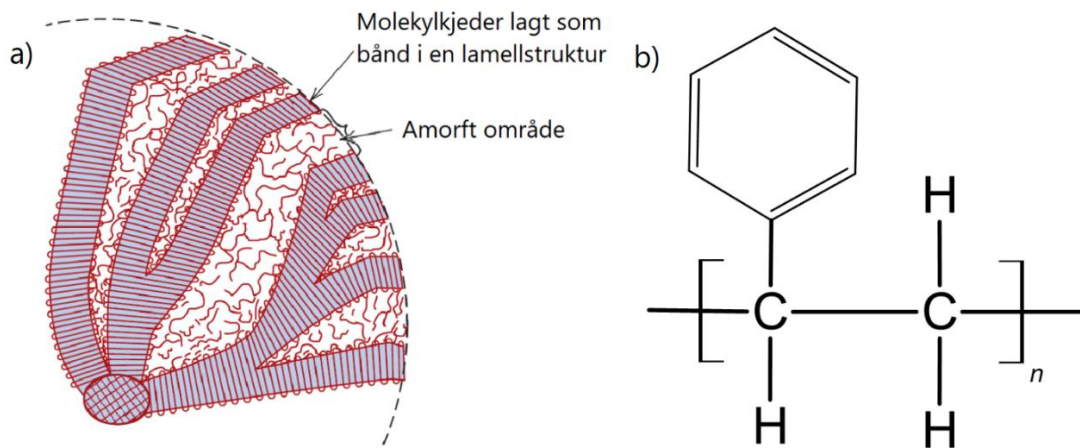
Figur 7: Fire typer strukturell oppbygning av polymer hvor a) lineær, b) forgrenet, c) krysslenket og d) nettverk. Gule prikker angir repeterende enheter [15].



### 2.1.2. Inndeling og mikrostruktur i polymer

Den vanligste inndelingen av polymer er termoplast, herdeplast og elastomer, der termoplast videre deles inn i *krystallinsk* og *amorf* oppbygning. Hovedforskjellen mellom termo- og herdeplast er at ved oppvarming over en gitt temperatur vil det i termoplast skje en gradvis faseovergang fra fast fase til væskefase, mens herdeplast vil dekomponere i fast fase. De fleste polymerer med lineær eller forgrenet struktur med fleksible grener, er termoplaster. Eksempler på dette er polyvinylklorid (PVC) og polystyren (PS) [19], [20]. I denne oppgaven er begge polymertypene som undersøkes termoplaster; lineær lav-tetthet polyetylen (LLDPE) og polypropylen (PP).

Termoplast i fast fase har ofte en blanding av krystallinske og amorfe områder og betegnes derfor som *semi-krystallinsk* [18]. Polymerkjedene i krystallinske områder danner et repeterende mønster og amorfe områder har kjeder som er tilfeldig orientert. Ved avkjøling av en termoplast i væskefase dannes områder som kalles *sfærulitter*. Dette er kuleformede seksjoner der krystallinske områder har molekylkjeder lagt som bånd i en lamellstruktur, adskilt med amorfe områder [15]. Sfærulittisk struktur er vist i Figur 8 a). En av faktorene som avgjør hvor stor grad av krystallinitet en polymer har, er formen på den repeterende enheten. Større og mer komplisert repeterende enhet, som polystyren (PS), gjør oppbygningen mer amorf [18], vist i Figur 8 b). Her erstatter en benzen-ring ( $C_6H_6$ ) ett hydrogenatom i en av atomposisjonene.



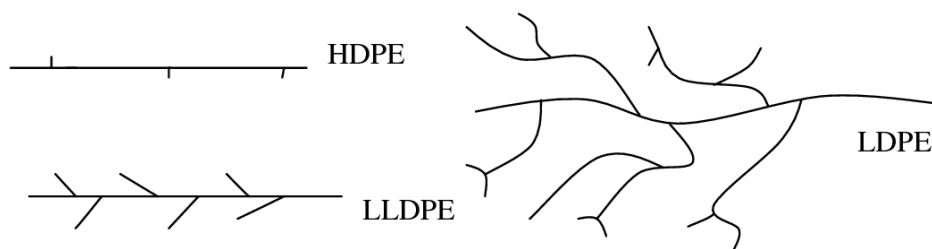
Figur 8: a) Sfærulittisk struktur for en semi-krystallinsk termoplast, hvor forskjellen mellom krystallinske og amorfe områder synliggjøres og b) Repeterende enhet i polystyren (PS) [15].

### 2.1.3. Polyetylen og polypropylen

Egenskapene til polymermaterialene som brukes til fiber og backing i 4G-kunstgresset som blir undersøkt i oppgaven er beskrevet under. Disse inkluderer lineær lav-tetthet polyetylen (LLDPE) fra polyetylen (PE) og polypropylen (PP).

#### Polyetylen

Polyetylen (PE) dannes ved addisjonspolymerisasjon av etylenmolekyler ( $\text{CH}_2$ ). Fra PE stammer flere varianter som høy-tetthet polyetylen (HDPE), lav-tetthet polyetylen (LDPE) og lineær lav-tetthet polyetylen (LLDPE). LLDPE fremstilles ved polymerisasjon av lineært PE med alfa-olefiner ( $\text{C}_x\text{H}_{2x}$ ) som 1-heksen ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ) eller 1-buten ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ) under høyt trykk [21]. Dette fører til redusert evne til å danne krystallinske områder [22]. Før polymerisasjon tilsettes ulike stoffer som UV-stabilisator for å oppnå ønskede egenskaper [23]. Egenskaper til variantene av PE avhenger blant annet av grad av krystallinitet, som bestemmes av grenstrukturen til polymerkjedene, vist i Figur 9. Færre og kortere grener fører til økt grad av krystallinitet [21].



Figur 9: Oversikt over tre av de ulike grenstrukturene til polyeten [22]. HDPE vil her ha størst grad av krystallinitet på grunn av få og korte grener langs polymerkjedene.

Tabell 1 viser sammenligning av grad av krystallinitet (%), tetthet ( $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ), strekkfasthet (MPa) og maksimal tøyning (%) for standard prøvestykker av HDPE, LDPE og LLDPE. For måling av mekaniske egenskaper ble «*Standard test method for tensile properties of plastics*» (ASTM D638) benyttet. Det kan her sees at økt grad av krystallinitet fører til høyere strekkfasthet og redusert maksimal tøyning.

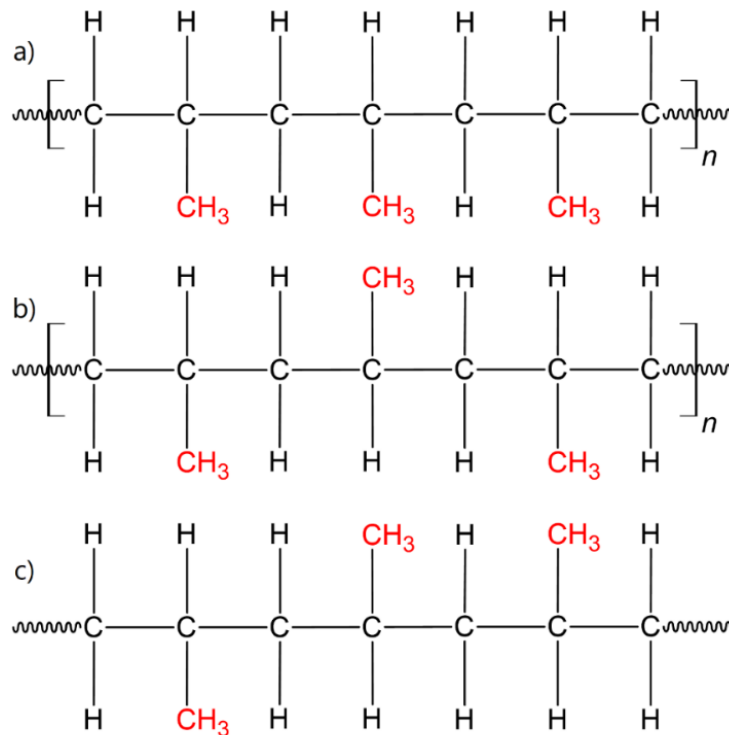
Tabell 1: Sammenligning av mekaniske egenskaper for ulike varianter av PE [21]. Standard brukt til måling av strekkfasthet og maksimal tøyning er ASTM D638.

	<b>Grad av krystallinitet [%]</b>	<b>Tetthet [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Strekkfasthet [MPa]</b>	<b>Maksimal tøyning [%]</b>
HDPE	60 - 90	0,95	20 - 35	150
LDPE	40 - 50	0,92 – 0,94	10 - 17	200-600
LLDPE	35 - 75	0,92 - 0,95	20	500



## Polypropylen

Polypropylen (PP) dannes ved addisjonspolymerisasjon av propylenmolekyler ( $C_3H_6$ ). PP med kun én monomer kalles homopolymerisk polypropylen (HPP) og variasjoner av denne kan lages ved å tilsette gitte mengder av en tilleggsmonomer som eten ( $C_2H_4$ ) [24]. En sentral karakteristikk ved PP og andre termoplaster som polystyren (PS) er *taktisitet*<sup>1</sup>. Dette forekommer fra at propylen-monomeren har asymmetrisk form på grunn av en metyl-gruppe ( $CH_3$ ) som erstatter et H-atom, vist i Figur 6 b). Kommersiell PP typisk er 75 % isotaktisk og 25 % ataktisk [25]. Figur 10 viser de tre variantene av taktisitet som gir opphav til bestemte egenskaper. Økt prosentandel isotaktisk oppbygning gir økt krystallinitet som igjen gir høyere elastisitetsmodul (E-modul).



Figur 10: Tre former for taktisitet som gir oppgav til ulike egenskaper i termoplaster hvor a) isotaktisk (i-PP), b) syndiotaktisk (s-PP) og c) ataktisk (a-PP). Økt prosentandel isotaktisk oppbygning gir økt krystallinitet og påvirker derfor fysiske og mekaniske egenskaper hos ulike termoplaster [26].

<sup>1</sup> Variasjoner i på hvilken side sidegruppene er plassert langs polymerkjeden. Deles inn i isotaktisk (repererende), syndiotaktisk (alternerende), og ataktisk (tilfeldig) oppbygning [67].

### 2.1.4. Mekaniske egenskaper til polymer

Når en belastning påføres en polymer er det materialets mekaniske egenskaper som avgjør påvirkningen belastningen har [15]. Eksempler på belastning kan være under kompresjon, i bøy, vridning og strekk. I denne oppgaven vil sentrale mekaniske egenskaper som påvirker deformasjon av en polymer i strekk gått nærmere inn på.

#### Definisjon av spenning, tøying og E-modul

Flytespenning, strekkfasthet, tøying og E-modul er mekaniske egenskaper som kan kartlegges ved strekktesting av et materiale [16]. Strekktesting er en destruktiv testmetode og gjennomføres ved at et prøvestykke plasseres mellom to innspenninger og blir dratt fra hverandre med en konstant lasthastighet til et brudd forekommer. Ved strekktesting vil deformasjonen av prøven angis i en spenning-tøyningskurve, der spenning plottes mot tøying, vist i Figur 11 [16]. Nominell spenning beregnes ved at påført kraft deles på tverrsnittareal etter Ligning (1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

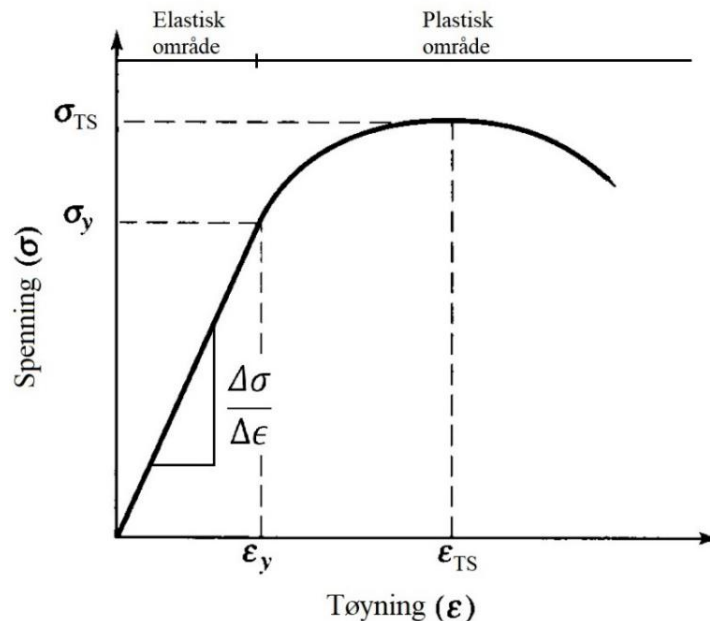
Der  $\sigma$  er nominell spenning [ $\frac{N}{mm^2} = MPa$ ],  $F$  er påført kraft [ $N$ ] og  $A$  er tverrsnittsarealet til prøven [ $mm^2$ ]. Sammenhengen gjør at materialer med vilkårlige lengder kan sammenlignes. Mekaniske egenskaper som flytespenning ( $\sigma_y$ ) [ $MPa$ ] og strekkfasthet ( $\sigma_{TS}$ ) [ $MPa$ ] kan leses av som spenningsverdier ulike steder på spenning-tøynings kurven. Flytespenningen angir skillet mellom elastisk- og plastisk område på kurven, og strekkfasthet leses av som høyeste spenningsverdi før brudd [16]. Tøyingen materialet opplever beregnes fra forlengelse delt på opprinnelig lengde gitt i prosent, vist i Ligning (2).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Der  $\varepsilon$  er tøying [%],  $l$  er lengde etter strekk [ $mm$ ] og  $l_0$  er opprinnelig lengde [ $mm$ ]. Elastisitetsmodulen (E-modulen) til et materiale beregnes via Hookes lov ved å dele spenning på tøying, etter Ligning (3) [16]. E-modulen angir stigningstallet i det lineær-elastiske området, der spenning ( $\sigma$ ) og tøying ( $\varepsilon$ ) øker proporsjonalt med hverandre, vist i Figur 11 [15].

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (3)$$

Der  $E$  er E-modul [ $MPa$ ],  $\sigma$  er spenning [ $\frac{N}{mm^2} = MPa$ ] og  $\epsilon$  tøyning [%]. E-modulen til et materiale kan beskrives som motstanden mot elastisk deformasjon [15].

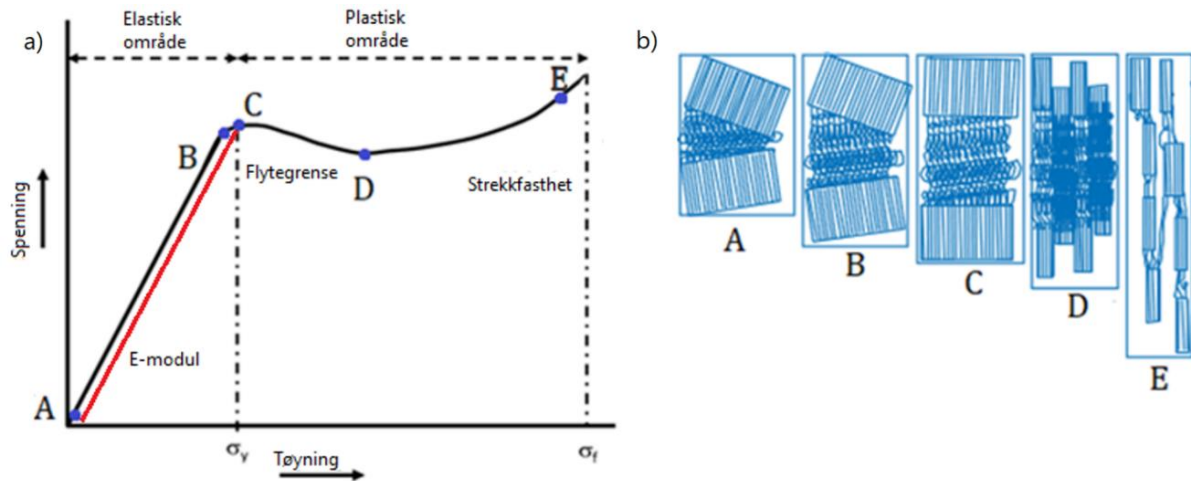


Figur 11: Eksempel på spenning-tøyningskurve ( $\sigma - \epsilon$ ) for et materiale med lineær-elastisk oppførsel [27]. E-modulen beregnes i det lineær-elastiske området fra  $\frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$ .

### Deformasjon i strekk for en semikrystallinsk polymer

Kurveforløp og utstrekking av en semikrystallinsk polymer (A-E) er vist i Figur 12 [28]. Figuren illustrerer polymeren med to krystallinske områder med molekykjeder i en lamellstruktur som omgir et amorft område. I starten av kurveforløpet (A-C) øker spenning og tøyning lineært til flytespenningen ( $\sigma_y$ ) i det lineær-elastiske området. Påføres spenning i det elastiske området vil avstanden mellom bindinger i krystallinske områder bli strukket og bindingsvinkler mellom atomer endres. Amorfte områder strekkes ut og retter seg mer etter kraftretningen. Dersom påført kraft fjernes vil materialet trekke seg tilbake til opprinnelig tilstand uten å oppleve permanent deformasjon [15].

Påført spenning utover flytegrensen går materialet over i plastisk område hvor det skjer en glidning mellom molekylene i polymerkjedene (C-E). Slippes kraften i dette området vil ikke polymeren gå tilbake til grunntilstand, men oppleve *plastisk deformasjon* [16]. Når polymerkjedene strekkes og forlenges vil de amorfte områdene i den semikrystallinske polymeren bli mer ordnet langs strekkaksen og *arbeidsharding* oppstår som følge av økt krystallinitet. Krystallinske områder vil etter hvert gli fra hverandre og danne mindre og mer utstrakte sfærulittiske seksjoner (D). Når strekkfasthet ( $\sigma_{TS}$ ) er nådd vil amorfte og krystallinske områder gå til brudd (E) [15].



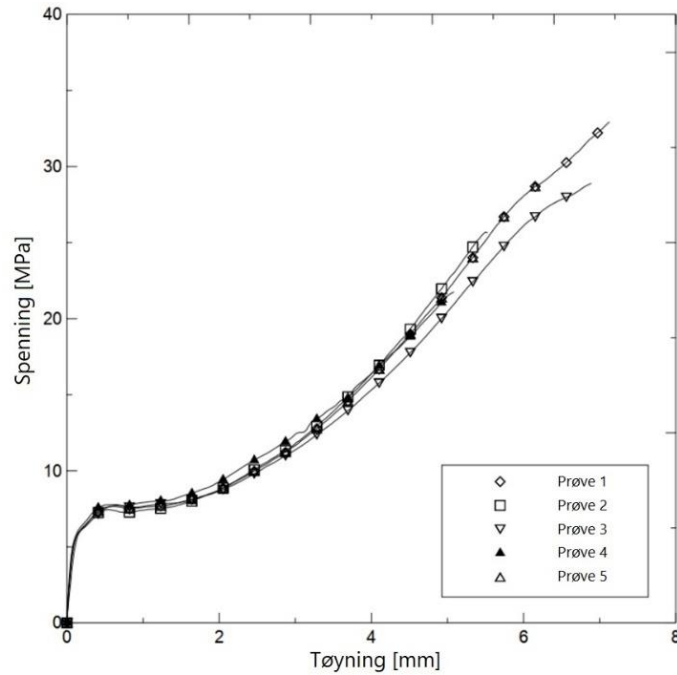
Figur 12: a) Spenning-tøyningskurve for en semikrystallinsk polymer og b) utstrekking av polymerkjeder langs kurveforløpet. A) To krystallinske områder omgir et amorft område i en polymer før utstrekking, B) Forlengelse av det amorfe området ved påføring av spenning, C) Utstrekking av krystallinske områder og videre deformasjon i amorft område, D) Krystallinske områder glir fra hverandre og E) Dannelse av individuelle strukturelle seksjoner rett før brudd [29], [28].

Tabell 2 viser E-modul, flytespenning, strekkfasthet og maksimal tøyning for ulike kommersielle semikrystallinske polymerer; PE, PP og polyvinylklorid (PVC). PE og PP kan her sees å ha lavere E-modul enn PVC, men kan tøyes lengre før de går til brudd.

Tabell 2: Sentrale mekaniske egenskaper for ulike kommersielle semikrystallinske polymerer [16].

	<b>E-modul [MPa]</b>	<b>Flytespenning [MPa]</b>	<b>Strekfasthet [MPa]</b>	<b>Maksimal tøyning [%]</b>
PE	100 - 140	18 - 20	20 - 32	10 - 440
PP	160 - 178	36 - 38	36 - 49	43 - 73
PVC	218 - 341	53 - 58	46 - 58	20 - 50

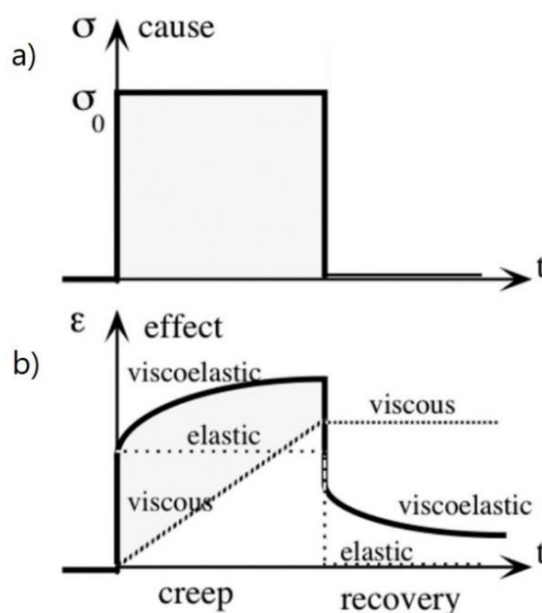
I en masteroppgave ved King Fahd University of Petroleum & Minerals ble det gjennomført strekktesting av standard prøvestykker av semi-krystallinsk heksen-LLDPE fra ASTM D638 [30]. Spenning-tøyningskurvene fra strekktesten er vist i Figur 13, der totalt fem like prøvestykker ble strekktestet. Et tydelig lineær-elastisk område observeres for tøyingsverdier mellom 0 - 0,1 mm. Arbeidsharding etter flytegrensen (6 MPa) kan også sees som et resultat av økt krystallisering ved tøyning.



Figur 13: Spenning-tøyningskurver for heksen-LLDPE [30]. Konstant lasthastighet benyttet var 125 mm/min.

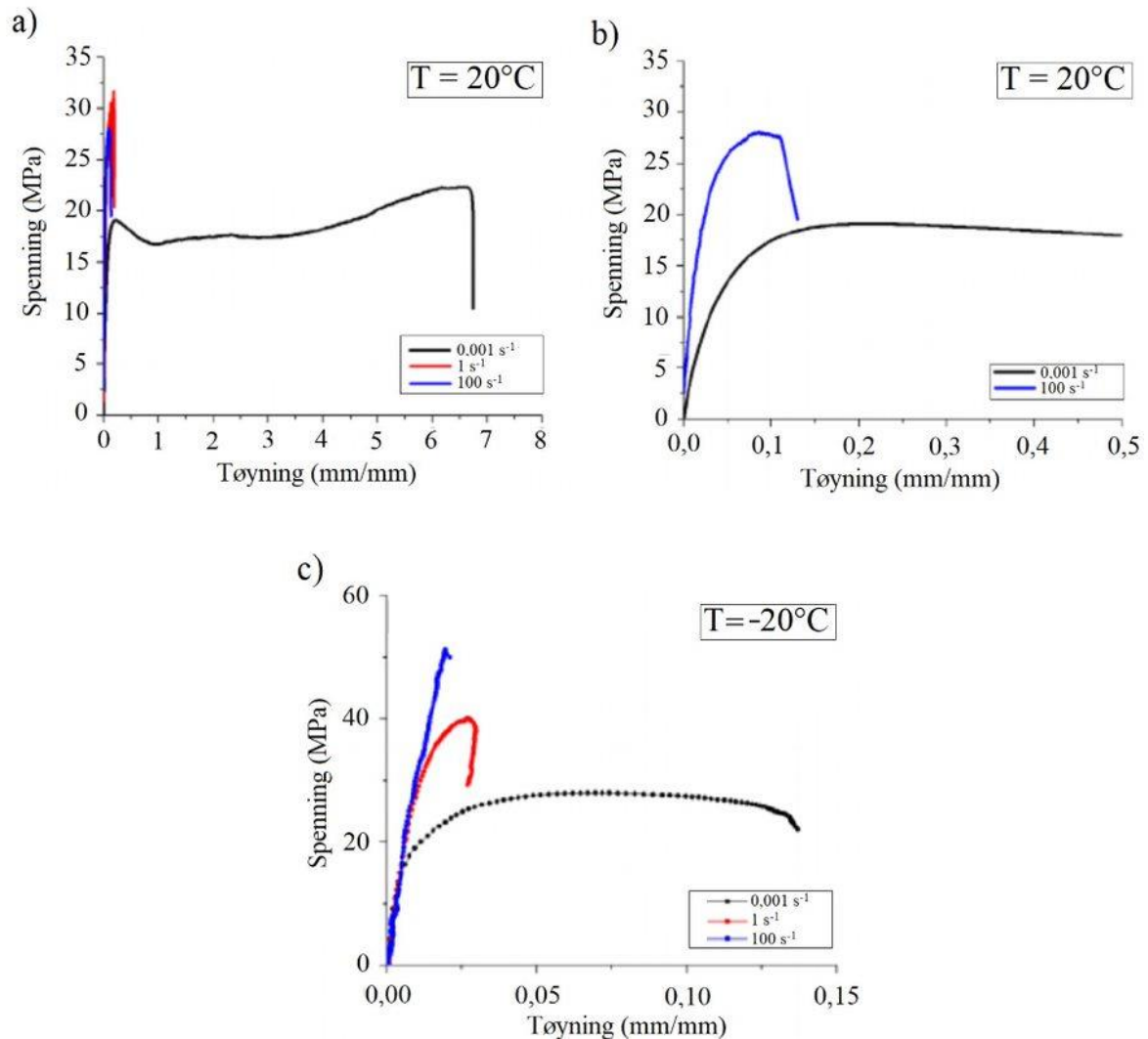
### Viskoelastisk oppførsel i strekk

De fleste polymermaterialer har viskoelastisk oppførsel, altså egenskaper både som en væske og et elastisk fast stoff [14]. Figur 14 viser viskoelastisk oppførsel der a) viser spenningsverdier over tid og b) viser tøyning som følge av den påførte spenningen i a). Utsettes et viskoelastisk materiale for en konstant spenning ( $\sigma_0$ ) vil det tøyas, men i mindre grad enn et fullstendig elastisk materiale. Slippes kraften vil polymeren trekke seg tilbake til opprinnelig tilstand på grunn av væskeegenskapene som materialet har. Sentrale faktorer som påvirker hvordan et viskoelastisk materiale oppfører seg er hvor lang tid kraften virker, hvilken lasthastighet som benyttes og hvilken temperatur materialet har [18].



Figur 14: Viskoelastisk oppførsel ved påføring av konstant spenning der a) spenningsverdier over tid og b) tøyning av materialet ved spenningsverdier fra a) [31].

Effekten av endret lasthastighet og temperatur for et viskoelastisk materiale er vist i Figur 15 der spenning-tøyningskurver for HDPE er vist. Her viser a) og b) spenning-tøyningskurve ved tre forskjellige lasthastigheter ( $0,001 \text{ s}^{-1}$ ,  $1 \text{ s}^{-1}$ ,  $100 \text{ s}^{-1}$ ) ved samme temperatur ( $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Strekkurver vist i b) er innzoomet område av det elastiske området til a). Strekkurve ved  $1 \text{ s}^{-1}$  er ikke vist i b). Fra disse kan det sees at lavere lasthastighet fører til lavere strekkfasthet, økt tøyning, og lavere E-modul. Spenning-tøyningskurver for samme prøvestykke ved  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  er vist i c). Ved sammenligning av a) og c) kan det sees at strekktesting ved lavere temperatur vil føre til økt strekkfasthet og drastisk reduksjon i tøyning.



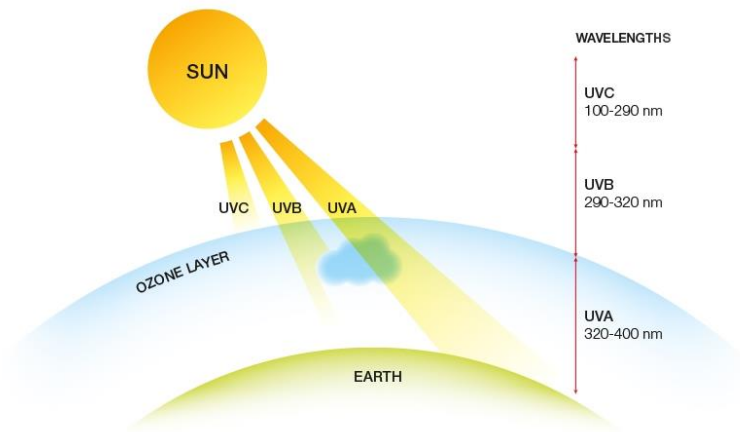
Figur 15: Spenning-tøyningskurver for HDPE ved a) og b) tre ulike lasthastigheter ( $0,001 \text{ s}^{-1}$ ,  $1 \text{ s}^{-1}$ ,  $100 \text{ s}^{-1}$ ) ved  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  og c) samme hastigheter ved  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [32].

## 2.2. Faktorer som påvirker egenskaper til polymer

Kapittelet beskriver faktorer som kan gi opphav til endring i fysiske, kjemiske og mekaniske egenskaper til polymermaterialer, med hovedfokus på LLDPE og PP. Faktorer inkluderer effekt av UV-stråling, væskeabsorpsjon og temperaturforandringer.

### 2.2.1. Effekt av UV-stråling

Ultrafiolett stråling (UV-stråling) er elektromagnetisk stråling i bølglengdeområdet 100 – 400 nm som transporterer og overfører energi til jorden gjennom solstråler. UV-stråling deles inn i tre kategorier: UVA, UVB og UVC. All UVC-stråling og mesteparten av UVB absorberes i atmosfæren, som vist i Figur 16 [33]. UVA-stråling utgjør i Norge på sommeren opp mot 98 % av all UV-stråling som treffer jordoverflaten [34]. Strålingsmengde og -styrke varierer etter hvor høyt over havet og hvor nærme ekvator en befinner seg [16].



Figur 16: Tre forskjellige typer for UV-stråling med tilhørende bølglengder [35]. Ozonlaget absorberer all UVC-stråling, og mesteparten av UVB.

Polymer absorberer energi fra UV-stråling i form av varme. Absorbert energi kan føre til eksitasjon av elektroner i kovalente bindinger til et høyere energinivå som fører til svekkede og til slutt brutte bindinger [18]. Dette kan gi opphav til tap av farge og glans, samt reduksjon i mekaniske egenskaper som lavere strekkfasthet og lavere E-modul [16], [36]. For å beskytte polymerer mot UV-stråling tilsettes UV-stabilisatorer som har i oppgave å absorbere strålingsenergien for å hindre at biprodukter ved oksidasjon skal aktiveres og spaltes. Den vanligste formen for UV-stabilisator er tilsats av pigmenter av carbon black og *quencher*<sup>2</sup> [36].

En akselerert væreksponeringstest i form av et UV-kammer kan benyttes for å simulere sollys, regn og dugg på en polymer. I testen utsettes materialet for alternerende sykluser med UV-stråling fra fluoriserende lamper og fuktighet ved bestemte temperaturer over tid. I en rapport fra Universitetet i Johannesburg ble effekten av kunstig UVA-stråling (340 nm) på strekkfasthet og tøyning på ulike typer PE-kunstgressfiber fra Sportslabs Ltd undersøkt [37].

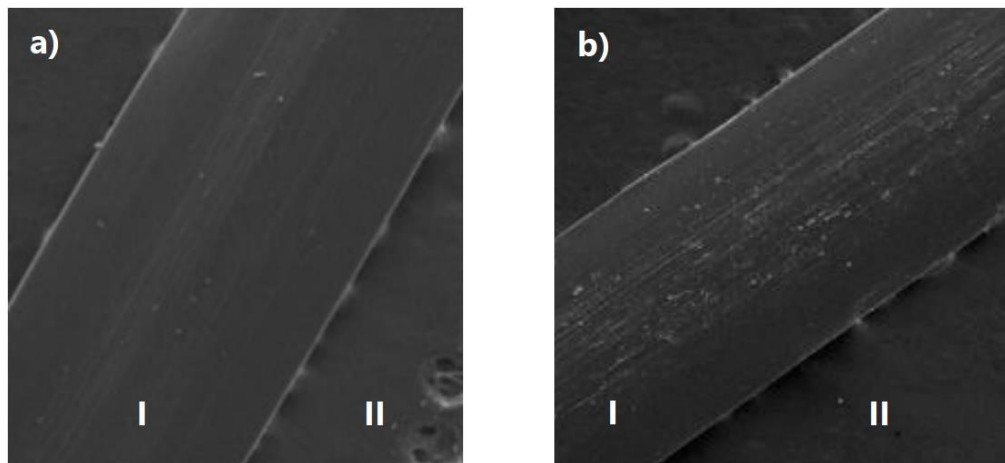
<sup>2</sup> Forbindelse med egenskap til å overta svinging-, stråling- eller ladningsenergi for molekyler og atomer [21].

Prøveserie 1 og 2 er monofilament (enkeltfiber), mens 3 og 4 er fiber i garnstruktur (flere fibre festet sammen). Irradians angir styrken på den elektromagnetiske strålingen, gitt i  $[\frac{W}{m^2}]$ . Resultatene fra UV-eksponeringen er vist i Tabell 3 [37]. Det kan her sees at verdier for strekkfasthet avtar for tre av prøvene, mens økt tøyning forekommer for alle prøver. Varierende endring i både strekkfasthet og tøyning kan sees for alle prøveserier.

Tabell 3: Endring i strekkfasthet [%] og tøyning [%] for ulike kunstgressfiber som følge av UVA-stråling i 732 timer [37].

<i>UVA @ 0,89 W/m<sup>2</sup> (732 timer)</i>			
<b>Prøveserie</b>	<b>Strekkfasthet [%]</b>	<b>Tøyning [%]</b>	<b>Fargeforandring</b>
1 - Monofilament	-2,3	14,9	Ingen
2 - Monofilament	1,1	11,6	Ingen
3 - Garnstruktur	-4,5	8,8	Ingen
4 - Garnstruktur	-10,7	1,1	Lysere

Sveipelektronmikroskop (SEM) ble også brukt i samme rapport for å karakterisere endringer i overflatestruktur etter UVA-eksponering. SEM-bilder før og etter eksponering av prøveserie 1 er vist i Figur 17. Fiber er her markert med «I» og underlaget med «II». Bilder etter eksponering viser større sprekker og langsgående markeringer på fiber. Hvite markeringer kan sees på både ueksponert og eksponert fiber.

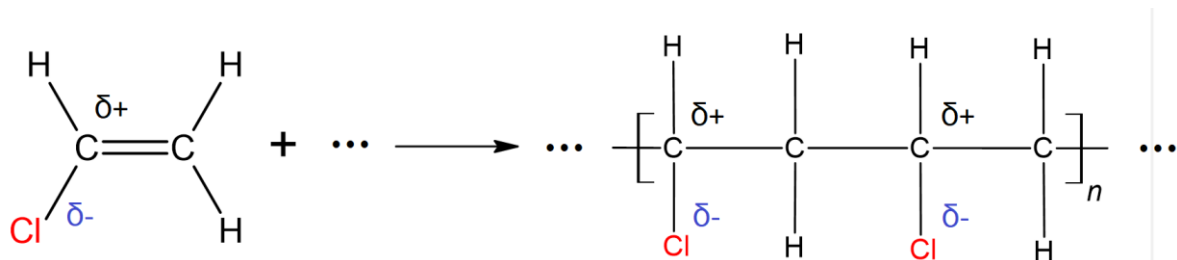


Figur 17: SEM-bilder av overflatestruktur til prøveserie 1 (monofilament) a) før og b) etter UVA-eksponering i 732 timer [37]. Fiber er markert med «I» og underlaget med «II». Forstørrelse ukjent.



### 2.2.2. Effekt av væskeabsorpsjon

Væskeabsorpsjon er evnen et polymermateriale har til å absorbere væske fra omgivelsene [38]. De fleste polymerer absorberer væske til en viss grad, men en endring i mekaniske egenskaper som følge av absorpsjon kan ikke alltid registreres. Grad av absorpsjon for en polymer avhenger av både fysiske og kjemiske egenskaper som polaritet og grad av krystallinitet [18]. For absorpsjon av vann er dannelsen av hydrogenbindinger mellom vannmolekyler og polymerkjedene avgjørende [38]. Dette krever at polymeren består av polare grupper i polymerkjedene som  $\text{OH}^-$ ,  $\text{COOH}^-$  eller  $\text{Cl}^-$  [18]. Et eksempel på dette er PVC, vist i Figur 18. Polare  $\text{H}_2\text{O}$ -molekyler i vannet vil samle seg rundt de polare gruppene i polymerstrukturen og danne hydrogenbindinger med polymerkjedene. Energien som oppstår, kan forårsake utvidelse av polymeren og endring i mekaniske egenskaper som økt duktilitet [15]. Høy grad av krystallinitet i en polymer, dvs. tettere struktur, minker graden av absorpsjon av væske. Dette forklares ved at tettheten og styrken til intermolekylære krefter i krystallinske områder er større enn i amorfe områder i en polymer [18].



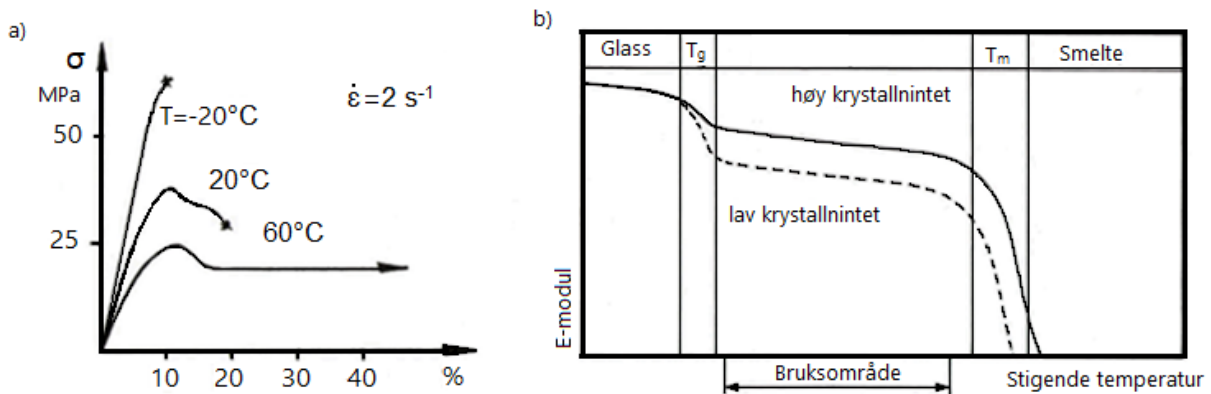
Figur 18: Monomer og polymer for PVC. Cl-atomene trekker mer på elektroner enn C-atomene og permanente dipoler ( $\delta^\pm$ ) oppstår som følge av dette.

Polymerene LLDPE og PP brukt til testing i dette arbeidet er upolare forbindelser grunnet fravær av polare grupper i polymerkjedene, vist i Figur 6. Fra dette skal derfor ingen av polymerene ville oppleve utvidelse som følge av nedsenking i væske da vannmolekyler ikke kan danne hydrogenbindinger med polymerkjedene. I følge EduPack har både LLDPE og PP har god motstand mot absorpsjon av saltvann (5 % NaCl) [16]. Økt temperatur kan derimot føre til økt grad av absorpsjon [38].

### 2.2.3. Effekt av temperaturendringer

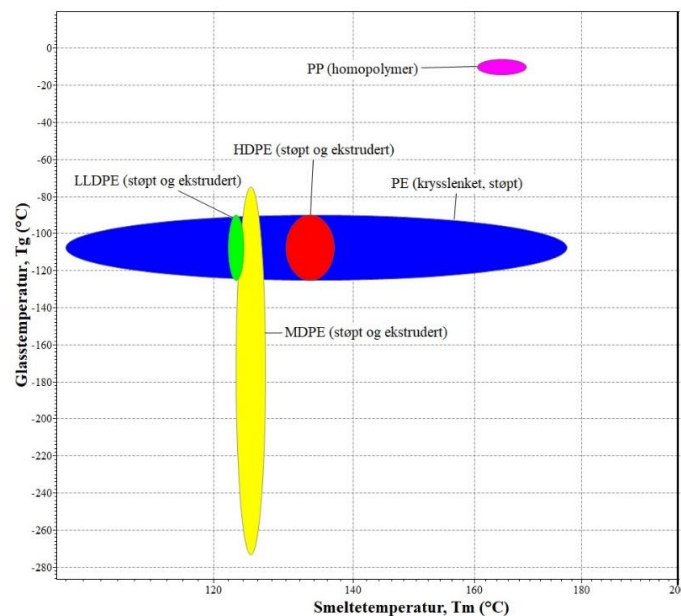
Oppvarming av polymermaterialer forårsaker vibrasjoner i materialet, som fører til utvidelse ved at polymerkjeder roterer om hverandre og molekyler i kjedene glir fra hverandre. Resultatet av utvidelsen er at polymerstrukturen kan bli mer krystallinsk [39]. Grad av krystallinitet [%] i materialet avgjør om en endring i mekaniske egenskaper vil skje, der høy grad av krystallinitet hindrer store og brå bevegelser i polymerkjedene [18]. Effekt av temperatur på en polymer er avhengig av materialets glasstemperatur ( $T_g$ ) og smeltetemperatur ( $T_m$ ). Under oppvarming definerer  $T_g$  overgangen der amorfe områder i materialet går fra å ha høy E-modul og lav tøyning (lik som for glass), til å bli mindre stiv [40].

Ved oppvarming defineres  $T_m$  som området der energien i polymerstrukturen gjør at de kovalente bindingene brytes, og polymeren går fra fast stoff til flytende væske. Dette resulterer i avtagende E-modul og økt duktilitet. Bruksområdet til en polymer ligger derfor oftest mellom  $T_g$  og  $T_m$  [16], [18]. Spenning- tøyingskurver for en termoplast i strekk ved ulike temperaturer samt hvordan E-modulen endrer seg ved ulike temperaturintervall, er vist i Figur 19. Fra a) kan det sees at økt temperaturer fører til reduksjon i strekkfasthet og økt tøyning, og i b) at økt krystallinitet gir høyere E-modul.



Figur 19: a) Oppførselen til en termoplast i strekk ved ulike temperaturer med lasthastighet ( $\dot{\epsilon} = 2 \text{ s}^{-1}$ ) og b) Endring i E-modul for en termoplast med lav- og høy grad av krystallinitet i ulike temperaturintervall [41], [42].

Figur 20 viser  $T_g$  og  $T_m$  for PP og ulike typer PE, der intervaller for både smelte- og glasstemperatur kan sees for alle polymerer. Dette kan forklares ved at faseoverganger i en polymer skjer gradvis og avhenger blant annet av grad av krystallinitet.



Figur 20: Glasstemperatur,  $T_g$ , mot smeltetemperatur,  $T_m$ , for PE, LLDPE, middel tetthets PE (MDPE), høytetthets PE (HDPE), og PP [15].

## 2.3. 4G-kunstgressbaner

Kapittelet tar for seg typiske karakteristikk ved 4G-baner samt egenskaper til komponenter og materialene de er laget av. Videre blir drift, vedlikehold og andre parametere som påvirker både spillegenskaper og mekaniske egenskaper til komponentene til banen bli dekt.

### 2.3.1. Komponenter og oppbygning av 4G-kunstgressbaner

Egenskaper til kunstgressfiber, backing, egenskapsifyll, stabiliserende ifyll og dempematte i en 4G-bane er beskrevet under. I denne oppgaven blir gressfiber og backing mest gått inn på grunnet relevans til eksperimentelt arbeid.

#### Kunstgressfiber

Kunstgressfiberen (fiberen) på en 4G-bane skal etterligne egenskaper til naturgress og ha like spillegenskaper uansett årstid og hvor på banen en befinner seg. Fiberen undersøkt i oppgaven består av lineær lav-tetthet polyeten (LLDPE), og produsenten av kunstgressbanen begrunner valg av LLDPE til fiber da denne varianten av PE er mer fleksibel, gir mindre friksjon mot hud og er mer slitesterk enn andre varianter av PE [23]. FIFA sin kvalitetskontroll favoriserer også LLDPE til fiber for å tilfredsstille krav om banemykhet, spillervennlighet og bestandighet [43]. Produksjon av fiber skjer ved ekstrudering til tynne tråder fra en polymersmelte, oppspoling og tufting [23]. Figur 21 viser LLDPE-gressfiberen undersøkt i oppgaven sydd fast i backing.



Figur 21: Tverrsnittsbilde av 4G-kunstgress med kunstgressfiber sydd fast i backing.

## Backing

Backingen i en 4G-bane har som oppgave å holde gressfibrene på plass og gi støtdemping. Backingen er en matte bestående av to lag, ett av PP der gressfibrene sys fast og ett av syntetisk latex av SBR eller polyuretan som skal sikre god adhesjon mellom backing og fiber på undersiden. Produksjon av backing foregår ved ekstrudering av polymersmelte til en tynn film etterfulgt av oppkutting til små bånd, oppspoling og sammensying [23]. En godt sammenføydd backing er en av hovedfaktorene for kvalitet og lang levetid for en kunstgressbane, da dårlig heft kan føre til at fibre løsner og resulterer etter hvert til tynnere gresslag. For å forhindre dette anbefales tilstrekkelige mengder latex selv om dette fører til økt investeringskostnad [44]. Oversiden av backingen som ble undersøkt i oppgaven er vist Figur 22.



Figur 22: Oversiden av backingen fra ScanTurf sydd sammen fra bånd av PP der gressfiber festes fast i åpningene.

## Stabiliserende ifyll

Det stabiliserende ifyllet legges mellom egenskapsifyllet og backingen og har som oppgave å gi tyngde til å holde backingen på plass, samt fungere som støtte til gressfibrene slik at de forblir oppreist [45]. Stabiliserende ifyll i 4G-baner er vanligvis naturlig sand der parametere som størrelse og form på sandkorn spiller inn når materialvalg skal foretas. Leverandørmarkedet har ulike synspunkter både med tanke på størrelse på sandkornene og mengde sand, da dette avhenger i stor grad av lengden på gressfibre og krav til fri høyde over ifyllet. Typisk sandmengde varierer mellom 10-20  $kg$  per  $m^2$  kunstgress [46].

## Egenskapsifyll

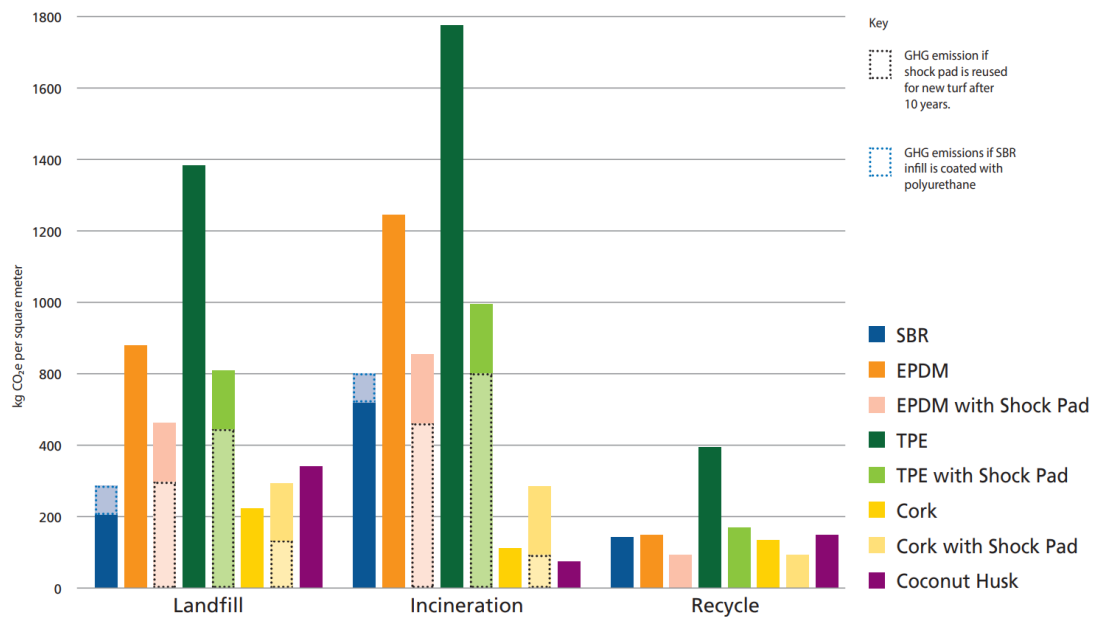
En av de største utfordringene med 4G-kunstgress er å finne en erstatting for SBR-granulat som egenskapsifyll, da dette i kombinasjon med en dempematte er komponenter som bidrar mest til støt- og balldemping [46]. Kjernekarakteristikkene ved bruk av elastomeren SBR er elastisitet, lav pris ( $16-18 \frac{NOK}{kg}$ ) og tilgjengelighet [3], [16]. Som substitutt for SBR har det vært forsøkt med granulat av naturlig fremstilte stoff som kork, olivenkjerner og kokosnøtt-skall med en arealvekt mellom  $7-15 \frac{kg}{m^2}$  [46]. Alternative syntetiske materialer inkluderer termoplastisk elastomer (TPE) og etylen-propylen di-monomer gummi (EPDM). Alternativene som har blitt testet har hver sine fordeler og ulemper sammenlignet med SBR.

## Dempematte

Dempematten legges under backingen for å gi økt støtdemping og tilstrekkelig ballsprett. Utforming av dempematten må være slik at den tillater drenering og må tåle temperaturendringer over lengre perioder uten at mekaniske egenskaper som duktilitet svekkes. Dempematter forekommer enten som ferdigstøpt eller støpt på stedet, og tykkelsen varierer mellom 10 – 35 mm. Et problem med prefabrikkerte dempematter er at de absorberer vann, noe som fører til redusert elastisitet på grunn av isdannelse ved temperaturer under frysepunktet. Elastomermaterialer er et populært valg til dempematte på grunn av deres evne til å absorbere energi uten å deformeres (stor elastisk deformasjon) og har høy bestandighet på 20-30 år [5]. Materialer som imøtekommer kravene kan være alt fra ferdigproduserte skumceller til matter basert på SBR [46].

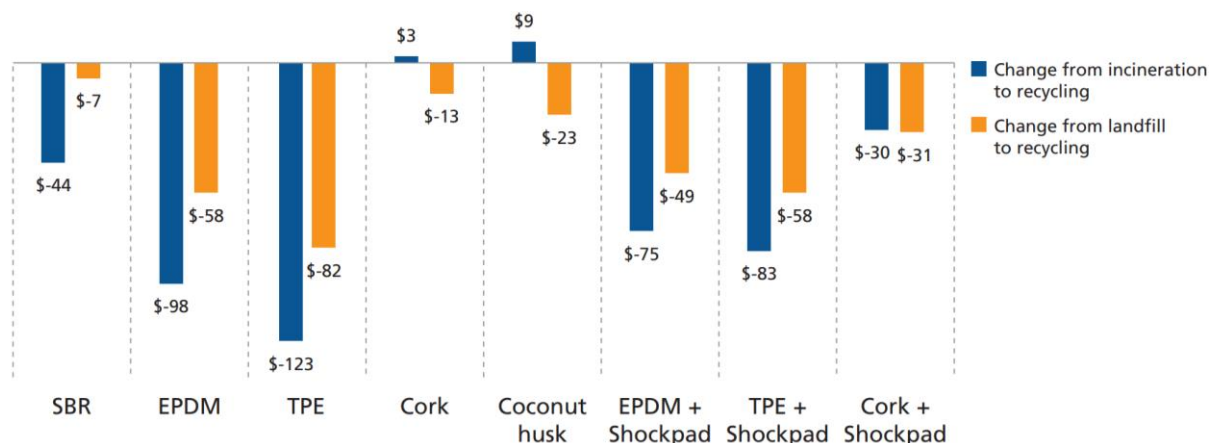
### 2.3.2. Bærekraft og EoL-strategier for egenskapsifyll og dempematter

FIFA publiserte i 2017 en oversikt over materialer brukt til egenskapsifyll der bærekraft ved bruk av ulike EoL-strategier med og uten dempematte ble analysert [47]. Figur 23 viser antall kg  $CO_2$ -ekvivalenter per kvadratmeter ifyllsmateriale for EoL-strategiene deponering (landfill), forbrenning (incineration) og resirkulering (recycle). Svart striplet boks angir utslipp dersom dempematten gjenbrukes etter banens levetid, og blå striplet boks angir utslipp dersom ifyll av SBR er belagt med polyuretan. Fra figuren kan det sees at bruk av dempematte reduserer utslippet for både organiske (kork og kokosnøtt) og syntetiske (SBR, EPDM og TPE) ifyllsmaterialer. For syntetiske ifyllsmaterialer oppnås lavest utslipp ved resirkulering, mens for organiske materialer vil forbrenning være mest gunstig.



Figur 23: Sammenligning av klimautslipp ved bruk av ulike EOL-strategier for ulike ifyllsmaterialer med og uten dempematte [47]. EPDM = Ethylene propylene diene monomer, TPE = Thermoplastic elastomer

Figur 24 viser CO<sub>2</sub>-gevinst ved å bytte EoL-strategi fra forbrenning (blå) og deponering (oransje) til resirkulering per tonn ifyllsmateriale. Verdiene på stolpene er beregnet ved å gange drivhusgassutslippene fra Figur 23 med «Social Cost of Carbon (SC-CO<sub>2</sub>)» fra United States Environmental Protection Agency (US EPA)<sup>3</sup>. SC-CO<sub>2</sub> beskriver den økonomiske gevinsten ved å redusere drivhusgassutslipp, og per 2020 er dette tallet på \$42 per tonn CO<sub>2</sub> [47], [48]. Faktoren inkluderer skaden global oppvarming fra drivhusgasser gjør med tanke på landsbruksproduktiviteten, tap av eiendom og infrastruktur, og høyere havnivå. Figuren forklarer ved at negative y-verdier indikerer økonomisk besparelse, og positive y-verdier økonomisk tap. De organiske ifyllsmaterialene kork og kokosnøtt skiller seg ut ved at det ikke vil lønne seg å bytte fra forbrenning til resirkulering (blå stolpe). Store besparelser kan derimot hentes ved å bytte EoL-strategi for syntetiske ifyllsmaterialer, både for forbrenning og deponering.



Figur 24: Økonomisk gevinst fra endring av EOL-strategi per tonn ifyllsmateriale [47]. Blå stolpe angir bytte fra forbrenning til resirkulering, og oransje angir bytte fra deponering til resirkulering.

<sup>3</sup> Måling av langsiktig skade på miljøet fra ett tonn CO<sub>2</sub> i løpet av ett år gitt i dollar [48].

### 2.3.3. Vedlikehold og bruk av 4G-kunstgressbaner

Kontinuerlig vedlikehold på en kunstgressbane er viktig for å unngå unødvendig slitasje, samt ivareta spilleegenskaper som tilstrekkelig friksjon mellom fot og gress og god støtdemping uavhengig årstid. Vedlikehold skal sikre levetid på dekket til minimum 10 år [1]. Norges fotballforbund (NFF) og kulturdepartementet har derfor utarbeidet en generell veiledning som inneholder forskrifter om hvordan bygging av kunstgressanlegget skal gjøres, samt dokumenter om drift og vedlikehold. Spesifikk instruks på hvordan, til hvilken tid og hvilket utstyr som skal brukes til vedlikehold står beskrevet i en *forvaltning, drifts- og vedlikeholdsinstruks* (FDV-instruks) som følger med banen ved overlevering fra leverandør [49]. Eksempel fra denne er krav til kjøretøy med tanke på hjultrykk, vekt, dekktype og motorstørrelse. Teori om drift og vedlikehold baseres i denne oppgaven på FDV-instruksen fra produsent av kunstgresset, ScanTurf, Vedlegg A. I tillegg er rapporter om sommer- og vinterdrift fra NFF samt *kunstgresshåndboka*, utgitt av kulturdepartementet brukt [50], [1]. Utover generelt vedlikehold som søppelfjerning og fordeling av ifyllsmateriale kan vedlikeholdsåret på en kunstgressbane deles inn etter sommer- og vintersesong. Overgangsvedlikehold mellom de to sesongene vil også forekomme, der oppgaver som preparering av maskiner til brøyting og slodding samt sjekk av banen i forbindelse med slitasje blir gjort [1].

#### Sommervedlikehold

Sommervedlikehold inkluderer etterfylling og fordeling av egresskapsifyll ved slodding og dyprens for fjerning av uønskede gjenstander. Slodding foregår ved at en børste trekkes bak et egnet kjøretøy, vist i Figur 25. Både børsten og kjøretøyet burde være godkjent av kunstgressleverandøren. Slodding gjøres også for å orientere gressfiber fra horisontal til vertikal posisjon, og sørger derfor for like spilleegenskaper over hele banen. utfordringer ved bruk og vedlikehold på sommerstid kan være periodevis uttørking av gressmatten i perioder med mye sol og temperaturforandringer. Dette kan føre til økt friksjon mellom ball og gressmatten som resulterer i avtagende ballrulle.





Figur 25: Eksempel på bruk av traktor og sloddebørste til fordeling av egenskapsfyll anbefalt av NFF [51].

### Vintervedlikehold

Vintervedlikehold innebærer i hovedsak fjerning av snø og is ved bruk av brøytemaskiner og bruk av kjemikalier som natriumklorid ( $\text{NaCl}$ ) eller natriumacetat ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) i kombinasjon med varme fra varmekabler under dempematten. For baner uten undervarme vil isdannelse i bunnen av gressmatten være en større utfordring, da dette hindrer drenering. Tilsats og blanding av kjemikalier krever også omfattende bearbeiding. Snø og is fjernes mekanisk ved bruk av fres eller traktor med brøyteskjær vist i Figur 26. Ved fjerning av is og snø vil også temperaturen og snøens tilstand (tørr/våt, tung/lett) spille inn. Et eksempel på dette er utfordringer ved fjerning av sørpelaget som dannes mellom undervarmen og nylagt snø, hvor sørpen danner iskuler og større flak ved snøfjerning [50].



Figur 26 Eksempel på mekanisk fjerning av snø og is ved anbefalt traktor med et Hammer SP-355 skjær [52]. Skjæret har en gummiforing i bunnen for å unngå metallkontakt mot fiberen.



### 2.3.4. Degradering av fiber og backing

Degradering av komponentene til en 4G-kunstgressbane forekommer fra en kombinasjon av mekanisk- og kjemisk nedbrytning. Mekanisk nedbrytning omfatter slitasje fra direkte kontakt med underlaget og kjemisk nedbrytning dreier seg om påvirkningen av kjemikalier, UV-stråling fra solen og påvirkning fra temperaturendringer.

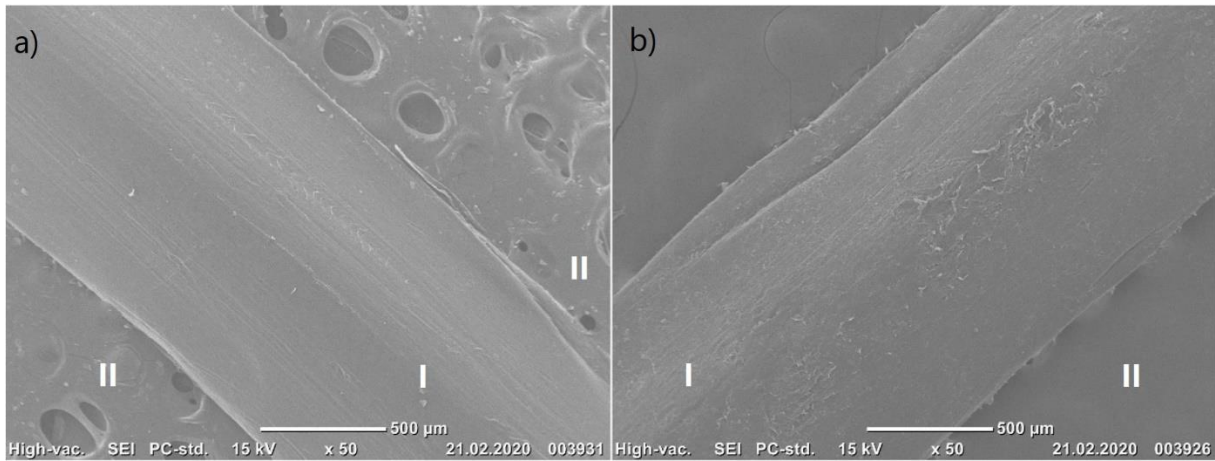
Slitasje er tap eller forflytning av masse som følge av interaksjon mellom to overflater i form av gniding, rulling eller påføring av en trykkraft [53]. De to slitasjemekanismene som er mest relevant for en kunstgressbane er *adhesiv* og *abrasiv* slitasje, vist i Figur 27. Adhesiv slitasje forekommer når to overflater gnis mot hverandre og friksjonskraften som oppstår gjør at kontaktoverflatene gradvis slites ut [54]. Ruhet og andre ujevnheter i overflatene fremskynder slitasjemekanismen. Abrasiv slitasje forekommer når en overfalte med høy hardhet gnis mot en mykere overfalte. Slitasjehastigheten avhenger av partikkelform, der spisse vinkler og skarpe kanter er mer skadeforårsakende enn avrundede kanter [55]. Mekanisk slitasje forekommer direkte fra brukerne av banen og ved vedlikehold ved bruk av tunge maskiner med utstyr som børster og skjær.



Figur 27: Illustrasjon av a) adhesiv- og b) abrasiv slitasje [55].

Kjemisk nedbrytning inkluderer påvirkninger fra omgivelsene som UV-stråling og varme fra sollys i tillegg til tilsats av NaCl og CH<sub>3</sub>COONa for å unngå isdannelse i ifyllet. Forskere fra University of Nevada i Las Vegas fant i 2007 ut at overflatetemperaturen på en kunstgressbane var på det meste 30 høyere enn lufttemperaturen til samme tid, opp mot 76 °C [56]. Effekten av høy temperatur på polymer er beskrevet i Kapittel 2.2.3, og på en 4G-bane kan utvidelse og kjemisk nedbrytning føre til tap av mekanisk styrke for både gressfiber og backing.

Figur 28 viser sammenligning av overflatestruktur på a) ubrukt og b) brukt gressfiber av PE fra en 3G-kunstgressbane. Fiber er hentet fra to områder på banen som karakteriseres av kunstgressboka med lav og høy forekomst av slitasje: bak målet på ene kortsiden og ved inngangspartiet til anlegget [1]. Banen har blitt påvirket av UV-stråling fra sollys og brukt året rundt siden installasjon i 2008. På bildene karakteriseres fiber med langsgående striper og er markert med «I», og karbonteip kan sees med hull og porer i bakgrunnen markert med «II». Effekten av mekanisk slitasje kan tydelig sees ved sammenligning, der fiber i b) har defekter og ujevnheter i overflaten.



Figur 28: SEM-bilder av overflate til fiber med forstørrelse 50x hentet fra område med a) lav forekomst av slitasje og b) høy forekomst av slitasje. Fiber er markert med «I» og karbonteip er markert med «II».

## 2.4. Statistisk behandling av måledata

Students t-fordeling (t-fordeling) er en kontinuerlig sannsynlighetsfordeling som brukes ved behandling av måledata med små prøvevolum og ukjent standardavvik. T-fordelingen kan sammenlignes med normalfordelingen da den har lik kurveform og har symmetri om gjennomsnittet, men med lavere gjennomsnittsverdi og større varians ( $\sigma^2$ ) [57]. Ligning (4) viser t-fordelingens beregning av konfidensintervall med ukjent standardavvik  $\sigma$ .

$$\bar{X} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Der  $\bar{X}$  er gjennomsnittsverdi for prøvestykkene,  $t_{\alpha/2}$  angir kvantilen i t-fordelingen avlest fra tabell (),  $n - 1$  angir antall frihetsgrader der  $n$  er antall prøvestykker og  $S$  er standardestimatoren for variansen beregnet ved bruk av Ligning (5) [57]- [58].

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (5)$$

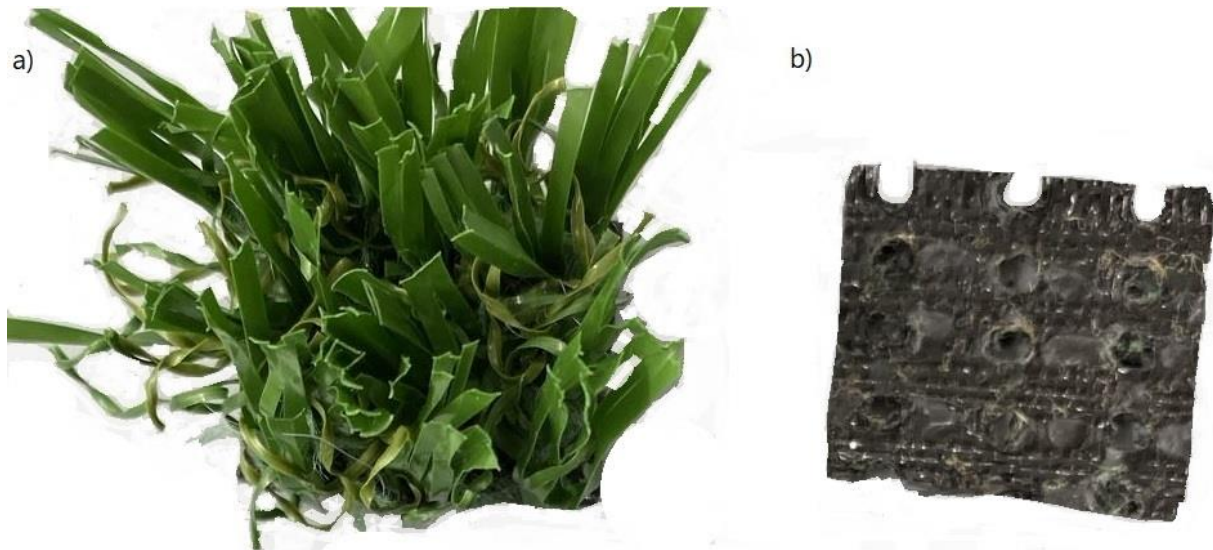
Der  $X_i$  angir verdier for strekkfasthet og tøyning til de enkelte prøvestykkene. I denne oppgaven ble student-t fordeling benyttet ved behandling av måledata fra strekktesting grunnet testing av færre enn 30 prøvestykker [57].

### 3. Eksperimentelt arbeid

Målet med det eksperimentelle arbeidet var å simulere vinterdrift ved bruk av snøsmeltemiddel (NaCl) på fiber og backing, samt UV-stråling fra sollys ved bruk av UV-kammer på fiber. Karakterisering og måling ble gjort før og etter eksponering for å visuelle endringer, samt endringer i overflatestruktur og mekaniske egenskaper.

#### 3.1. Oversikt over prøveserier

4G-kunstgresset benyttet til testing i oppgaven var Purefield Ultra HD levert fra Scanturf med dimensjoner 1,0 m x 1,5 m, og bestod av gressfiber sydd fast i backing uten ifyll. Datablad med spesifikasjoner er vist i Vedlegg B. Fiber og backing ble klippet til passende dimensjoner vist i Figur 29. For preparering av backing ble fiber fysisk nappet ut ved hjelp av flat- og rundtenger. Videre prøvepreparering før salt- og UV-eksponering samt strekktesting er beskrevet i de tilhørende underkapitlene.



Figur 29: Prøvepreparering av fiber og backing før videre klargjøring til salt- og UV-eksponering og strekktesting.

Tabell 4 viser oversikt over hvilke tester som ble utført på gressfiber og backing, med forkortelser brukt videre i rapporten. Salteksponte prøver av fiber (.F) ble både sett på i SEM og strekktestet, mens salteksponte prøver av backing (.B) kun ble sett på i SEM. For strekktesting refererer forkortelser til prøveserier hver bestående av 10 enkeltfibre. Prøveserier UV1.F - UV8.F ble eksponert i UV-kammer, men ikke karakterisert i SEM eller strekktestet grunnet restriksjoner i forbindelse med COVID-19.

Tabell 4: Oversikt over hvilke tester som er utført på gressfiber og backing. Fiber er angitt som «.F» og backing som «.B». Markering «X» angir at karakterisering/måling er utført.

<b>Forkortelse</b>	<b>Forklaring</b>	<b>SEM</b>	<b>Strekktesting (10 stk)</b>
<i>Gressfiber</i>			
REF.F	Ikke eksponert	<b>X</b>	<b>X</b>
SALT4.F	Saltekspontert 1 uke v/4 °C	<b>X</b>	<b>X</b>
SALT22.F	Saltekspontert 1 uke v/22 °C	<b>X</b>	<b>X</b>
SALT70.F	Saltekspontert 1 uke v/70 °C	<b>X</b>	<b>X</b>
UV1.F	UV-eksponert 1 uke		
UV2.F	UV-eksponert 2 uker		
UV4.F	UV-eksponert 4 uker		
UV6.F	UV-eksponert 6 uker		
UV8.F	UV-eksponert 8 uker		
<i>Backing</i>			
REF.B	Ikke eksponert	<b>X</b>	
SALT4.B	Saltekspontert 1 uke v/4 °C	<b>X</b>	
SALT22.B	Saltekspontert 1 uke v/22 °C	<b>X</b>	
SALT70.B	Saltekspontert 1 uke v/70 °C	<b>X</b>	

## 3.2. Eksponering

### 3.2.1. Salteksponering

Ved salteksponering av fiber og backing ble standarden «*Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents*» (ASTM D543) fulgt [59]. Prøvene ble eksponert ved 4°C, 22°C og 70°C i én uke, for å simulere effekten av NaCl ved ulike årstider på en 4G-bane. Prøvepreparering til salteksponering ble gjort ved at fiber og backing fra Figur 29 ble festet med fiskesnøre til klosser av aluminium (diameter = 2 cm, lengde = 6 cm) for å hindre at prøvestykkene fløt til overflaten, vist i Figur 30.



Figur 30: Prøvestykker av backing og fiber festet med fiskesnøre til aluminiumsklosser før salteksponering. Klossene ble brukt for å sørge for at prøvestykkene forble omringet av væske.

Løsning med 10 vekt% NaCl ble laget ved at NaCl (s, 107 g) ble tilsatt destillert vann (961 g, 25 °C) i en målekolbe (1200 mL) [60]. Løsningen ble rørt rundt med en glasstav til saltet var fullstendig løst, og 300 mL væske ble overført til tre begerglass á 500 mL. Ett prøvestykke av fiber og ett av backing ble senket ned i samme målekolbe, og det samme ble gjort med de resterende prøvene, vist i Figur 31. To av begerglassene ble dekket med parafilm, og det tredje med PE-film for å unngå fordamping.



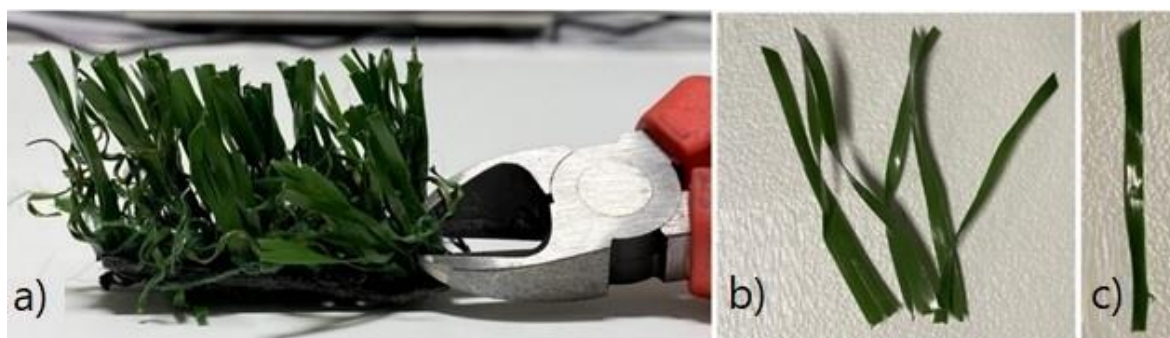
Figur 31: Prøvestykker av fiber og backing senket i løsning med 10 vekt% NaCl.



Et varmebad (VWR) ble fylt med springvann og satt til å holde 70 °C. Ett av begerglassene ble plassert i varmebadet på en forhøyning av glass. Badet ble dekt med PE-film og vann ble fylt to ganger per døgn (morgen og ettermiddag) grunnet hyppig fordamping. Det andre begerglasset ble plassert i romtemperatur (22 °C), og det tredje i kjøleskap (4 °C). Prøvestykkene av fiber og backing ble eksponert i 1 uke (168 timer).

### 3.2.2. UV-eksponering

Prøvepreparering til UV-eksponering er vist i Figur 32 der fiberbunter ble klippet fra backingen og delt opp til enkelt fiber. Fibrene ble målt etter dimensjoner vist i Tabell 5 for å unngå dannelse av svake punkter ved strekktesting etter eksponering. En minimumslengde på 30 mm ble satt på grunn av fysiske begrensninger i innspenningen til strekktestmaskinen.

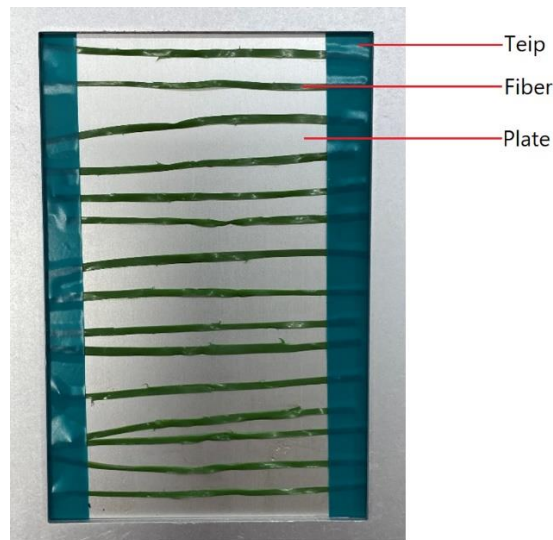


Figur 32: Prøvepreparering av fiber til UV-eksponering og strekktesting der a) klipping av fiberbunter fra backing, b) sammenlenket fiberbunt i garnstruktur og c) enkelt fiber. Det ble sikret at fibrene som ble brukt til testing hadde jevn tykkelse for å unngå ugyldige resultater.

Tabell 5: Dimensjoner på enkeltfiber for UV-eksponering og strekktesting.

Tykkelse [mm]	Bredde [mm]	Lengde [mm]
0,13	1,3	> 30

Q-Lab QUV/se ble benyttet som UV-kammer til UV-eksponering av fiber. Kammeret ble innstilt etter «*Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus Exposure of Plastics*» (ASTM D4329) og «*Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials*» (ASTM G154) der syklus, stråling, eksponeringstid og tilhørende UV-lampe var spesifisert [61], [62]. Syklus A ble hentet fra ASTM D4329 og bestod av 8 timer UV-bestråling ved  $60 \pm 3$  °C etterfulgt av 4 timer mørkeperiode med vannkondensasjon ved  $50 \pm 3$  °C. Total eksponeringstid var på 1344 timer og irradians  $0.89 \frac{W}{m^2}$ . Lampe benyttet til eksponering var UVA-340. Fem serier á 15 enkeltfiber ble lagt på plater fra UV-kammeret og fibrene ble teipet i hver sin ende for å holdes på plass. Ferdig preparert prøveserie for UV-eksponering er vist i Figur 33.



Figur 33: Preparert prøveserie bestående av 15 fiber før UV-eksponering. Teip ble brukt for å feste fibrene til platen i begge ender.

### 3.3. Karakterisering og måling

#### 3.3.1. Makroskopisk karakterisering

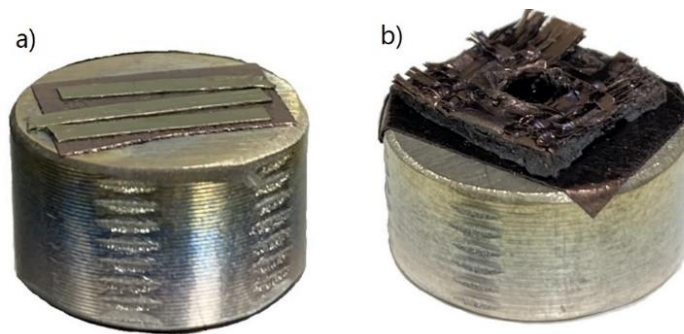
Makroskopisk karakterisering på fiber og backing før og etter salteksponering ble gjort i henhold til instruksjoner fra standard ASTM D543 der parametere er vist i Tabell 6 [59]. Endringer i masse angis som  $\Delta m$  [%] og areal som  $\Delta A$  [%], der A er tverrsnittsarealet på oversiden av backing. Utforming inkluderer endringer med tanke på fleksibilitet, form og orientering av fiber.

Tabell 6: Parametere for makroskopisk karakterisering gjort på gressfiber og backing før og etter salteksponering. Prosentvis endring i masse og areal ble beregnet etter eksponering.

	<b>Farge</b>	<b>Glans</b>	<b>Masse [%]</b>	<b>Areal [%]</b>	<b>Utforming</b>
<b>Observasjon</b>	-	-	$\Delta m$	$\Delta A$	-

### 3.3.2. Mikroskopisk karakterisering i sveipelektronmikroskopi

Fiber og backing til ble preparert til karakterisering i sveipelektronmikroskop (SEM) ved at tre fiber samt backing ble klippet til passende dimensjoner og lagt på karbontape på hver sin aluminiumskloss (d = 3 cm), vist i Figur 34. Fibre ble lagt flatt på karbontapen, og backing ble orientert med oversiden opp, da dette er overflaten som eksponeres for NaCl på en kunstgressbane uten ifyll. Quorum SC7620 ble brukt til pådamping av gull på overflaten av prøvestykkene.



Figur 34: Gullbelagte prøvestykker på aluminiumskloss (d = 3 cm) med karbontape etter fysisk dampdeponering der a) tre stk fiber og b) oversiden av backing.

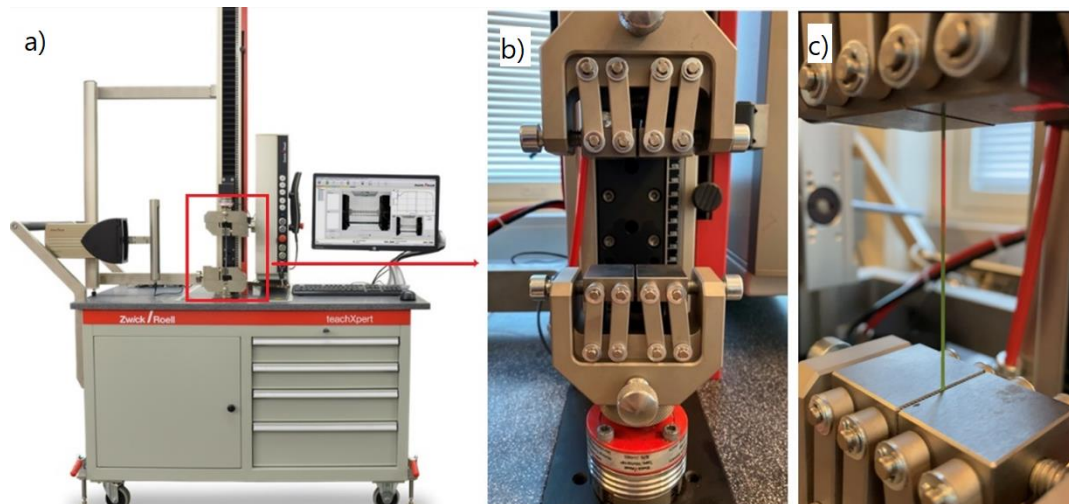
Sveipelektronmikroskop (JEOL JCM-6000) ble brukt til karakterisering av overflatestruktur på referanseprøver og salteksponte prøver av fiber og backing. Bilder ble tatt i høy-vakuum med konstant spenning (15 kV) og forstørrelser (20x, 50x, 100x og 500x). Flere områder på samme prøvestykke ble analysert for å unngå enkelttilfeller av defekter og urenheter.

### 3.3.3. Strekktesting av kunstgressfiber

Ved strekktesting av fiber ble ikke en spesifikk standard fulgt, da det ikke finnes en for tynne og korte prøvestykker. Pilottester på uekspontert fiber ble derfor gjennomført med to ulike innspenninger for å finne den som var best egnet til måling; «Screwing grips 2,5kN» fra Zwick Roell og «Screwing clamping tool 2,5kN» fra Demgen. Begge innspenningene ble testet med og uten bruk av dobbeltsidet teip (3M Extreme Mounting Tape) og sandpapir (3M P600 og P1200) grunnet problem med for lite friksjon mellom gripeflate og fiber.

Zwick Roell TeachXpert med Xforce HP 2.5 kN lastcelle ble brukt til strekktesting av gressfiber, vist i Figur 35 a) og b). Testen ble gjennomført ved at fiber ble festet midt mellom gripeplatene vist i c) med likt gripeareal i topp- og bunnfestet. Fiberen ble strammet opp til 0 N og lasthastighet ble satt til  $6 \frac{mm}{min}$ . Denne ble valgt på grunnlag av 15 innledende tester gjort på ueksponte fiber, der  $6 \frac{mm}{min}$  viste seg å være gunstig.





Figur 35: Strekktestmaskin, lastcelle med innspenning og gripeflater brukt til strekktesting. a) Zwick Roell teachXpert, b) lastcelle (Xforce HP 2,5 kN) med Innspenning (Screw Clamping Tool 2,5kN) og c) Fiber plassert mellom gripeflatene til innspenning [63]. Innspenning og gripeflater fra Demgen.

Resultatet fra strekktestingen ble fremstilt som spenning-tøyningskurver for referanseserie og salteksponte serier, der spenning [MPa] vises på y-aksen mot tøyning [%] på x-aksen. I denne rapporten ble de mekaniske egenskapene strekkfasthet og maksimal tøyning målt og sammenlignet med de ulike prøveseriene. Etter fiberen hadde gått til brudd ble prøverestene fjernet fra gripeplatene og et nytt prøvestykke satt inn. Prosedyren ble gjentatt for de resterende fibrene i serien. Temperaturen under strekktesting var konstant 22 °C og hver prøveserie bestod av totalt 10 fiber.

#### Statistisk behandling av måledata

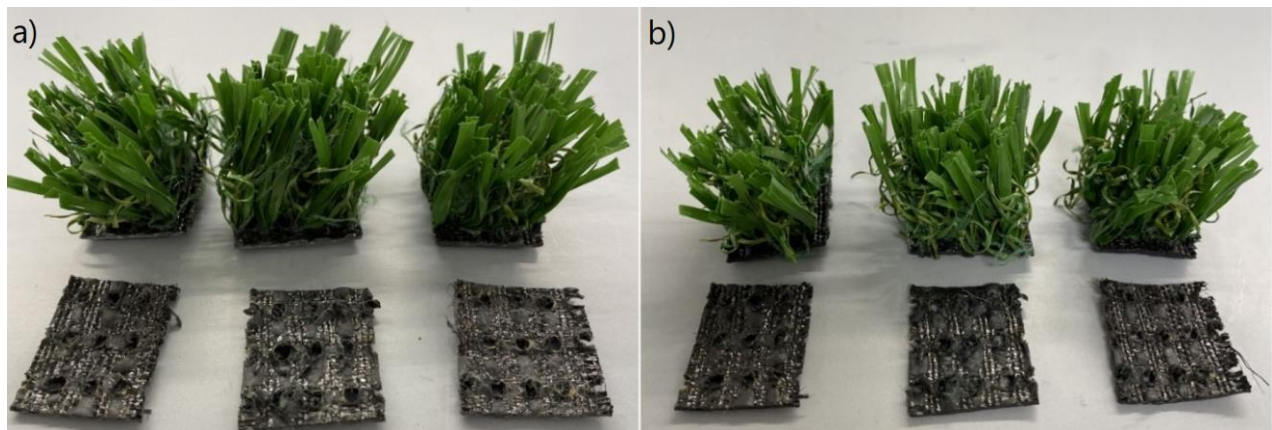
For statistisk behandling av måledata fra strekktesting av fibre ble det valgt å bruke 95 %-konfidensintervall noe som gav  $n - 1 = 9$ ,  $\alpha = 0,05$  og følgelig  $t_{0,025}$ . Fra tabell vist i Vedlegg F ble «t» lest til 2,26. Måledata fra strekktestingen ble behandlet i regneark. Ligning (4) og (5) ble benyttet for beregning av konfidensintervall og empirisk standardavvik. Utregninger er vist i Vedlegg D og Vedlegg E.

## 4. Resultater

Resultatene fra det eksperimentelle arbeidet gjennomført i oppgaven inkluderer makroskopisk karakterisering, overflateanalyse i sveipelektronmikroskop (SEM) og strekktesting av fiber før og etter salteksponering.

### 4.1. Makroskopisk karakterisering

Preparerte prøvestykker av fiber og backing a) før og b) etter eksponering kan sees i Figur 36. Fra høyre til venstre ved eksponeringstemperatur 4 °C, 22 °C og 70 °C.



Figur 36: Fiber og backing a) før- og b) etter eksponering. Backing og fiber fra venstre mot høyre viser eksponeringstemperatur 4 °C, 22 °C og 70 °C.

Tabell 7 viser makroskopiske observasjoner gjort på fiber og backing før salteksponering. Masse oppgis i gram og areal angir overflatearealet til backingen gitt i mm<sup>2</sup>. Utforming inkluderer observasjoner med tanke på fleksibilitet og form der «ordnet» angir fibreens orientering.

Tabell 7: Oversikt over makroskopiske observasjoner før eksponering. Masse oppgis i gram og areal angir overflatearealet til backingen gitt i mm<sup>2</sup>. Utforming inkluderer observasjoner med tanke på fleksibilitet og form der «ordnet» angir fibreens orientering.

Prøve	Farge	Glans	Masse [g]	Areal [mm <sup>2</sup> ]	Utforming
SALT4.F	Mørk grønn	Matt	3,02	667	Ordnet, fleksibel
SALT22.F	Mørk grønn	Matt	3,99	761	Ordnet, fleksibel
SALT70.F	Mørk grønn	Matt	3,21	689	Ordnet, fleksibel
SALT4.B	Svart/grå	Blank	1,03	609	Flat, lite fleksibel
SALT22.B	Svart/grå	Blank	1,23	718	Flat, lite fleksibel
SALT70.B	Svart/grå	Blank	1,14	718	Flat, lite fleksibel

Tabell 8 viser makroskopiske observasjoner etter salteksponering, der parameterne er sammenlignet med Tabell 7. Endringer i masse er angitt som « $\Delta m$ » gitt i % og « $\Delta A$ » gitt i % angir endringer i overflateareal på backing. Masseøkning ble registrert for alle prøver der størst endring ble målt på salteksponert fiber og backing ved 70 °C med + 0,90 % og + 1,1 %. Endring i farge og glans for fiber og backing er basert på subjektive observasjoner, der ingen merkbar endring ble registrert. Unntak her er SALT70.B som var litt mindre blank etter eksponering. For  $\Delta A$  og utforming angir «-» ingen endring.

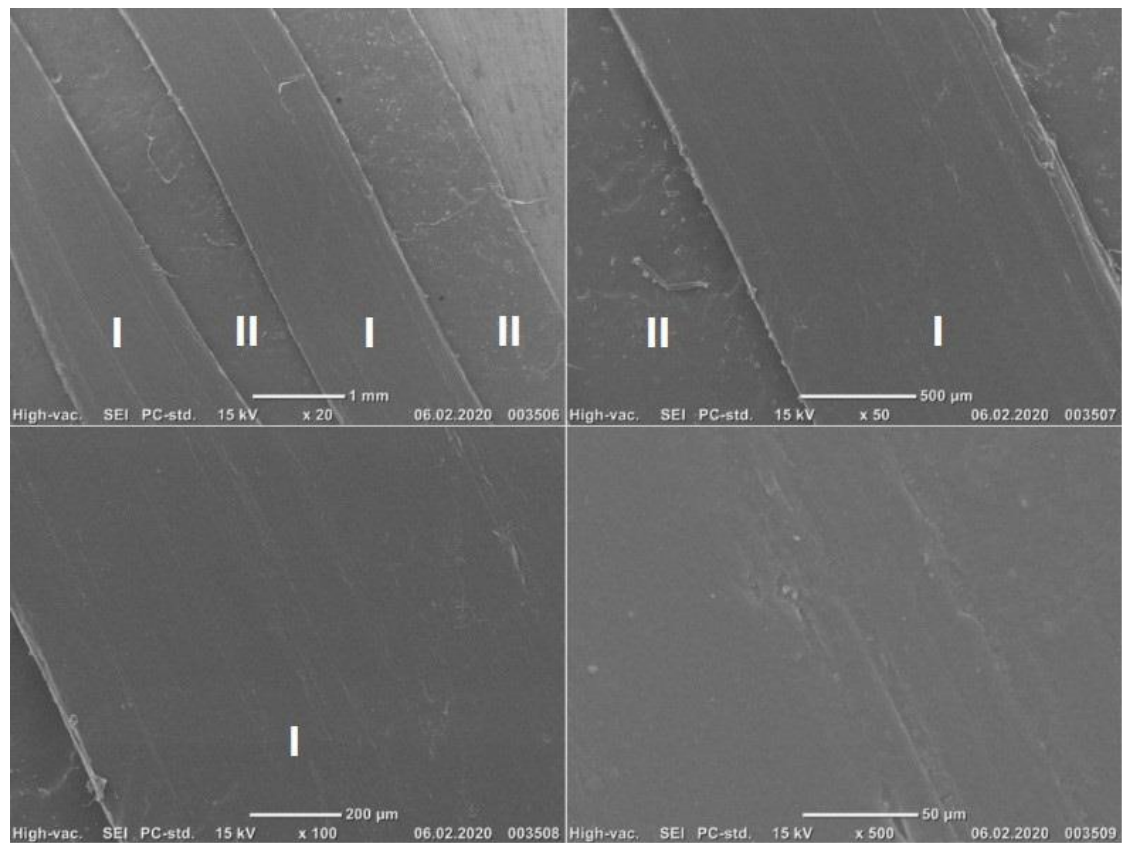
Tabell 8: Oversikt over makroskopiske observasjoner etter eksponering. Endringer i masse er angitt som « $\Delta m$ » gitt i % og « $\Delta A$ » gitt i % angir endringer i overflateareal på backing. For  $\Delta A$  og utforming angir «-» ingen merkbar endring.

<b>Prøve</b>	<b>Farge</b>	<b>Glans</b>	<b><math>\Delta m</math> [%]</b>	<b><math>\Delta A</math> [%]</b>	<b>Utforming</b>
SALT4.F	Mørk grønn	Matt	+ 0,76	-	-
SALT22.F	Mørk grønn	Matt	+ 0,28	-	Mindre ordnet, mer fleksibel
SALT70.F	Mørk grønn	Matt	+ 0,90	-	Mindre ordnet, mer fleksibel
SALT4.B	Svart/grå	Blank	+ 0,58	-	-
SALT22.B	Svart/grå	Blank	+ 0,16	-	-
SALT70.B	Svart/grå	Mindre blank	+ 1,1	-	Bøyd, mindre fleksibel

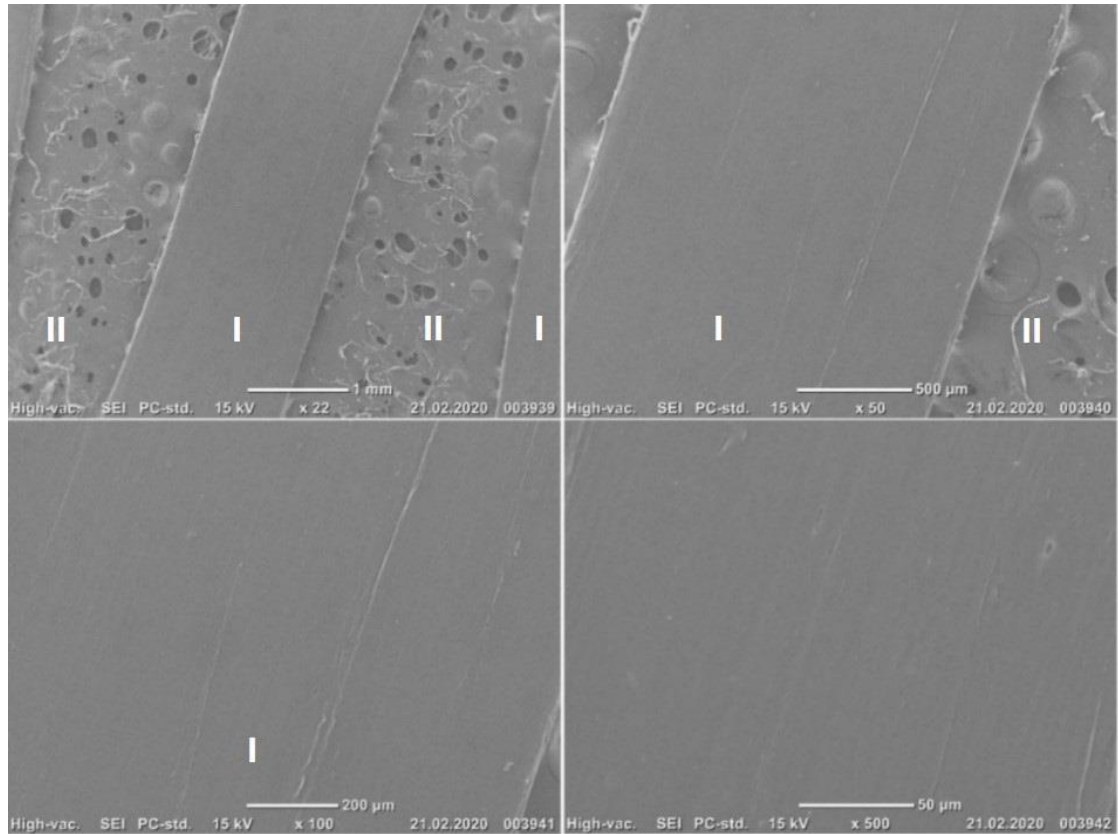
## 4.2. Overflateanalyse i sveipelektronmikroskopi (SEM)

### 4.2.1. Gressfiber

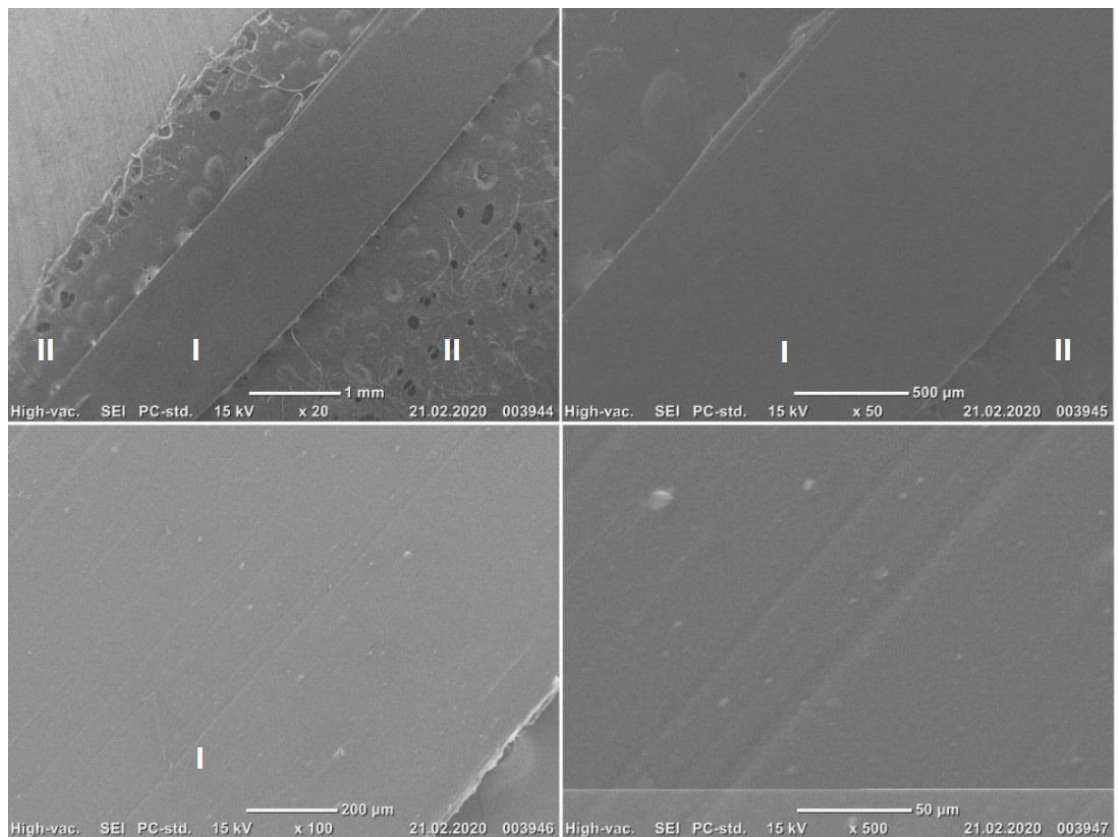
Figur 37 - 40 viser SEM-bilder av ueksponert fiber (REF.F) og salteksponerte fiber ved 4 °C, 22 °C og 70 °C (SALT4.F, SALT22.F, SALT70.F) på karbontape med forstørrelser 20x, 50x, 100x og 500x. For SALT4.F ble bilde tatt med forstørrelse 22x istedenfor 20x grunnet bedret bildekvalitet, vist i Figur 38. Fiber er markert med «I» og karakteriseres med diagonale striper langs lengderetningen. Karbontape kan sees som små porer og tråder, og er markert med «II». Hvite ujevnheter/partikler på SALT22.F og SALT70.F kan sees i henholdsvis Figur 39 og 40.



Figur 37: SEM-bilder av ueksponert fiber (REF.F) der «I» angir gressfiber og «II» karbontape. Diagonale striper langs lengderetning på fiber kan tydelig sees ved alle forstørrelser.

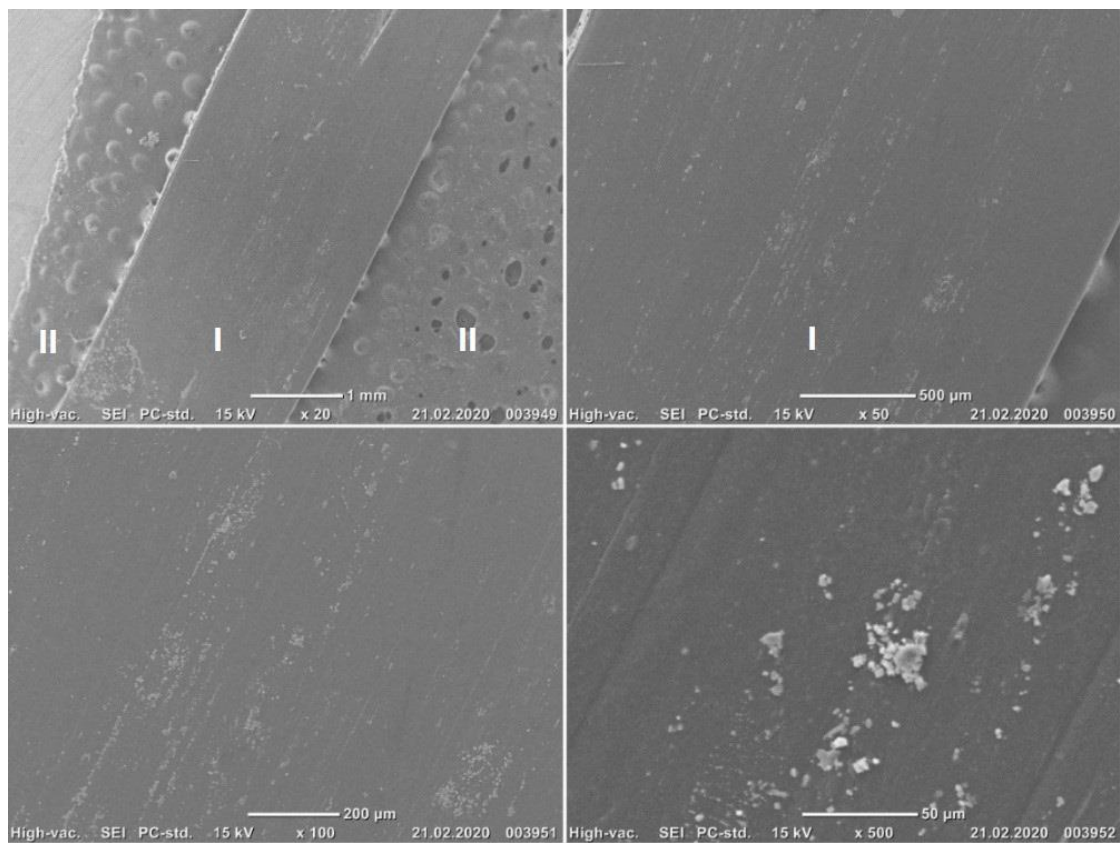


Figur 38: SEM-bilder av saltexponert fiber ved 4°C (SALT4.F) der «I» angir gressfiber og «II» karbonteip. Karbonteip karakteriseres med bobler og hvite tråder ved 22x og 50x. Diagonale striper på fiber kan tydelig sees ved 50x og 100x.



Figur 39: SEM-bilder av saltexponert fiber ved 22 °C (SALT22.F) der «I» angir gressfiber og «II» karbonteip. Karakteristiske striper på fiber kan her først sees ved 100x. Hvite partikler forekommer på fiberen, og vises ved 100x og 500x

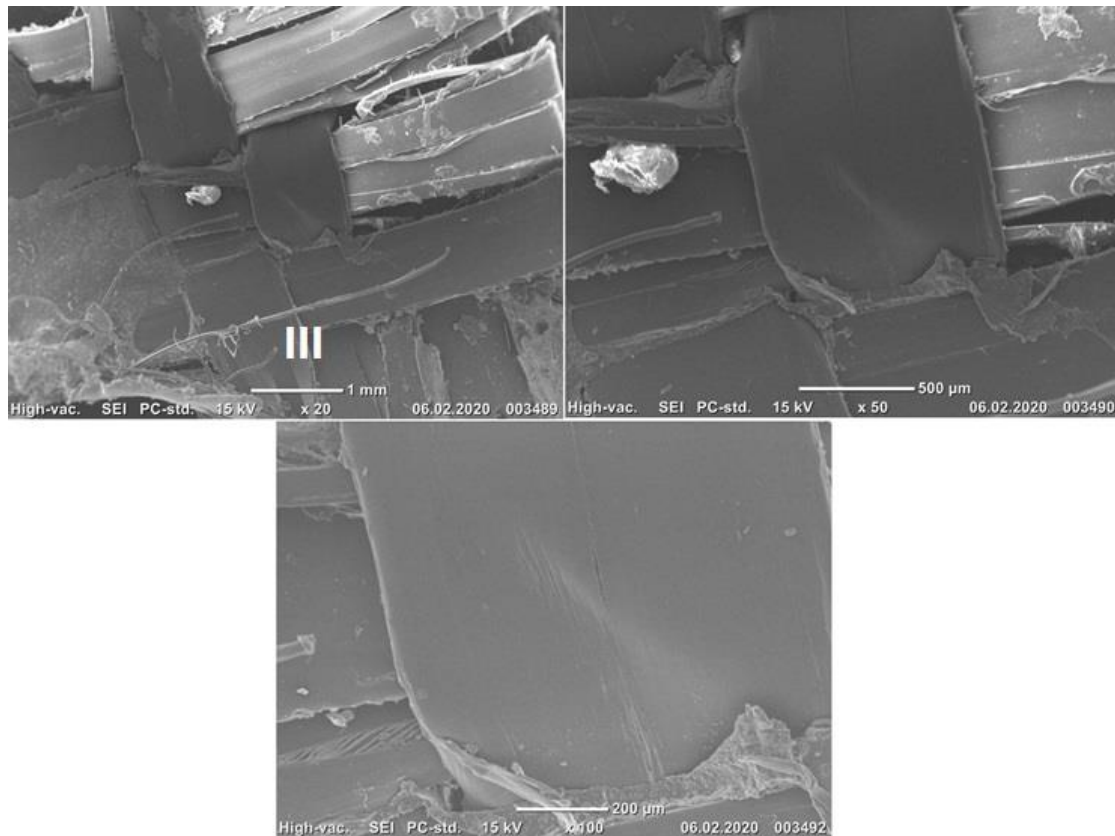




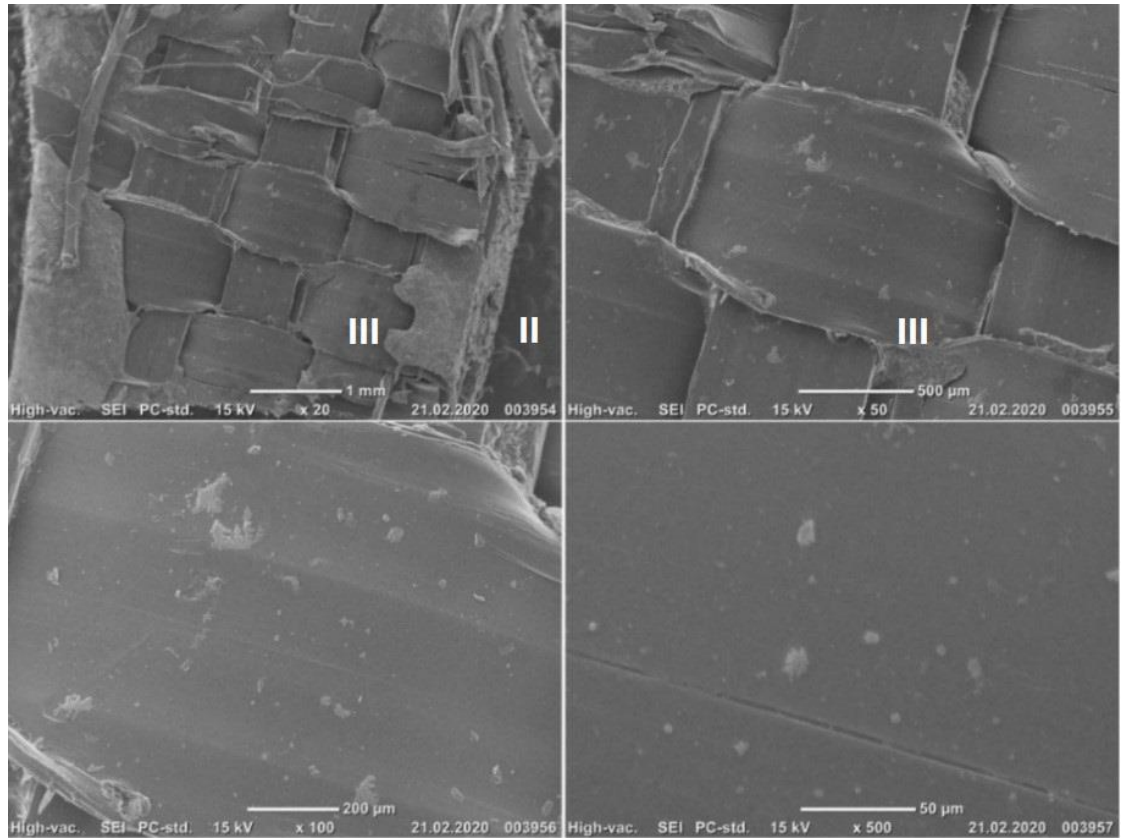
Figur 40: SEM-bilder av salteksponert fiber ved 70 °C (SALT70.F) der «I» angir gressfiber og «II» karbonteip. Hvite partikler på fiberen kan sees ved alle forstørrelser og fremhever karakteristiske striper på fiber, vist ved 50x, 100x og 500x.

#### 4.2.2. Backing

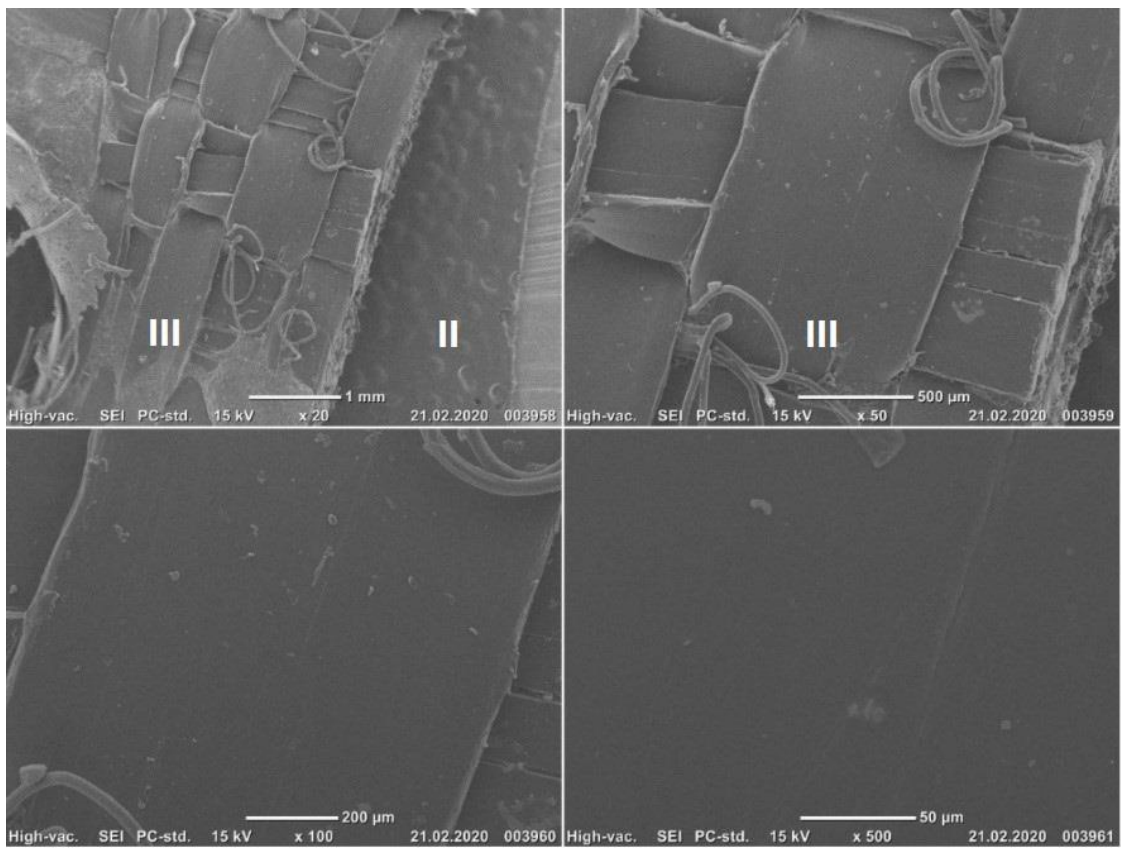
Figur 41 - 44 viser SEM-bilder av ueksponert backing (REF.B) og saltexponert backing ved 4 °C, 22 °C og 70 °C (SALT4.B, SALT22.B, SALT70.B) på karbontape med forstørrelser 20x, 50x, 100x og 100x. Ved forstørrelse 500x for REF.B i Figur 41 kunne ikke en overflatestruktur observeres grunnet dårlig oppløsning, og er derfor ikke tatt med. Backing er markert med «III» og kan ved 20x og 50x sees som lyse og mørke sammenflettede bånd med langsgående striper. Karbontape er markert med «II» og karakteriseres også her med små porer. Hvite ujevnheter på SALT4.B, SALT22.B og SALT70.B i Figur 42 - 44 kan sees i variert grad.



Figur 41: SEM-bilder av ueksponert backing (REF.B) der backing er markert med «III». Langsgående striper kan tydelig sees på båndene ved 50x og 100x. Bilde ved forstørrelse 500x forekommer ikke grunnet for dårlig bildekvalitet til at mikrostruktur kunne observeres.

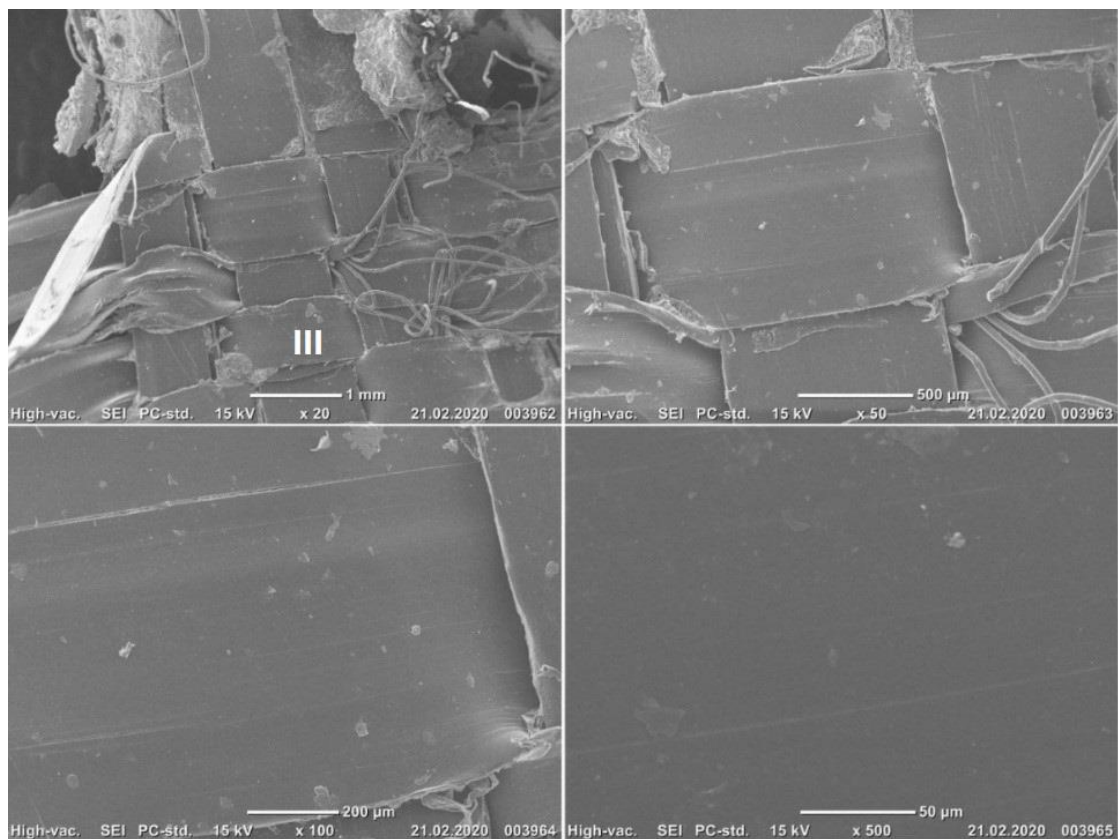


Figur 42: SEM-bilder av salteksponert backing ved 4 °C (SALT4.B) der backing er markert med «III» og karbontape med «II». Tydelige langsgående striper kan her sees ved 100x. Hvite partikler kan her observeres ved alle forstørrelser.



Figur 43: SEM-bilder av salteksponert backing ved 22 °C (SALT22.B) der backing er markert med «III» og karbontape med «II». Urenheter kan sees i liten grad på backing ved 50x og 100x.





Figur 44: SEM-bilder av saltekspontert backing ved 70 °C (SALT70.B) der backing er markert med «III». Hvite partikler i backing forekommer her ved alle forstørrelser.

## 4.3. Strekktesting

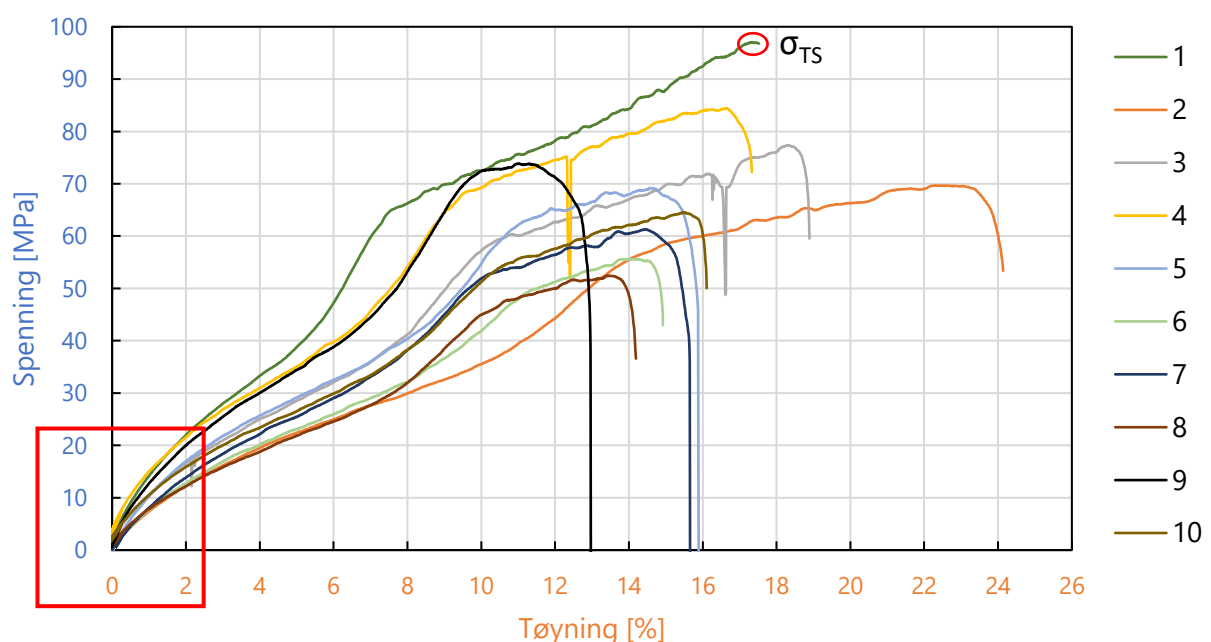
### 4.3.1. Innledende tester

For innledende tester ble «Screw grips Fmax 2,5kN» fra Zwick Roell først testet. Bruk av innspenningen førte til deformasjonskader på fiberen rundt gripeområdet og stor variasjon på hvor brudd fant sted, samt at teip og sandpapir løsnet underveis i forsøket. Andre innspenning som ble testet var «Screwing clamping tool 2,5kN» fra Demgen. Innspenningen førte ikke til uønsket deformasjon i gripeområdene, men relativ lik bruddlokasjon ble oppnådd. Behovet for teip og sandpapir uteble grunnet tilstrekkelig friksjon mellom fiber og innspenning.

For å bestemme lasthastigheten ble ulike hastigheter undersøkt for å se hvordan fiberen responderte. Hastighetene 4 mm/min, 6 mm/min og 10 mm/min ble testet. Totalt 5 fiber per hastighet ble testet, der 10 mm/min gav brudd ved gripeflater. Lasthastighet på 4 mm/min gav brudd på midten av hver fiber, men tok betraktelig lengre tid. Testing ved 6 mm/min gav tilfredsstillende resultater både med tanke på bruddlokasjon og tidsbruk, og ble dermed valgt for de resterende seriene

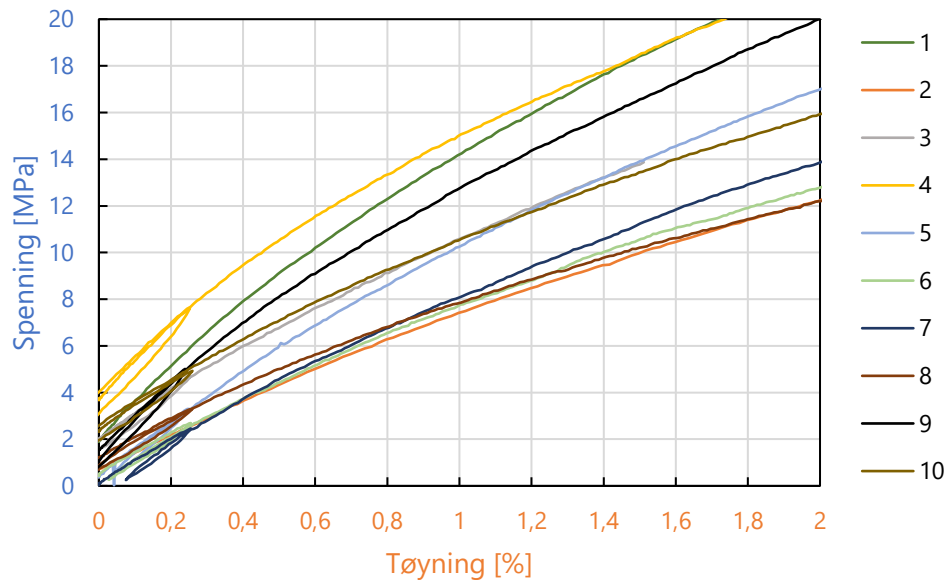
### 4.3.2. Beskrivelse av kurveforløp til spenning-tøyningskurver

Figur 45 viser spenning-tøyningskurver fra strekktesting av ti fiber i ueksponert prøveserie REF.F, der spenning er gitt i MPa og tøynings som %-forlengelse fra utgangsposisjon. Fibre er nummerert fra 1-10 der hver fiber har en tilhørende kurve. Det kan registreres en relativt stor spredning i kurveforløpene fra spenningsverdi på rundt 40 MPa. Arbeidsharding av fibrene kan sees ved at økt spenning fører til økt tøynings frem til strekkfasthet ( $\sigma_{TS}$ ), markert med rød sirkel på fiber 1. Strekkfasthet for de resterende fibrene leses av som toppunktet på hver av kurvene. Rød boks angir antatt elastisk område hvor verdi for flytespenning ( $\sigma_y$ ) og E-modul antas å være, vist i Figur 46. Spenning-tøyningskurver for de resterende prøveseriene er gitt som kraft-tøyningskurver der kraft gitt i N er plottet mot tøynings gitt i mm fra utgangslengde, vist i Vedlegg C.



Figur 45: Spenning-tøyningskurve fra strekktesting av ti fibre fra ueksponert prøveserie REF.F.

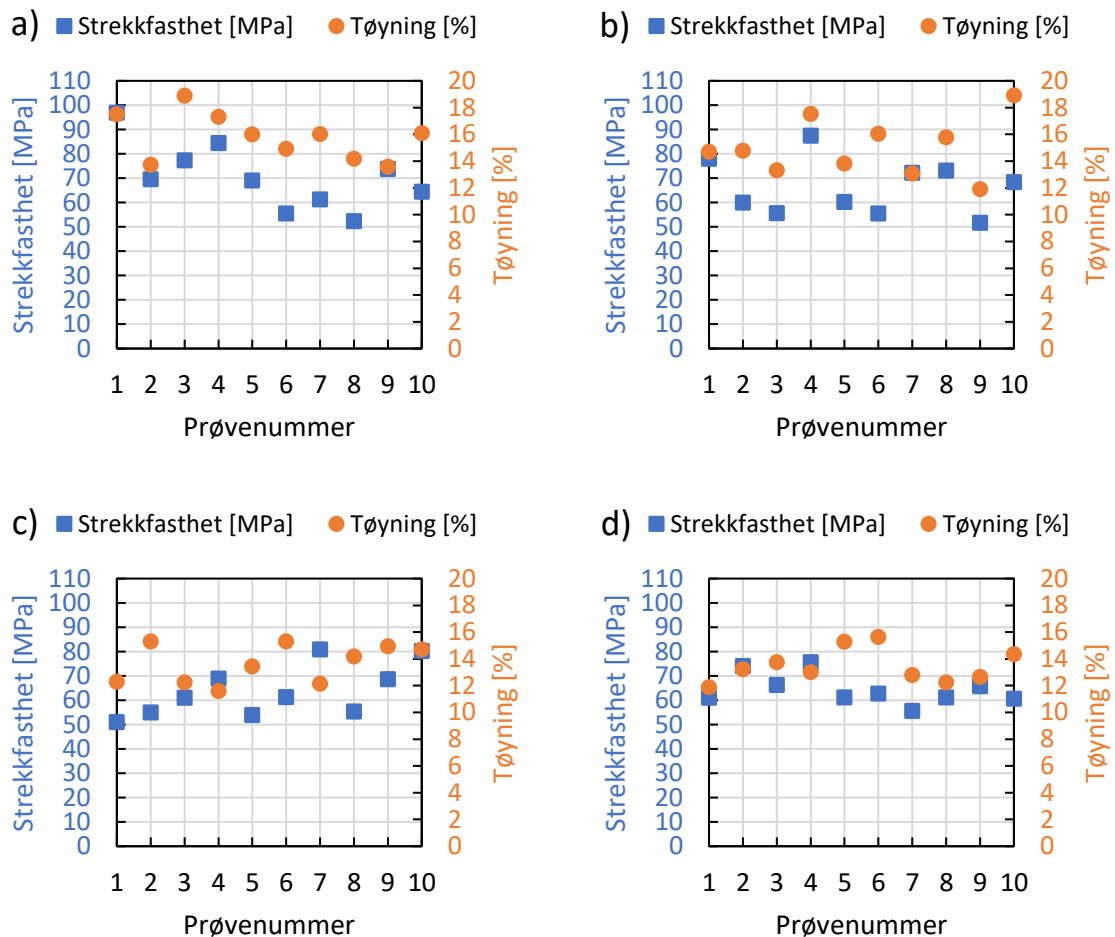
Figur 46 viser starten av kurveforløpene til spenning-tøyningskurver fra ueksponert prøveserie REF.F, markert med rød boks i Figur 45. Verdier for spenning mellom 0 - 8 MPa og tøying mellom 0 - 0,4 % kan ikke leses av nøyaktig for hver enkelt fiber grunnet feil ved innstramming av fiber når strekktesten ble satt i gang. Et lineær-elastisk område kan ikke observeres for noen av kurvene, det kan dermed se ut til at Hookes lov gitt i Ligning (3) ikke blir fulgt. Et tydelig skille mellom elastisk- og plastisk område kan dermed ikke sees, og konkrete verdier for E-modul og flytespenning ( $\sigma_y$ ) kan ikke leses av i det antatt elastiske området.



Figur 46: Innzoomet spenning-tøyningskurve fra strekktesting av ti fibre fra ueksponert prøveserie REF.F. Verdier for spenning mellom 0 - 8 MPa og tøying mellom 0 - 0,4 % kan ikke leses av grunnet feil ved innstramming av fibre.

#### 4.3.3. Sammenligning av verdier for strekkfasthet og tøying

Figur 47 viser verdier for strekkfasthet og tøying hentet fra rådata for strekktesting av ueksponert og salteksponte prøveserier a) REF.F, b) SALT4.F, c) SALT22.F og d) SALT70.F. Prøvenummer 1-10 angir som i Figur 45 - 46 måledata for hver enkelt fiber som ble strekktestet. Måleverdier for strekkfasthet er angitt med blå, kvadratisk indikator og avleses på venstre y-akse. Måleverdier for tøying er angitt med oransje, sirkulær indikator og avleses på høyre y-akse. Spredning i verdier for både strekkfasthet og tøying kan sees for alle serier, der SALT70.F ser ut til å ha minst spredning.



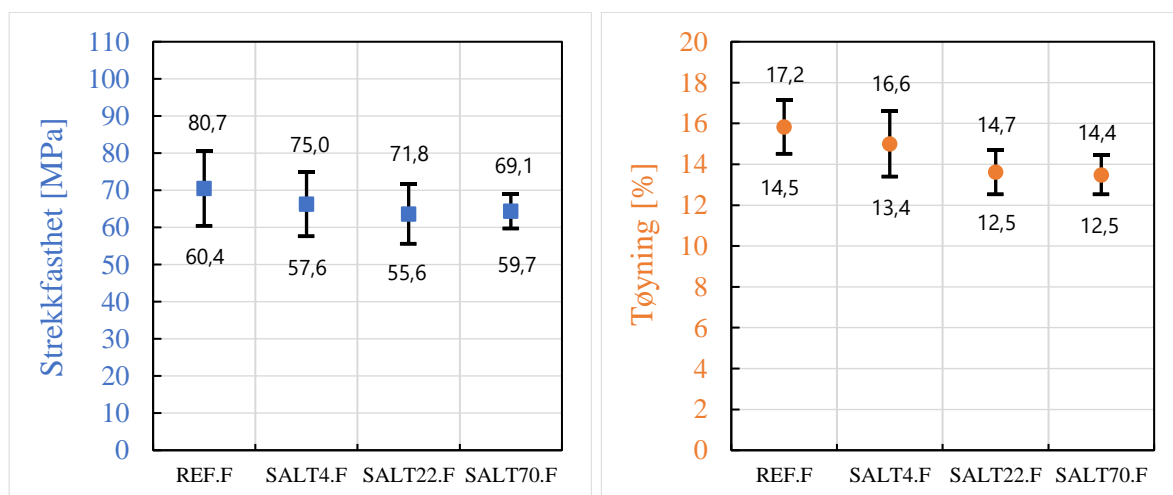
Figur 47: Måleverdier for strekkfasthet og tøyning fra strekktesting av a) ueksponerte fibre (REF.F) b) salteksponte fibre 4 °C (SALT4.F) c) salteksponte fibre 22 °C (SALT22.F) og d) salteksponte fibre 70 °C (SALT70.F). Måleverdier for strekkfasthet er angitt med blå, kvadratisk indikator og avleses på venstre y-akse. Måleverdier for tøyning er angitt med oransje, sirkulær indikator og avleses på høyre y-akse.

Tabell 9 viser gjennomsnittsverdier ( $\bar{X}$ ), standardavvik ( $\sigma$ ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet og tøyning for ueksponert serie REF.F og eksponerte serier SALT4.F, SALT22.F og SALT70.F. Det kan observeres at gjennomsnittsverdier for både strekkfasthet og tøyning avtok ved eksponering og med økende eksponeringstemperatur. Unntak her er SALT70.F som økte i gjennomsnittsverdi for strekkfasthet.

Tabell 9: Gjennomsnittsverdi ( $\bar{X}$ ), standardavvik ( $\sigma$ ) og 95%-konfidensintervall for strekkfasthet og tøyning på referanseserie REF.F og eksponerte serier SALT4.F, SALT22.F og SALT70.F.

Serie	$\bar{X} \pm \sigma$	95%-Konfidensintervall
		[MPa]
	<i>Strekkfasthet [MPa]</i>	
REF.F	70,5 ± 10,1	[60,4 , 80,6]
SALT4.F	66,3 ± 8,7	[57,6 , 75,0]
SALT22.F	63,7 ± 8,1	[55,6 , 71,8]
SALT70.F	64,4 ± 4,7	[59,7 , 69,1]
	<i>Tøyning [%]</i>	
REF.F	15,8 ± 1,3	[14,5 , 17,1]
SALT4.F	15,0 ± 1,6	[13,4 , 16,6]
SALT22.F	13,6 ± 1,1	[12,5 , 14,7]
SALT70.F	13,5 ± 1,0	[12,5 , 14,5]

Figur 48 viser sammenligning av gjennomsnittsverdier med tilhørende 95%-konfidensintervall for strekkfasthet og tøyning for referanseserien REF.F og eksponerte serier SALT4.F, SALT22.F og SALT70.F. Data er hentet fra Tabell 9. Det kan her sees at økt eksponeringstemperatur viser mindre usikkerhet ved at konfidensintervallet blir mindre. Fra datasettene kan det sees at de aller fleste verdier for strekkfasthet og tøyning for de ulike seriene ligger innenfor 95%-konfidensintervallet. En merkbart trend eller endring kan derfor ikke konkluderes med.



Figur 48: Sammenligning av gjennomsnittsverdier for prøveserier med tilhørende konfidensintervaller for a) strekkfasthet og b) tøyning.

#### 4.4. Oppsummering

Fra makroskopisk karakterisering kunne størst endring observeres for saltekspontert fiber og backing ved 70 °C (SALT70.F og SALT70.B), med masseøkning på hhv. 0,9 % og 1,1 %. Ingen av prøvene viste areal eller fargeforandring, mens SALT70.B var mindre blank etter eksponering. Med tanke på utforming var SALT22.F og SALT70.F mindre ordnet etter eksponering, mens SALT70.B ble bøyd og mindre fleksibel.

Fra mikroskopisk karakterisering kunne det observeres opphopning av hvite partikler/ujevnheter fra saltekspontering på SALT22.F, SALT70.F samt på backing ved alle eksponeringstemperaturer. Endringer med tanke på overflatestruktur til fiber og backing kunne ikke observeres da karakteristiske striper kunne sees på både uekspontert og saltekspontert fiber og backing.

En spredning i verdier for strekkfasthet og tøynings ble vist ved strekktesting av ueksponterte og eksponterte fiber. Merkbar effekt av saltekspontering kunne ikke observeres, da variasjonen i verdier lå innenfor 95%-konfidensintervallene. Gjennomsnittsverdi for tøynings avtok med økende eksponeringstemperatur.

## 5. Diskusjon

Kapittelet tar for seg diskusjon rundt gjennomføring av salt- og UV-eksponering samt resultatene fra makroskopisk karakterisering og mikroskopisk overflateanalyse av backing og fiber samt strekktesting av fiber. Bærekraft i forbindelse med alternative ifyllsmaterialer samt vinterdrift av 4G-baner blir også diskutert. Diskusjon rundt effekt av UV baserer seg på resultater fra rapporten presentert i Kapittel 2.2.1 der lignende eksponering og måling ble gjort.

### 5.1. Makroskopisk karakterisering

Masseøkning varierte mellom 0,28 % - 0,90 % på salteksponerte fiber og 0,16 % - 1,1 % på salteksponert backing, vist i Tabell 8. En sammenheng med temperatur og masseøkning kan derimot ikke sees, da salteksponerte prøver ved 4 °C (SALT4.F og SALT4.B) hadde større økning enn salteksponerte prøver ved 22 °C (SALT22.F og SALT22.B). På grunn av symmetri og liten forskjell i elektronegativitet mellom atomene C og H i polymerkjedene, vil det sannsynligvis ikke ha skjedd reaksjoner mellom LLDPE eller PP i kontakt med den polare NaCl-løsningen. Stor forskjell i polaritet mellom polymerkjedene og løsningen kan også være en av grunnene til at dimensjonsforandringer ikke ble observert, da saltløsning sannsynligvis ikke har trengt inn i mikrostrukturen og ført til utvidelse. Informasjon fra EduPack om svært god motstand mot absorpsjon av saltvann (5 vekt% NaCl) for LLDPE og PP ser derfor ut til å stemme også for saltløsning med 10 vekt% NaCl. Eksponeringen har ikke ført til synlige endringer i verken farge eller glans på fiber eller backing. Unntak her er SALT70.B som mistet litt glans og ble mer fleksibel i strukturen etter eksponering.

Fra observasjoner kan det se ut til at NaCl ved ulike temperaturer har liten påvirkning på makroskopiske karakteristikk for fiber og backing. Lav absorpsjonsgrad, ingen registrerte dimensjonsforandringer og liten fargeforandring virker positivt både med tanke på å opprettholde spilleegenskaper og utseende til kunstgressbanen. I tillegg vil salting også sørge for gode spilleegenskaper på vinteren da det unngår at ifyllet blir tettpakket og hindrer isdannelse. Effekt av salt på levetid må undersøkes ved salteksponering over en lengre periode for å etterligne realistiske forhold på en vinteråpen bane.

### 5.2. Mikroskopisk karakterisering i sveipelektronmikroskop

Rifter og karakteristiske striper på eksponerte fiber i Figur 38 - 40 kan også sees på ueksponert fiber i Figur 37. Likevel kan det se ut til at høyere eksponeringstemperatur har ført til at større mengde hvite partikler/urenheter ble liggende igjen på overflaten av fiber, selv om alle prøvestykker ble behandlet likt før veiing. Sammenlignet med Figur 28 a) kan heller ingen tydelig effekt av salteksponering fra overflateanalyse registreres, da karakteristiske striper på overflaten også her kan sees.

SEM-bilder av eksponert backing i Figur 42 - 44 viste heller ingen tydelig endring sammenlignet med ueksponert backing, Figur 41. Hvite partikler/urenheter fra eksponering er ikke like fremtredende på SALT70.B i Figur 44 som på SALT70.F vist i Figur 40. Dette kan komme av at LLDPE har lavere tetthet og dermed større avstand mellom polymerkjedene der partikler kan feste seg.

Partiklene på overflaten til både fiber og backing kan komme fra en begynnende krystallisering av NaCl ved tørking, eller at polymeren i seg selv har endret struktur i overflaten. En EDS-analyse var planlagt å bli gjennomført for kjemisk karakterisering av partiklene på prøvene, men ikke gjennomført grunnet restriksjoner med tanke på COVID-19.

En problemstilling som oppstod var å ta detaljerte SEM-bilder av overflaten til både fiber og backing, da bilder med forstørrelser på 100x og oppover ble utydelige. For å korrigere dette ble det forsøkt med pådamping av ulik mengde gull (60s, 90s) på prøveoverflatene, uten at synlig effekt av dette kunne observeres. Det ble for alle prøver brukt akselerasjonsspenning på 15 kV, noe som kan ha vært for høyt for å synliggjøre overflatestruktur på fiber og backing.

### 5.3. Strekktesting av kunstgressfiber

#### 5.3.1. Prøvepreparering og valg av metode

Ved prøvepreparering av fiber til strekktesting, vist i Figur 32 kan bruk av flat- og rundtenger ha skapt svake punkt på den tynne fiberen og påvirket resultatene. Siden fiberen var sydd fast i backingen og limt med latex på undersiden, måtte det noen steder stor drakraft til for å løsne fibrene. Fibre med tydelige visuelle skader, ujevnheter i tykkelse og lengde <30 mm ble fjernet ved utvelgelse av fiber til strekktesting. Alternativ til prøvepreparering ved bruk av fysisk kraft kunne vært å motta løse fiber fra leverandør, som ikke fast sydd fast i backing. Slitasje og dannelse av svake punkter kunne da blitt unngått.

For strekktesting var det planlagt å følge «*Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*» (ASTM D882). Grunnen til at denne ikke ble fulgt var at kunstgressfibrene ikke oppfylte krav til dimensjoner. Resultater oppnådd ved bruk av andre lasthastigheter kan derfor ikke direkte sammenlignes med resultater der ASTM D882 er brukt. Faktorer som var avgjørende for valg av lasthastighet for kunstgressfiber var hvor på fiberen bruddet fant sted, om fiber gled ut av gripeflatene og tidsbruk. Strekktesting av fiber uten å følge en spesifikk standard kan derfor ha medført at flere usikkerhetsmoment som hvilke type gripeflater og innspenning som ble benyttet, samt usikkerhet i elektronisk utstyr og lastcelle.

#### 5.3.2. Beskrivelse av spenning-tøyningskurver

Spenning-tøyningskurvene for prøveserien REF.F i Figur 45 og eksponerte serier i Vedlegg C viser stor spredning i verdier for spenning og tøying for de ulike prøvene (1-10). Fra kurveforløpene i det antatt elastiske området i Figur 46 kan ikke et lineær-elastisk område sees, dvs. at Hookes lov vist i Ligning (3) ikke følges. E-modul for fibrene kan dermed ikke defineres. Et tydelig skille mellom elastisk- og plastisk område kan heller ikke observeres i dette området. Tall hentet fra Tabell 2 angir at flytespenningen normalt sett ligger i intervallet 10 - 19 MPa, noe som ikke er tilfelle for fibrene som ble strekktestet [16]. Fra Figur 45 kan det se ut til at flytespenningen i kurveforløpene forekommer ved spenningsverdier mellom 40 - 70 MPa, da kurvene når en kunstig topp for deretter å øke lineært til brudd. Dette kan forklares ved at en arbeidsherdig skjer i materialet ved økt deformasjon.



Ved hvilken verdi for spenning og tøyning bruddet forekommer ser ut til å være stokastisk, noe som kan beskrives ved at fiberen er en semikrystallinsk polymer. Amorfe og krystallinske områder i polymeren er tilfeldig orientert i polymeren og hvilket område som opplever brudd vil derfor variere. Fra Figur 45 kan det fra kurvene til prøvestykke 3 og 4 observeres et plutselig fall i spenning i antatt plastisk område hvor det kan virke som at prøvestykket har glippet tak. Kurveforløpene etter glippene kan sees å følge samme trend som for de andre prøvestykkene i samme serie. Ingen av de resterende prøveseriene inneholder lignende kurveforløp for noen av prøvestykkene.

Ved sammenligning av spenning-tøyningskurver for REF.F mot strekktesting gjort på LLDPE i Figur 13 kan ulikheter observeres både med tanke på kurveforløp og målte verdier for strekkfasthet og tøyning. Fra spenning-tøyningskurvene i figuren kan et tydelig lineært-elastisk område observeres i starten av kurveforløpet som antyder at prøvene følger Hookes lov. Arbeidshærding kan også her observeres etter flytespenningen på 7 MPa, der spenning og tøyning øker lineært. En direkte sammenligning av spenning-tøyningskurver vil derimot være upresist ettersom utformingen av prøvestykker brukt til strekktesting i Figur 13 er gitt i standarden som ble brukt til testing, ASTM D638. Lasthastighet brukt til testing er også svært ulik der  $125 \frac{mm}{min}$  ble brukt på standard prøvestykke mot  $6 \frac{mm}{min}$  til strekktesting av fiber i denne oppgaven.

Måledata for de resterende prøveseriene SALT4.F, SALT22.F og SALT70.F vises som kraft-tøyningskurver. Disse skulle endres til spenning-tøyningskurver, men dette ble ikke gjennomført på grunn av restriksjoner i forbindelse med COVID19. Verdier for standardavvik gitt i rapportene ble ikke brukt til beregninger i oppgaven grunnet programvarens feilaktige antakelse av normalfordeling.

### 5.3.3. Tolkning og sammenligning av måledata fra strekktesting

Hensikten med strekktesting i forsøket var ikke å måle eksakte verdier for strekkfasthet og tøyning, men heller å bruke samme metode for referanseserien og alle eksponerte serier for å observere om en endring i mekaniske egenskaper ville oppstå.

Stor variasjon i resultatene for strekktesting vist i Figur 47 og Tabell 9 kan tyde på stor usikkerhet rundt strekktesting av fiber. En tendens kan observeres for strekkfasthet, der standardavviket endres fra 10,1 MPa for REF.F til 4,7 MPa for SALT70.F. Økt eksponeringstemperatur kan dermed se ut til å gi en mer nøyaktig verdi for strekkfasthet ved bruk av 95%-konfidensintervall. Gjennomsnittsverdien for strekkfasthet endrer seg etter eksponering av salt, men dette virker som å være uavhengig av eksponeringstemperatur. For tøyning kan ikke lik sammenheng sees, der standardavviket går fra 1,3 % for REF.F til 1,6 % for SALT4.F. Likevel kan en nedgang i gjennomsnittsverdi for tøyning observeres ved økt eksponeringstemperatur.

Verdier for strekkfasthet og tøyning for alle prøveserier lå i de fleste tilfeller innenfor sine respektive konfidensintervaller. I Figur 48 kan det sees at konfidensintervaller for alle prøveserier ligger omtrent i samme område. En endring i strekkfasthet som følge av salteksponering ved ulike temperaturer kan derfor ikke registreres.

Fra Figur 48 b) kan det ved sammenligning av konfidensintervaller for REF.F og SALT70.F sees at verdier for tøyning ikke ligger innenfor samme konfidensintervall. Tilsvarende observasjon kan sees for SALT22.F. Derimot ligger konfidensintervallet for SALT4.F omtrent i samme område som REF.F. En forskyvning av konfidensintervall kan se ut til å ha oppstått ved eksponering ved økt temperatur.

Tabell 1 viser at verdi for strekkfasthet for LLDPE forventes å være 20 MPa, mens eksperimentelle verdier viser strekkfasthet på 60-81 MPa for ueksponert fiber (REF.F), vist i Tabell 9. Verdier for tøyning oppnådd under strekktesting av fibre avviker også stort fra Tabell 1, der teoretisk verdi for LLDPE viser maksimal tøyning på 500 %, sammenlignet med eksperimentelle tøyningverdier på 15 - 17 %. Grunnen til store avvik kan være at verdier fra Tabell 1 er målt ved strekktesting av et standard prøvestykke av LLDPE spesifisert i ASTM D638. Ved sammenligning av mekaniske egenskaper for standard prøvestykke mot kunstgressfiber vil derfor faktorer som produksjonsprosess, grad av krystallinitet og utforming spille inn.

#### 5.3.4. Forventet effekt av endret lasthastighet og temperatur

Ved endring av lasthastighet og temperatur kan lik endring i mekaniske egenskaper som for HDPE vist i Figur 15 forventes. Dette skyldes at både fiber undersøkt i oppgaven og HDPE er viskoelastiske materialer, og valg av lasthastighet og temperatur vil derfor ha stor innvirkning på kurveforløp og målte verdier ved strekktesting. Generelt sett vil både høyere lasthastighet og senket temperatur føre til økt strekkfasthet, lavere tøyning og større verdi for E-modul. For å kunne kartlegge viskoelastisk oppførsel til kunstgressfiberen i oppgaven bør strekktesting gjennomføres både ved ulike lasthastigheter og ved temperaturer ulik 22 °C.

Praktisk sett kan lasthastighet kobles opp mot vedlikehold av en kunstgressbane. Eksempel på dette er ved mekanisk fjerning av snø og is under vinterdrift, der traktor med skjær kjøres over banen med hastighet opp mot 18 km/t, og ball kan sparkes med hastigheter over 100 km/t [50], [64]. Disse hastighetene er betraktelig høyere enn lasthastighet benyttet i oppgaven på 6 mm/min (0,004 km/t). Deformasjon fra vedlikehold og bruk vil også forekomme i større grad som adhesiv slitasje. En direkte sammenligning av hastighet på traktor og ball mot lasthastigheter ved strekktesting vil derfor være upresist, men kan gi indikasjon på hvordan fiberen påvirkes i strekk ved høyere lasthastigheter. Bruk av skjær i kombinasjon med høy hastighet og lav temperatur kan føre til at fiber går til sprøtt brudd dersom krav til høyde over banen ikke overholdes ved brøyting.

#### 5.4. Effekt av UV-eksponering

Fiberen er den komponenten på en kunstgressbane som blir mest eksponert for sollys, og inneholder UV-stabilisatorer som tilsettes for å absorbere strålingsenergi i form av varme. Teoretisk sett kan høy temperatur fra absorpsjon av varme kunne føre til utvidelse av polymerstrukturen der forandring i mekaniske egenskaper som lavere E-modul og økt tøyning kan forekomme. Økt avstand mellom polymerkjedene vil også føre til større avstand hvor kjemikalier som brukes til snøsmelting kan trenge inn og føre til at underlagets drenerende egenskaper reduseres [65].

Tabell 3 viser stor spredning i strekkfasthet og tøyning etter UVA-eksponering av PE-gressfiber. For prøvene av monofilament (1-2) kan både avtagende og økt strekkfasthet observeres, mens fiber med garnstruktur (3-4) har begge fått lavere verdi for strekkfasthet. Verdier for tøyning har økt for alle prøveserier, der monofilament-fiber har opplevd størst økning på maksimalt 15 %. Variert og liten endring mellom de ulike prøveseriene gjør at UVA-stråling ikke har ført til tydelig endring i mekaniske egenskaper. Fargeendringen observert på prøveserie 4 beskrives i rapporten som en subjektiv observasjon. Fra karakterisering i SEM, vist i Figur 17 kan effekten på mikrostruktur sees ved sprekkdannelse langs lengderetningen på fiber. Sprekkdannelsen kan ha oppstått som følge av utilstrekkelig tilsats av UV-stabilisator, eller nedbrytning av stabilisatoren som følge av UV-eksponering.

UV-stabilisatoren i polymeren antas å spille en viktig rolle i forbindelse med degradering, men type og mengde som tilsettes er konfidensielt fra leverandør. Hvor stor effekt UV-stråling har på spilleegenskaper og levetid på en spesifikk bane avhenger derfor av UV-stabilisatoren som tilsettes, og hvor i verden banen befinner seg. Uten tilstrekkelig UV-stabilisator kan økt tøyning og redusert stivhet ved varmeabsorpsjon føre til degradering av kunstgressbanens komponenter. Banen vil som følge av dette få redusert spilleegenskaper som tap av friksjon mellom ball og bane ved at fibre orienteres mer horisontalt langs banen. Eksempel på uønsket endring i spilleegenskaper kan være økt ballsprett og forlenget ballrulle.

## 5.5. Miljø og økonomi ved EoL-strategier for alternative ifyllsmaterialer

Det kan sees fra Figur 23 at ifyllsmaterialer av polymer har større påvirkning på utslipp av  $CO_2$  enn organiske materialer, uavhengig av EoL-strategi. En reduksjon av utslipp kan oppnås ved å bytte fra forbrenning eller deponering til resirkulering, der TPE og EPDM har størst forbedringspotensial. Likevel vil problemstillinger som konkurranse fra andre typer avfallshåndtering og lite støtte fra baneleverandører gjøre det vanskelig og dyrt å drive anlegg for resirkulering. I tillegg er det vanskelig å oppnå høy renhet på materialene som separeres da ifyllet ofte er blandet med sand [47]. Ved bruk av ifyllsmaterialer av polymer vil også utslipp av mikroplast være et miljøproblem.

Fra et miljøperspektiv vil resirkulering av organiske alternativer lønne seg i varierende grad, der en besparelse kan oppnås ved resirkulering av kork, men ikke for kokosnøttskall. For organiske materialer vil forbrenning være å foretrekke over deponi, da deponering har større påvirkning på miljøet med tanke på utslipp av drivhusgasser. Figuren viser også at både installasjon og gjenbruk av dempematte vil være fordelaktig med tanke på  $CO_2$ -utslipp ved ulike EoL-strategier. Dempematten vil også bedre spilleegenskapene til banen over tid og reduserer behovet for ifyll med 50-60 %. Dersom dempematten skal gjenbrukes, må dens egenskaper testes før ny kunstgressbane installeres [47].

Økonomisk sett viser Figur 24 at et bytte fra deponering til resirkulering (oransje søyle) vil lønne seg både for syntetiske og organiske materialer, mens bytte fra forbrenning (blå søyle) kun vil gi økonomisk gevinst for syntetiske ifyll. Polymermaterialene EPDM og TPE vil ha størst økonomisk påvirkning, spesielt ved å bytte fra forbrenning til resirkulering med en besparelse på hhv. \$98 og \$123 per tonn ifyllsmateriale. Problemstillingen med separasjon av materialene i kunstgresset vil også her spille en rolle dersom resirkulering skal være et alternativ.

Løsninger for å skaffe materialstrømmer med høy renhet ved separasjon er på prøvestadiet og er per dags dato verken utviklet eller lønnsomt. Resirkulert materiale kan likevel gjenvinnes og brukes i en «åpen-løkke-resirkulering», der materialer fra den urene materialstrømmen kan brukes til for eksempel veikjegler eller gummiunderlag [47].

## 5.6. Degradering fra vinterdrift og bruk

I kunstgressboka står det «*Vinterdrift på banene gir kortere levetid*» [1]. Det er derfor kjent at en vinteråpen kunstgressbane vil ha redusert levetid sammenlignet med en som er vinterstengt. Eksempler på faktorer som reduserer levetid ved vinterdrift er fjerning av snø og is og økt antall brukstimer. Ved temperaturer ned mot  $T_g$  vil både fiber og backing ha høyere E-modul, vist i Figur 19 a). Lav utetemperatur i kombinasjon med skarpe partikler fra fotballknotter forekommer som abrasiv slitasje på banens komponenter. Dette kan føre til deformasjoner i backing eller at fiber opplever mindre duktilt brudd, som igjen resulterer i ujevne spilleforhold. Bruk av anbefalt kjøretøy og utstyr angitt i FDV-instruks er derfor viktig for å hindre unødvendig degradering.

Ved lave temperaturer vil også ifyllsmateriale bli hardt og tettpakket uten tilstrekkelig vedlikehold som inkluderer bruk av undervarme og snøsmeltningsmidler. Brøyting og fresing vil også kunne føre til ujevn fordeling av ifyllsmateriale på banen. Som et resultat av dette vil både fiber og backing eksponeres i variert grad på banen, og i områder med mindre ifyllmateriale vil fiberen miste støtte til å holde vertikal posisjon. Dette kan påvirke spillegenskaper med tanke på ballsprett, -rulle, og støtdemping [66]. Ujevn fordeling kan også føre til dannelse av groper og hull på banen, som ikke er ønskelig for brukerne.

## 5.7. Videre arbeid

Videre arbeid bør fokusere på å fullføre karakterisering av UV-eksponerte LLDPE-fiber i SEM, og gjennomføre strekktesting for å undersøke om en endring i mekaniske egenskaper etter UVA-eksponering vil forekomme. Kartlegging av type UV-stabilisator kan gjøres ved å eksponere fiber for UVB-stråling og sammenligne mekaniske egenskaper med UVA-eksponerte fiber. UV-eksponering av fiber og backing i kombinasjon med salt kan også gjøres for å simulere mer realistiske forhold på vinteren.

Videre kan det være aktuelt å se mer på hvordan slitasje fra mekanisk fjerning av snø og is og økt antall brukstimer påvirker levetiden til både fiber og backing. Kunstgressboka beskriver at  $\text{CH}_3\text{COONa}$  kan brukes som snøsmeltningsmiddel istedenfor  $\text{NaCl}$ . Forsøk der eksponering av fiber og backing i  $\text{CH}_3\text{COONa}$ -løsning ved ulike temperaturer kan derfor være relevant for å undersøke om dette vil ha større effekt enn  $\text{NaCl}$  på overflatestruktur og mekaniske egenskaper. Eksponering av fiber og backing i  $\text{NaCl}$  og  $\text{CH}_3\text{COONa}$  over lengre tid enn 168 timer kan også bidra til økt mekanisk og kjemisk degradering, da vinterdrift på en reell kunstgressbane kan foregå opp til flere måneder.

Bruk av lastcelle med lavere maksimal nominell spenning enn 2,5 kN vil føre til mindre usikkerhet ved måling av små verdier, da en kraft på maks 30 N måtte til for at fiberen gikk til brudd. Strekktesting ved temperaturer ulik romtemperatur, 25 °C, vil også kunne simulere slitasje av banen ved vinter og sommer.

Testing ved temperaturer ned mot frysepunktet til vann vil være mest relevant med tanke på slitasje fra vinterdrift. Strekktesting med høyere lasthastighet vil kunne simulere realistiske forhold ved vintervedlikehold på en kunstgressbane. Kartlegging av fiberens viskoelastiske oppførsel vil da indirekte gjøres ved endring av temperatur, tid under belastning og lasthastighet.

## 6. Konklusjon

Fra makroskopisk karakterisering førte salteksponering ved 70 °C til størst masseøkning både for fiber og backing. Eksponert backing ved 70 °C mistet litt glans, mens eksponerte fiber ved 22 °C og 70 °C ble observert til å ha mer tilfeldig orientering. Dimensjonsforandringer etter eksponering ble ikke observert på noen prøver. Funnene er positive med tanke på å opprettholde spilleegenskaper og utseende til kunstgressbanen ved salting.

Ved karakterisering av mikrostruktur i SEM kunne karakteristiske striper og rifter sees på både før og etter salteksponering av fiber og backing ved alle temperaturer. Forekomst av hvite partikler/ujevnheter økte med økende eksponeringstemperatur, og kunne i større grad sees på fiber sammenlignet med backing. Partikler på overflaten kan komme fra begynnende krystallisering av NaCl ved tørking, eller endring av polymerens overflatestruktur.

Strekktesting gjort i oppgaven fulgte ikke en spesifikk standard. Faktorer som valg av gripeflate, innspenning, lastcelle og lasthastighet kan derfor ha påvirket målte verdier. Spenning-tøyningskurver fra strekktesting viser fravær av lineær-elastisk område, og måling av E-modul og flytespenning var derfor problematisk. Ingen tydelig endring i strekkfasthet som følge av salteksponering ble påvist. Økt eksponeringstemperatur førte derimot til mindre spredning i verdier, ved sammenligning av standardavvik for strekkfasthet. Samme trend kunne ikke observeres for tøying. Avtagende gjennomsnittsverdi for tøying ved økt eksponeringstemperatur kunne derimot sees.

Strekktesting og karakterisering av UV-eksponerte fiber ble ikke gjennomført grunnet restriksjoner i forbindelse med COVID-19. Effekt av UV-stråling på levetid ble derfor ikke undersøkt eksperimentelt. Fra lignende forsøk ble varierende endring i strekkfasthet og tøying som følge av UV-stråling påvist. Type og mengde UV-stabilisator antas å spille en viktig rolle med tanke på degradering av kunstgressbanens komponenter. Varmeabsorpsjon i polymer som følge av UV-stråling kan føre til økt tøying og redusert stivhet, som kan resultere i tap av friksjon mellom ball og bane.

En vinterdriftet kunstgressbane vil oppleve større degradering som følge av hyppigere bruk og vedlikehold. Dette kommer fra mekanisk og kjemisk fjerning av snø og is, i kombinasjon med temperaturforandringer og mekanisk slitasje fra økt antall brukstimer. Degradering vil føre til redusert levetid fra endring av komponentenes mekaniske egenskaper, ved lave temperaturer. Fiber og backing vil da bli stivere og ha redusert tøying, hvilket kan føre til ugunstige spilleegenskaper som økt ballsprett og ballrulle samt redusert støtdemping. Salting, bruk av undervarme og anbefalt utstyr fra FDV-instruks er sentralt for å opprettholde spilleegenskaper i vintersesongen.

## Referanser

- [1] Kulturdepartementet, «V-0975 B: Kunstgressboka,» 2015.
- [2] Norges Fotballforbund, *Statistikk anlegg, klubber og lag, aktivitet, spillere, dommere og utdanning*, Oslo: Norges Fotballforbund, 2017.
- [3] B. Bauer, K. Egebæk og A. K. Aare, *Environmentally friendly substitute products for rubber granulates as infill for artificial turf fields*, Veksø: PlanMiljø, 2017.
- [4] Advanced Sports Intallations Europe AS, *Quality of artificial turf*, Tallinn: Advanced Sports Intallations Europe AS, 2020.
- [5] T. Allen, L. Foster, M. Strangwood og J. Webster, *Sports Materials*, Basel: MDPI, 2020.
- [6] European Chemicals Agency, «ECHA proposes to restrict intentionally added microplastics,» 19 Mars 2019. [Internett]. Available: <https://echa.europa.eu/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>. [Funnet 09 Februar 2020].
- [7] S. Hann, C. Sherrington, O. Jamieson, M. Hickman, P. Kershaw, A. Bapasola og G. Cole, «Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products,» DG Environment of the European Commission, London, 2018.
- [8] Miljødirektoratet, «Innhenting av supplerende informasjon om løs plastbasert innfyllsmateriale,» Norconsult, 29 Mai 2018. [Internett]. Available: <https://tema.miljodirektoratet.no/Global/dokumenter/horinger/Industri/Norconsult.pdf?eplanguage=no>. [Funnet 09 Februar 2020].
- [9] Miljødirektoratet, *Utforming og drift av idrettsbaner som bruker plastholdig løst fyllmateriale - Høringsnotat med vurdering av konsekvenser*, Oslo: Miljødirektoratet, 2019, p. 13.
- [10] Mepex, P. Sundt, F. Syversen, O. Skogesal og P.-E. Schulze, *Primary microplastic-pollution: Measures and reduction potentials in Norway*, Oslo: Miljødirektoratet, 2016, pp. 91-92.
- [11] B. Aas, *KG2021 Et prosjekt om kunstgressflater*, Trondheim: SIAT NTNU, 2018.
- [12] Senter for idrettsanlegg og teknologi, NTNU, «Kunstgress2021,» 1 Januar 2018. [Internett]. Available: <https://www.ntnu.no/siat/kunstgress2021>. [Funnet 09 Februar 2020].
- [13] Skyjade, *Non-infill Miranda*, Qingdao: Skyjade, 2017.
- [14] R. J. Young og P. A. Lovell, *Introduction to polymers*, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2011, pp. 4-12.
- [15] W. D. Callister, Jr. og D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, vol. 9., River Street: John Wiley & Sons, 2015, pp. 118-139.



- [16] *CES EduPack (Version 19.2)*, 62 Clifton Road, Cambridge CB1 7EG: Granta Design Limited, 2019.
- [17] N. Tro, *Chemistry; A Molecular Approach*, Essex: Pearson Education Limited, 2017.
- [18] A. B. Strong, *Plastics Materials and Processing*, 3. red., Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc., 2006.
- [19] A. Rudin og P. Choi, *The Elements of Polymer Science & Engineering*, Amsterdam: Elsevier Inc., 2013, pp. 1-30.
- [20] L. W. McKeen, *The Effect of Creep and other Time Related Factors on Plastics and Elastomers*, Amsterdam: Elsevier Inc., 2015.
- [21] C. Vasile og M. Pascu, *Practical Guide to Polyethylene*, Shrewsbury: Rapra Technology Limited, 2005.
- [22] Semantic Scholar, «Ziegler-Natta Polymerization,» 2010.
- [23] C. Køhler, *Mailutveksling*, Abtsteinach: Morton Extrusionstechnik GmbH, 2020.
- [24] H. G. Karian, *Handbook of polypropylene and polypropylene composites*, Whitmore Lake, Michigan: Marcel Dekker, 2009, pp. 10-50.
- [25] C. B. Crawford og B. Quinn, *Microplastic Pollutants*, Amsterdam: Elsevier Science Inc., 2017, pp. 57-70.
- [26] A. S. Hoffmann, B. D. Ratner, F. J. Schoen og J. E. Lemons, *Biomaterials science*, Birmingham: Academic Press, 2013.
- [27] L. Hanson, *Stress-Strain-Curve*, Denver: All America Threaded Products, 2019.
- [28] J. Schultz, *Polymer Materials Science*, Prentice- Hall, 1974.
- [29] L. Ying, O. Stein, J. H. Campbell, L. Jiang, N. Petta og Y. Lu, «Three-dimensional printing and deformation behavior of low-density target structures by two-photon polymerization,» Researchgate, Lincoln, 2017.
- [30] M. Faheem, «A study of tensile and microhardness properties of m-LLDPE/LDPE blends,» King fahd University of petroleum and minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 2003.
- [31] R. Lakes, *Viscoelastic materials*, Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [32] A. Lamri, M. Shirinbayan, M. Periera, L. Truffault, J. Fitoussi, S. Lamouri, F. Bakir og A. Tcharkhtchi, *Effects of strain rate and temperature on the mechanical behavior of high-density polyethylene*, Paris: Journal Of Applied Polymer Science, 2019, pp. 7-9.
- [33] Thormod Henriksen; Tove Svendby, *Ozonlag: UV stråling og helse*, Oslo: Fysisk institutt, Universitet i Oslo, 1997.



- [34] Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet, «"Hva er UV-stråling?"», 14 Januar 2014. [Internett]. Available: <https://www.dsa.no/fakta/90114/hva-er-uv-straaling>. [Funnet 10 Mars 2020].
- [35] Ultraceuticals, «Do you know the difference between UV rays?», 30 Januar 2016. [Internett]. Available: <https://www.ultraceuticals.com/blog/skin-science/do-you-know-the-difference-between-uv-rays/>. [Funnet 01 Mars 2020].
- [36] J. Murphy, *Additives for Plastics Handbook*, Storbritannia: Elsevier Science Ltd., 2001.
- [37] A. C. Zuzarte og D. Kruger, *The effects of natural and artificial UV exposure on the physical properties of synthetic turf used for various sports fields*, Johannesburg: IOS Press, 2014.
- [38] G. Baschek, G. Hartwig og F. Zahradnik, *Effect of water absorption in polymers at low and high temperatures*, Erlangen: Elsevier, 1998, pp. 3433-3441.
- [39] R. O. Ebewele, *Polymer Science and Technology*, Benin City, Nigera: CRC Press, 2000.
- [40] D. Whisnant, *Polymer Chemistry: The Glass Transition*, Spartanburg, Sør-Carolina: Engineering LibreTexts, 2020.
- [41] T. Meland, *Plastmaterialer: Oppbygging, egenskaper og bearbeiding*, Oslo: Universitetsforlaget AS, 1988.
- [42] J. Vannes, *Plast: Materiallære*, Oslo: Yrkesopplæring ans. Oslo, 1999.
- [43] P. Sandkuehler, E. Torres og T. Allgeuer, *Performance artificial turf components - fibrillated tape*, Elsevier, 2010.
- [44] Neogress, *The importance of a strong backing in artificial grass*, Chelmsford, Essex: Neogress UK, 2018.
- [45] Labosport, *Investigation Into Whether Shockpads & Elastic Layers Aid The Longevity Of Football Turf Surfaces*, Derbyshire: Labosport International, 2013.
- [46] KG2021, *Kunstgressets historie*, Trondheim: GODE Idrettsanlegg, 2020.
- [47] FIFA, *Environmental Impact Study On Artificial Football Turf*, Zurich: Eunomia Research & Consulting Ltd, 2017.
- [48] S. Newbold, C. Griffiths, C. Moore, A. Wolverton og E. Kopits, *The "Social Cost of Carbon" Made Simple*, Washington: NCEE - National Center For Environmental Economics, 2010.
- [49] ScanTurf, «FDV instruks for kunstgress systemer», Kristiansand, 2019.
- [50] Norges Fotballforbund, *Vinterdrift av kunstgressbaner - i et miljø og helseperspektiv*, Oslo: Norges Fotballforbund, 2018.
- [51] Felleskjøpet, *Redemix base Rake*, Oslo: Felleskjøpet AS, 2018.
- [52] Parkmaskiner AS, *Hammer SP-295 & SP-355*, Nøtterøy: Hammer Products, 2018.

- [53] M. J. Neale, *Lubrication and Reliability Handbook*, Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [54] M. C. Tanzi, S. Farè og G. Candiani, *Foundations of Biomaterials Engineering*, Academic Press, 2019.
- [55] I. Hutching og P. Shipway, *Tribology - Friction and Wear of Engineering Materials*, Cambridge: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [56] UNLV Media Relations, *Study Finds Artificial Turf May be Too Hot for Summer Use*, Nevada: UNLV, 2008.
- [57] P. C. Hagen, *Innføring i sannsynlighetsregning og statistikk*, Oslo: Cappelen Akademisk Forlag, 2014.
- [58] E. T. Federighi, *Extended Tables of the Percentage Points of Student's t-Distribution*, 54 red., *Journal of the American Statistical Association*, 1959, pp. 683-688.
- [59] ASTM International, *D543 - Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents*, West Conshohocken: ASTM International, 2020.
- [60] G. S. Kell, «Density, Thermal Expansivity, and Compressibility of Liquid Water 0 to 150: Correlations and Tables for Atmospheric Pressure and Saturation Reviewed and Expressed on 1968 Temperature Scale,» *Journal of Chemical and Engineering Data*, Ottawa, 1975.
- [61] ASTM International, *D4329 - Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus Exposure of Plastics*, West Conshohocken: ASTM International, 2020.
- [62] ASTM International, *G154 - Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials*, West Conshohocken: ASTM International, 2020.
- [63] Zwick Roell, «teachXpert – The Testing Machine for Lecture Halls,» [Internett]. Available: <https://www.zwickroell.com/en/universal-testing-machines/teachxpert>. [Funnet 01 04 2020].
- [64] G. Cometti, N. A. Maffiuletti, M. Pousson, J. C. Chatard og N. Maffulli, *Isokinetic Strength and Anaerobic Power of Elite, Subelite and Amateur French Soccer Players*, Saint-Etienne: *International Journal of Sports Medicine*, 2000.
- [65] Unisport, *Drift og vedlikehold av kunstgress - Tarkett Prestige XM Evolution*, Lier: Unisport Scandinavia AS, 2008.
- [66] Kulturdepartementet, «Krav til egenskaper for kunstgress for fotball,» Oktober 2019. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/contentassets/2db68158cc544b7588a0565b86ff8e62/kunstgress-fotball.pdf>. [Funnet 23 Mars 2020].
- [67] D. E. Heath og S. L. Cooper, «Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine,» Columbus, Academic Press, 2013, pp. 64-79.

## Vedlegg

Vedlegg A:	<b>FDV-instruks for PureField Ultra HD fra ScanTurf</b>	i
Vedlegg B:	<b>Datablad for PureField Ultra HD</b>	vii
Vedlegg C:	<b>Kraft-tøyningskurver for ueksponert fiber (REF) og salteksponerte fiber ved 4 °C, 22 °C og 70 °C (SALT4, SALT22 og SALT70)</b>	viii
Vedlegg D:	<b>Utrekning av empirisk standardavvik for strekktesting</b>	xii
Vedlegg E:	<b>Utrekning av standardavvik og konfidensintervall for strekktesting</b>	xiii
Vedlegg F:	<b>Students' t-fordeling tabell</b>	xiv
Vedlegg G:	<b>Populærvitenskapelig artikkel</b>	xv
Vedlegg H:	<b>Risikovurdering</b>	xvii

## Vedlegg A

### FDV-instruks for PureField Ultra HD fra ScanTurf



## FDV instruks for kunstgress systemer!

*Utviklet av ScanTurf AS i samarbeid med FieldTurf*

I denne FDV instruksjonen beskrives det vedlikeholdet som anbefales utført på kunstgressbaner levert av ScanTurf AS. FDV instruksjonen er utviklet som en veileder for at våre kunder til enhver tid skal ha de beste forutsetninger for å gjøre et riktig vedlikehold for på best måte ta vare på kunstgress-systemet levert av ScanTurf AS. FDV instruksjonen er også utviklet for at kunden ved å følge denne instruksjonen skal opprettholde de produkt og funksjonsgarantier som er levert av ScanTurf AS i samarbeid med produsenten av kunstgresset, FieldTurf Tarkett!

### **Generelt om vedlikehold av Kunstgress.**

Vedlikehold av kunstgresset er meget viktig for å opprettholde kunstgressets spilleregenskaper og for å minimere slitasjen som kommer med mye bruk. En kunstgressbane som blir tatt godt vare på vil som oftest ha lengre levetid enn en bane som ikke blir tatt vare på. Mengde vedlikehold som bør utføres på en kunstgressbane avhenger av hvor mange brukstimer en bane har. Et kunstgress som ikke blir tatt godt vare på vil etter kort tid kunne endre sine egenskaper. Det er derfor viktig at man ukentlig utfører vedlikehold som er tilpasset antall brukstimer.

### **Børsting, harving og de-komprimering!**

Ukentlig børsting, de-komprimering og harving av kunstgresset er viktig for å opprettholde en funksjonell kunstgressflate. Børsting og harving er viktig for å få løftet opp det gresset som er blitt tråkket ned under spill og bruk. Dersom ikke børsting og harving utføres jevnlig vil man kunne oppleve at gresset legger seg, noe som fører til økt tempo og lengde på ballrullen. I tillegg vil slitasjemomentet bli betydelig større dersom strået blir liggende flatt. Børsting av kunstgresset skal utføres ved at man kjører i en overlappende spiralformasjon slik at man hele tiden forflytter seg og ikke blir kjørende i samme spor. Det er viktig at dette gjøres både på langs og på tvers av banen.

Harving anbefales utført hver andre uke. Denne øvelsen anbefales utført på tvers av banen. Harven skal justeres slik at det nederste del av harvepinnene er i kontakt med øverste del av sanden i banen. Viktig at harving utføres av kyndig personell. Formålet med harving er å løfte de teksturerede stråene som sitter lengre nede i kunstgresset.

De-komprimering av sanden er viktig da sanden grunnet dens egenvekt har lett for å komprimere seg i bunnen av gresset. Støv og annet biologisk nedfall vil kunne føre til videre binding av sanden, som igjen vil føre til en hardere spillopplevelse, spesielt under kalde temperaturer. Dekomprimering anbefales utført med en HB 240 maskin (se bilde under) Denne øvelsen anbefales utført på samme måte som børsting, altså ved kjøring i overlappende spiralformasjon.

#### Topp-rens og søppelrydding hver andre uke!

Topp-rens og søppelrydding er viktig for å forhindre nedbrytning av biologisk avfall som løvblader og barnåler med mer. Det er også viktig å fjerne all form for søppel både på og utenfor banelegemet. Tyggegummi, sportstape og liknende vil over tid kunne feste seg til kunstgresset og forringe kunstgressets funksjonsegenskaper.

#### Årlig dyp-rens av kunstgresset!

Dyp-rens av kunstgresset er viktig for å fjerne alt av biologisk avfall, småstein og div fremmed gjenstander som har lagt seg i gresset i løpet av sesongen. En dyp-rens skal i all hovedsak utføres 1 til 2 ganger i året (vår og høst) Dyp-rens utføres av fagpersonell med spesialmaskiner.

#### **Viktige faktorer ved et godt vedlikehold.**

1. Kunnskap om mengde brukstimer på banen ilt sesongen og året
  2. Hvem og hvordan banen brukes til kamper og trening, 11-er, 9-er og 7-er bruk
  3. Vedlikeholdsplan tilpasset bruken av banen
  4. Loggføring av utført vedlikehold
  5. Vedlikeholds utstyr tilpasset til kunstgress systemet
  6. Systematisk vedlikehold
  7. Vinterdrift.
- 
1. Det er viktig at de vedlikeholds ansvarlige av banen har en god oversikt over hvor mange brukstimer det er på kunstgressbanen i de forskjellige årstidene. Antall brukstimer og bruksmåte regulerer både behovet for hvilken mengde og hvilken type vedlikehold som til enhver tid bør utføres.
  2. Det er stor forskjell fra bane til bane for hvordan banen blir brukt til trening og kamper. Det er derfor viktig at vedlikeholds ansvarlige vet hvilke områder av banen som får størst belastning.
  3. Vedlikeholds ansvarlig av banen bør i tillegg til det systematiske vedlikeholdet utføre områdebasert og tilpasset vedlikehold av banen basert på belastning/brukstimer i det enkelte området.
  4. Det er viktig at alt vedlikehold loggføres. Det bør loggføres tidsbruk og hvilken type vedlikehold som blir utført ukentlig, kvartalsvis og årlig.
  5. Det er viktig at den eller de som utfører vedlikeholdet har fått god opplæring i maskiner og det utstyr som benyttes under vedlikeholdet. Den som utfører vedlikeholdet må løpende kunne vurdere hvilken type vedlikehold banen trenger.
  6. Det er viktig å ha et systematisk og variert vedlikehold av kunstgresset, dette for å ivareta hele kunstgressflaten, samt kontinuiteten i vedlikeholdet. ScanTurf anbefaler derfor at vedlikeholdet av kunstgresset utføres etter anbefalt systematisk oppsett. (se under) Vedlikeholds ansvarlig bør like fullt tilpasse vedlikeholdet etter skjønn beskrevet i punkt 3.

7. Vinterdrift på kunstgresset. Det er viktig at den/de som utfører brøyting og/eller fresing av snø på kunstgresset er maskinelt faglig kompetente, samt at de forholder seg til følgende viktige momenter:
- Det skal kun benyttes maskiner og brøyteskjær som er egnet til formålet og som har påmonterte hjul slik at det ikke er fare for fysisk kontakt som kan skade kunstgresset.
  - Totalt marktrykk på traktor/brøytemaskinen skal ikke overstige 10 tonn. Marktrykket pr cm<sup>2</sup> bør ikke overstige 3,3 kg. Sjekk derfor at dekkene på maskinen som benyttes er tilpasset formålet ved at de har så stor kontaktflate som mulig med kunstgresset.
  - Kjettinger er ikke tillatt på maskiner som vedlikeholder kunstgresset.
  - Store mengder med snø skal i all hovedsak fjernes med snøfreser. Dersom man benytter et brøyteskjær til dette er man i fare for å skyve/strekke på kunstgresset med de følgeskader dette medfører. ScanTurf anbefaler derfor at man benytter en snøfreser med hjul under til fjerning av store snømengder. Optimalt bør det ligge tilbake ca 5 cm med snø tilbake på kunstgresset. Med denne metoden reduserer man muligheten for mekanisk skade av kunstgresset. De siste 5 cm med snø kan fjernes med spesialskjær med påmonterte hjul og Plast/gummi-skinne, eller ved bruk av miljøvennlige produkter som smelter snøen.

Dersom man velger å smelte bort snøen kan ScanTurf kontaktes for anbefalte produkter.

### **Anbefalt intervaller for vedlikehold av Kunstgress systemer!**

*Vedlikeholdsplan pr uke/kvartal/år. Byggherre heretter kalt BH*

<b>Månedspan</b>	Uke 1	Uke 2	Uke3	Uke 4	Kvartalsvis	Årlig	Ansvarlig
Slodding/børsting med roterende børster	x	x	x	x			BH
Topp-rens/Søppelrydding	x	x	x	x			BH
Harving/De-komprimering	x		x				BH
Kontroll av lim-skjøter					x		BH
Dyp-rens av kunstgresset						x	BH
Logg for utført vedlikehold sendt til <a href="mailto:sport@scanturf.no">sport@scanturf.no</a>					X		BH

### **Loggføring av vedlikehold:**

<b>Uke 1</b>	Utført av	Maskin	Timer	Kommentar
Slodding/børsting og søppelrydding				
Harving og Dekomprimering				

<b>Uke 2</b>	Utført av	Maskin	Timer	Kommentar
Slodding/børsting og søppelrydding				
De-komprimering				

Uke 3	Utført av	Maskin	Timer	Kommentar
Slodding/børsting og søppelrydding				
Harving og Dekomprimering				

Uke 4	Utført av	Maskin	Timer	Kommentar
Slodding/børsting og søppelrydding				
De-komprimering				

Kvartalsvis/Årlig	Utført av	Maskin	Timer	Kommentar
Kvartalsvis kontroll av Limskjøter				
Årlig dyp-rens				

### **Anbefalte maskiner og vedlikeholds-redskaper**

ScanTurf anbefaler alltid bruk av lettest mulig maskiner til vedlikehold av våre kunstgressbaner. Dette for å unngå skader på kunstgresset og grunnen.

#### Slodding/børsting:

ScanTurf anbefaler HB 240 eller lignende til ukentlig vedlikehold av det granulutfrie kunstgresset. HB 240 leveres med 3-punkts feste og kjøres med tilpasset minitraktor.



Bilde 1: HB 240 og traktor



### Topp-rens/søppelrydding:

ScanTurf anbefaler bruk av RBK 1500 eller lignende til topp-rens og søppelrydding. RBK 1500 trekkes etter minitraktor eller 4-hjuling.



**Bilde 2: RBK 1500, Topp-rens/søppelplukking**

### De-komprimering

ScanTurf anbefaler bruk av HB 240 eller lignende til de-komprimering av sandfyll i kunstgresset. Utføres av kyndig personell!



**Bilde 3: HB 240, De-komprimering av sand.**

### Dyprens av kunstgresset:

ScanTurf anbefaler SMG's TK 1502 eller liknende til dyp-rens av kunstgresset. Dyp-rens av kunstgresset skal utføres av fagpersonell. Maskin og utstyr skal avtales med ScanTurf før dyprens utføres.



**Figur 4: SMG Turf King, Dyp-rens.**





### Produkt og funksjons Garantier!

Kunstgressbaner levert av ScanTurf AS er levert med en funksjonsgaranti på 5 år. I dette garanteres det at alt av løse lim-skjøter og andre installasjonstekniske feil som skulle bli avdekket vil bli utbedret kostnadsfritt av ScanTurf AS innen en 5 års periode. Dersom avvik i garantiperioden skulle kunne relateres til direkte uvettig bruk eller manglende vedlikehold vil dette ikke dekkes av funksjonsgarantien.

Produsent av kunstgresset stiller en produktgaranti på 10 år. For mer informasjon vedr produktgarantien og dens innhold kan dette fås ved å kontakte ScanTurf AS.

Logg av utført vedlikehold bes oversendt hvert kvartal til vår epost adresse:  
**sport@scanturf.no**

ScanTurf AS hjelper gjerne med alle spørsmål knyttet til service og vedlikehold av kunstgresset.



Tlf +47 40282222

Email [sport@scanturf.no](mailto:sport@scanturf.no)

Web [scanturf.no](http://scanturf.no)

Vedlegg B  
Datablad for PureField Ultra HD

## PUREFIELD ULTRA HD

TURF			
PILE HEIGHT	30	mm	± 5%
STITCHES	17	/10cm	± 10%
PILE WEIGHT	2 526	g/m <sup>2</sup>	± 10%
TUFTS	35 696	/m <sup>2</sup>	± 10%
FILAMENTS	356 955	/m <sup>2</sup>	± 10%
GAUGE	3/16		
TUFTING	straight		
FIELD COLOUR	field green, olive green		
LINE COLOURS	white, yellow, blue, red clay		
FIBER			
	YARN A	YARN B	
MATERIAL	polyethylene	polyethylene	
FIBER TYPE	slit film	texturized monofilament	
DTEX	12000	8000	
PROFILE	tape	triangle	
WIDTH	11	1	mm
THICKNESS	130	250	μ ± 10%
FILAMENTS	1	4	
BACKING			
PRIMARY	polypropylene & glass fiber		
STYLE	woven		
WEIGHT	305	g/m <sup>2</sup>	± 10%
COATING	butadiene styrene		
WEIGHT	1100	g/m <sup>2</sup>	± 10%
BACKING WEIGHT	1 405	g/m <sup>2</sup>	± 10%
SYSTEM			
TOTAL WEIGHT	3 931	g/m <sup>2</sup>	± 10%
SYSTEM CARE			

Please refer to our dedicated installation and maintenance guides to ensure your field remains in optimum condition.

In order to maintain our surfaces to the highest standards with the most up-to-date technical information, we reserve the right to modify the product data.

We advise that the technical values regarding yarn thickness and dtex, as well as the weight, are approximate values and could vary ± 10 %.

## Vedlegg C

Kraft-tøyningskurver for uekspontert fiber (REF) og saltexponerte fiber ved 4 °C, 22 °C og 70 °C (SALT4, SALT22 og SALT70)













03.03.20

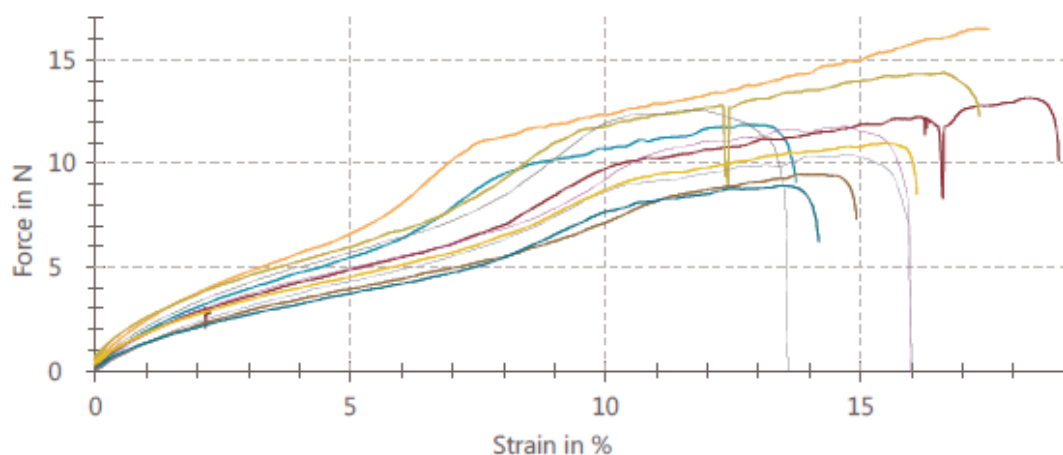
### Strekktest REF

Heading : Strekktest REF  
 Tester : Audun og Casper  
 Machine data : Zwicki test machine 2.5 kN  
 Test speed : 6 mm/min

#### Test results:

Legend	No.	Date	Specimen name	R <sub>m</sub> N	A <sub>gt</sub> %	R <sub>b</sub> N	A <sub>t</sub> %	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
	49	25.02.2020	REF.1	16,5	17,3	16,4	17,5	0,13	1,3
	50	25.02.2020	REF.2	11,8	12,7	9,07	13,7	0,13	1,3
	52	28.02.2020	REF.3	13,1	18,3	10,1	18,9	0,13	1,3
	55	28.02.2020	REF.4	14,4	16,6	12,3	17,3	0,13	1,3
	56	28.02.2020	REF.5	11,8	14,7	-	-	0,13	1,3
	57	28.02.2020	REF.6	9,45	14,0	7,31	14,9	0,13	1,3
	58	28.02.2020	REF.7	10,4	14,8	-	-	0,13	1,3
	59	28.02.2020	REF.8	8,91	13,4	6,22	14,2	0,13	1,3
	60	28.02.2020	REF.9	12,6	11,5	-	-	0,13	1,3
	61	28.02.2020	REF.10	11,0	15,5	8,51	16,1	0,13	1,3











#### Series graph:



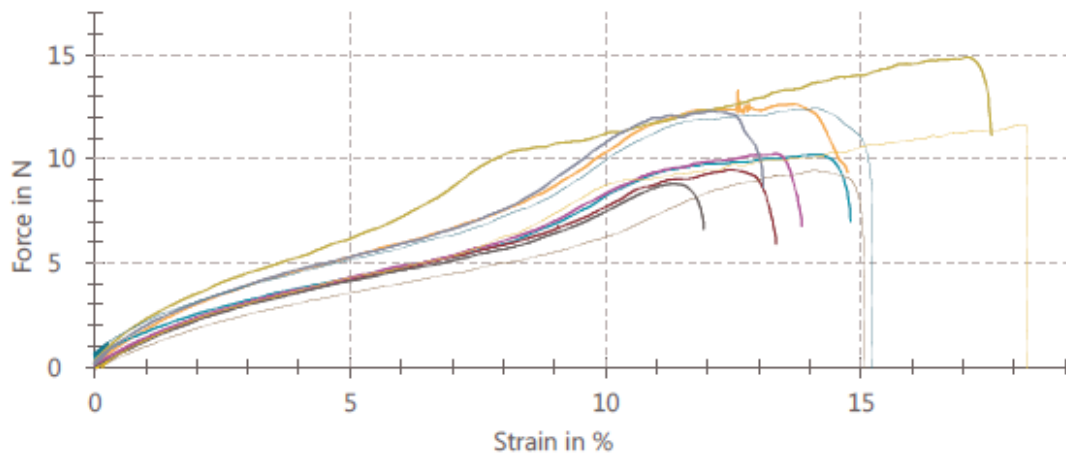
## Strekktest SALT4

Heading : Strekktest SALT4  
 Tester : Audun og Casper  
 Machine data : Zwicki test machine 2.5 kN  
 Test speed : 6 mm/min

### Test results:

Legend	No.	Date	Specimen name	R <sub>m</sub> N	A <sub>gt</sub> %	R <sub>B</sub> N	A <sub>t</sub> %	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
	1	28.02.2020	SALT4.1	13,3	12,6	9,35	14,7	0,13	1,3
	2	28.02.2020	SALT4.2	10,2	14,1	6,97	14,8	0,13	1,3
	4	28.02.2020	SALT4.3	9,46	12,4	5,88	13,3	0,13	1,3
	6	28.02.2020	SALT4.4	14,9	17,1	11,1	17,6	0,13	1,3
	8	28.02.2020	SALT4.5	10,2	13,3	6,77	13,8	0,13	1,3
	10	28.02.2020	SALT4.6	9,44	14,1	-0,217	16,1	0,13	1,3
	11	28.02.2020	SALT4.7	12,3	12,0	8,62	13,1	0,13	1,3
	12	28.02.2020	SALT4.8	12,4	14,1	-0,660	15,8	0,13	1,3
	13	28.02.2020	SALT4.9	8,80	11,3	6,63	11,9	0,13	1,3
	14	28.02.2020	SALT4.10	11,6	18,1	-0,618	18,9	0,13	1,3











### Series graph:



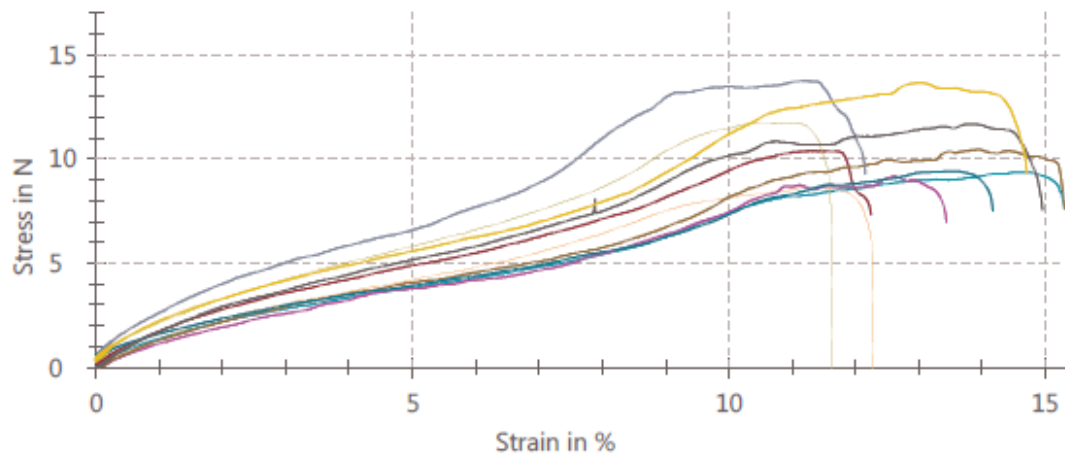
## Strekktest SALT22

Heading : Strekktest SALT22  
 Tester : Audun og Casper  
 Machine data : Zwicki test machine 2.5 kN  
 Test speed : 6 mm/min

### Test results:

Legend	No.	Date	Specimen name	R <sub>m</sub> N	A <sub>gt</sub> %	R <sub>b</sub> N	A <sub>t</sub> %	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
	1	03.03.2020	SALT22.1	8,67	11,3	-	-	0,13	1,3
	2	03.03.2020	SALT22.2	9,35	14,6	7,56	15,3	0,13	1,3
	3	03.03.2020	SALT22.3	10,4	11,3	7,31	12,3	0,13	1,3
	5	03.03.2020	SALT22.4	11,7	10,9	-	-	0,13	1,3
	6	03.03.2020	SALT22.5	9,17	12,6	6,95	13,4	0,13	1,3
	7	03.03.2020	SALT22.6	10,4	14,0	7,60	15,3	0,13	1,3
	10	03.03.2020	SALT22.7	13,8	11,2	9,27	12,2	0,13	1,3
	14	03.03.2020	SALT22.8	9,41	13,6	7,50	14,2	0,13	1,3
	15	03.03.2020	SALT22.9	11,7	13,8	7,52	15,0	0,13	1,3
	17	03.03.2020	SALT22.10	13,7	13,0	9,35	14,7	0,13	1,3











### Series graph:



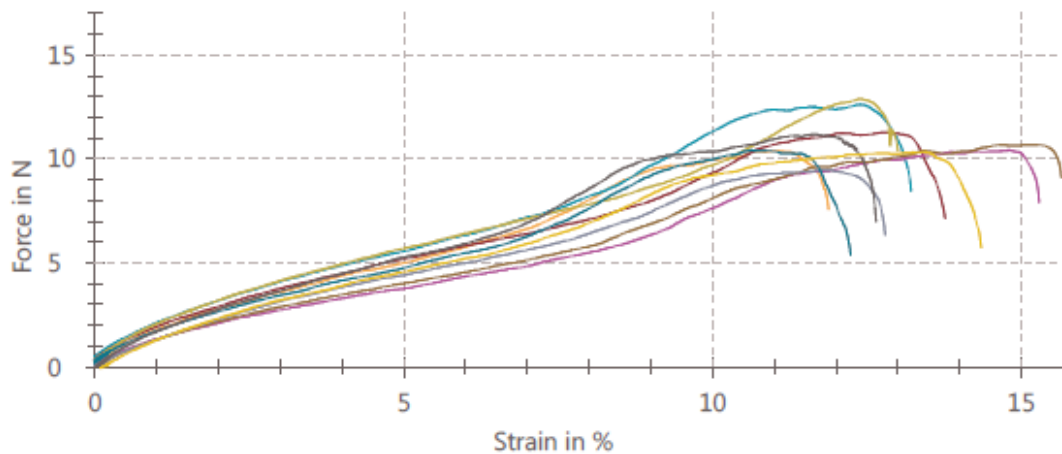
## Strekktest SALT70

Heading : Strekktest SALT70  
 Tester : Audun og Casper  
 Machine data : Zwicki test machine 2.5 kN  
 Test speed : 6 mm/min

### Test results:

Legend	No.	Date	Specimen name	R <sub>m</sub> N	A <sub>gt</sub> %	R <sub>b</sub> N	A <sub>t</sub> %	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
	1	28.02.2020	SALT70.1	10,4	11,0	7,57	11,9	0,13	1,3
	2	28.02.2020	SALT70.2	12,6	12,4	8,47	13,2	0,13	1,3
	3	28.02.2020	SALT70.3	11,3	12,8	7,15	13,8	0,13	1,3
	4	28.02.2020	SALT70.4	12,9	12,4	10,4	13,0	0,13	1,3
	5	28.02.2020	SALT70.5	10,4	14,8	7,90	15,3	0,13	1,3
	6	28.02.2020	SALT70.6	10,7	14,7	9,08	15,7	0,13	1,3
	7	28.02.2020	SALT70.7	9,46	11,8	6,35	12,8	0,13	1,3
	8	28.02.2020	SALT70.8	10,4	10,7	5,36	12,2	0,13	1,3
	9	28.02.2020	SALT70.9	11,2	11,6	6,97	12,7	0,13	1,3
	10	28.02.2020	SALT70.10	10,3	13,4	5,74	14,3	0,13	1,3

### Series graph:



## Vedlegg D

### Utrekning av empirisk standardavvik for strekktesting

Standardavvik for strekkfasthet og tøyning ble beregnet fra Ligning (5) og er basert på datagrunnlag fra 10 paralleller.

Eksempel på utregning av standardavvik for *strekkfasthet* for uekspontert fiber REF.F:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{10-1} ((X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \dots + (X_{10} - \bar{X})^2) =$$

$S =$

$$\sqrt{\frac{1}{9} ((97,03 - 70,54)^2 + (69,68 - 70,54)^2 + (77,34 - 70,54)^2 + \dots + (64,50 - 70,54)^2)} = \mathbf{13,45 MPa}$$

Eksempel på utregning av standardavvik for *tøyning* for uekspontert fiber REF.F:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{10-1} ((X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \dots + (X_{10} - \bar{X})^2) =$$

$S$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} ((17,52 - 15,83)^2 + (13,73 - 15,83)^2 + (18,89 - 15,83)^2 + \dots + (16,11 - 15,83)^2)} = \mathbf{1,75 \%}$$

Tabell V1 viser verdier for gjennomsnitt og empirisk standardavvik for strekkfasthet og tøyning på uekspontert serie REF.F.

Tabell V1: Beregnet gjennomsnittsverdi og empirisk standardavvik for strekkfasthet og tøyning på uekspontert serie REF.F.

Prøve	Strekkfasthet, $\sigma_{TS}$ [MPa]	Tøyning, $\epsilon$ [%]	S, $\sigma_{TS}$ [MPa]	S, $\epsilon$ [%]
REF.1	97,03	17,52		
REF.2	69,68	13,73		
REF.3	77,34	18,89		
REF.4	84,45	17,33		
REF.5	69,18	16,01		
REF.6	55,61	14,92		
REF.7	61,31	16,03		
REF.8	52,42	14,18		
REF.9	73,85	13,60		
REF.10	64,50	16,11		
$\bar{X}$	<b>70,54</b>	<b>15,83</b>	<b>13,45</b>	<b>1,75</b>

## Vedlegg E

### Utrekning av standardavvik og konfidensintervall for strekktesting

95 %-Konfidensintervall for strekkfasthet og tøyning ble beregnet fra Ligning (4), der verdi for empirisk standardavvik og gjennomsnittsverdi er hentet fra Vedlegg F og vist i Tabell V2.

Tabell V2: Gjennomsnittsverdier og empirisk standardavvik for strekkfasthet og tøyning på uekspontert serie REF.F.

	$\sigma_{TS}$ [MPa]	$\epsilon$ [%]
$\bar{X}$	70,54	15,83
$S$	13,45	1,75

Verdi for «t» ble avlest fra Vedlegg G ved bruk av tosidig test med  $\alpha = 0,05$  og  $n = 10$ . Avlest verdi for  $t_{\alpha/2, n-1} = t_{0,025, 9}$  gav  $t = 2,26$ .

Eksempel på utregning av konfidensintervall for *strekkfasthet* for uekspontert fiber REF.F:

$$\bar{X} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$70,54 \text{ MPa} \pm 2,26 \cdot \frac{13,45}{\sqrt{9}} = \mathbf{70,54 \pm 10,13 \text{ MPa}}$$

Eksempel på utregning av konfidensintervall for *tøyning* for uekspontert fiber REF.F:

$$\bar{X} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$15,83 \% \pm 2,26 \cdot \frac{1,75}{\sqrt{9}} = \mathbf{15,83 \pm 1,32 \text{ MPa}}$$

Tabell V3 viser maksimum- og minimumsverdier samt standardavvik og konfidensintervall for uekspontert serie REF.F.

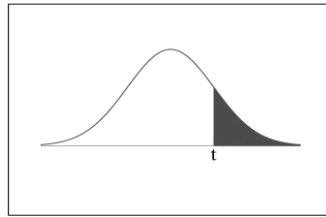
Tabell V3: Beregnet maksimum- og minimumsverdier for strekkfasthet og tøyning for uekspontert serie REF.F.

	Strekkfasthet, $\sigma_{TS}$ [MPa]	Tøyning, $\epsilon$ [%]
$\bar{X}$	70,54	15,83
<b>Maks</b>	80,67	17,15
<b>Min</b>	60,41	14,52
<b>Standardavvik, <math>\sigma</math></b>	10,13	1,32
<b>Konfidensintervall</b>	[60,41 , 80,67]	[14,52 , 17,15]



Vedlegg F  
Students' t-fordeling tabell

### t-Distribution Table



The shaded area is equal to  $\alpha$  for  $t = t_{\alpha}$ .

<i>df</i>	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$
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	2.571	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
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
32	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738
34	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728
36	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719
38	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712
$\infty$	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Vedlegg G  
Populærvitenskapelig artikkel

## Redusert levetid eller vinterstengte kunstgressbaner?

Audun Olsen Misund og Casper Pilskog Orvik

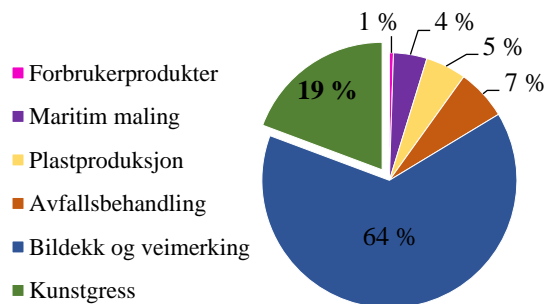
Institutt for materialteknologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim

Kunstgressbaner har blitt vanlig å bruke i sportssammenheng spesielt i land hvor snø og sterk vind kan skape problem for vedlikehold og drift av baner med naturgress. Den mest utbredte kunstgressstypen er tredje generasjons kunstgressbaner (3G-baner) som består av komponenter med ulike egenskaper som skal støtte opp gresset og hindre skader på brukere.



3G-bane med gummigranulat (egenskapsifyll) [1]. Foto: Thomas Brække Sæteren

Egenskapsifyll (ifyll) brukt i 3G-baner er laget av styren-butadien gummi (SBR) hentet fra oppmalte bildekk. Bruk av SBR til ifyll gir utfordringer som utslipp av mikroplast og utlekking av miljøgifter [2]. For å unngå dette blir derfor syntetiske og organiske alternativer til bruk som ifyll undersøkt, i tillegg til utprøving av baner med større andel gressfiber, uten ifyll. Disse konseptene kalles fjerde generasjons kunstgressbaner (4G-baner). Utfordringer ved å erstatte SBR ligger blant annet i å bevare spilleegenskaper som ballsprett og tilstrekkelig støtdemping [3].



Kilder til utslipp av mikroplast i Norge på ett år [4].

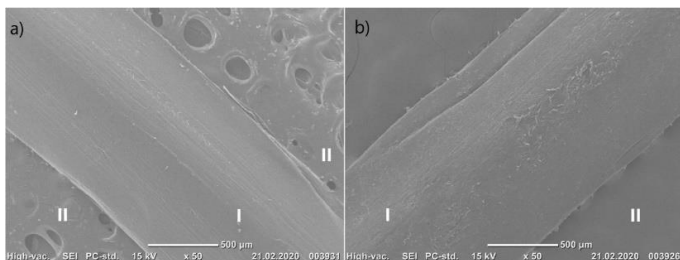
I løpet av levetiden til en kunstgressbane vil komponentene bli utsatt for kjemisk- og mekanisk degradering som følge av værpåvirkninger, bruk og vedlikehold. For 4G-baner uten ifyll vil gressfiber være spesielt utsatt. Egenskaper som bestandighet mot UV-stråling og motstand mot mekanisk slitasje vil derfor være sentralt. I tillegg vil bruk av natriumklorid (NaCl) eller natriumacetat ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) til snøsmelting under vinterdrift kunne føre til kjemisk nedbrytning av både fiber og backing [5].



Fiber og backing fra 4G-bane uten ifyll

Hensikten med arbeidet var å kartlegge effekten av vinterdrift på fiber av lineær lav-tetthet polyetylen (LLDPE) og backing av polypropylen (PP). Banen undersøkt var en 4G-bane uten ifyll. Fiber og backing ble eksponert i saltløsning i en uke ved 4 °C, 22 °C og 70 °C. Makroskopiske observasjoner og karakterisering av overflatestruktur ble gjort på fiber og backing før og etter eksponering. Effekt av salteksponering på fiberens mekaniske egenskaper ble også undersøkt, der endring i strekkfasthet og tøyning ble målt ved strekktesting.

Ingen endring i strekkfasthet som følge av salteksponering ble påvist. Økt eksponeringstemperatur førte derimot til mindre spredning i verdier ved sammenligning av standardavvik for strekkfasthet. Samme trend kunne ikke observeres for tøyning. Avtagende gjennomsnittsverdi for tøyning ved økt eksponeringstemperatur kunne derimot sees. En tydelig effekt av salteksponering kunne fra dette ikke registreres, grunnet ingen/små endringer i strekkfasthet og tøyning. Salteksponering ved alle temperaturer hadde også tilsynelatende liten påvirkning på fiber og backing ved karakterisering av overflatestruktur i SEM. Karakteristiske striper kunne observeres både før og etter eksponering.



Eksempel på hvordan overflatestruktur på kunstgressfiber endres i løpet av 12 år der a) fiber hentet fra et ubrukt område og b) fiber hentet fra et brukt/slitt område på en 3G-kunstgressbane



En vinterdriftet kunstgressbane vil oppleve større degradering som følge av hyppigere bruk og vedlikehold. Dette forekommer fra mekanisk og kjemisk fjerning av snø og is, i kombinasjon med temperaturforandringer og mekanisk slitasje fra økt antall brukstimer. Degradering vil føre til redusert levetid som følge av endring i komponentenes mekaniske egenskaper ved lave temperaturer. Fiber og backing vil da bli stivere og ha redusert tøyning, og fører til ugunstige spilleegenskaper som økt ballsprett og ballrulle samt redusert støtdemping. Salting, bruk av undervarme og anbefalt utstyr fra FDV-instruks er sentralt for å opprettholde spilleegenskaper i vintersesongen. Så da gjenstår spørsmålet: Et det ønskelig å redusere levetiden til kunstgresset kun for at banen skal kunne brukes på vinteren?

## Referanser

- [1] E.O.Lysne, *Aktivitetsplan 2020*, Oslo: Norges Fotballforbund, 2020.
- [2] European Chemicals Agency, «ECHA proposes to restrict intentionally added microplastics,» 19 Mars 2019. [Internett]. Available: <https://echa.europa.eu/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>. [Funnet 09 Februar 2020].
- [3] B. Bauer, K. Egebæk og A. K. Aare, *Environmentally friendly substitute products for rubber granulates as infill for artificial turf fields*, Veksø: PlanMiljø, 2017.
- [4] B. Aas, *KG2021 Et prosjekt om kunstgressflater*, Trondheim: Senter for Idrettsanlegg og Teknologi, 2018, p. 4.
- [5] Kulturdepartementet, «Veileder: Kunstgressboka,» 05 2015. [Internett]. Available: [https://www.regjeringen.no/contentassets/99ad796eeffe4a688d9fb93f2c22ed83/v-0975b-veileder\\_kunstgress\\_2015.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/99ad796eeffe4a688d9fb93f2c22ed83/v-0975b-veileder_kunstgress_2015.pdf). [Funnet 20 02 2020].

# Vedlegg H

## Risikovurdering

NTNU	<b>Kartlegging av risikofylt aktivitet</b>	Utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2601	22.03.2011	
HMS		Godkjent av	Side	Erstatter	
		Rektor		01.12.2006	

**Enhet:** Institutt for Materialteknologi (IMA) **Dato:** 17.01.2020

**Linjeleder:** Tor Grande

**Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon):** Kjersti Kleveland, Audun Olsen Misund, Casper Pilskog Orvik og Siri Marie Bø  
*(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)*

**Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess:** Salt- og UV-eksponering, karakterisering i SEM og strekktesting

**Er oppgaven er rent teoretisk? (JA/NEI)** Nei

*"JA" betyr at veileder innestår for at oppgaven ikke inneholder noen aktiviteter som krever risikovurdering. I dette tilfellet er det ikke nødvendig å fylle ut resten av skjemaet*



**Skal du motta prøver fra industri? (JA/NEI)** Ja

*"JA" betyr separat risikovurdering av prøvene individuelt*

**Er det trygt å utføre arbeidet utenfor normal arbeidstid (8-17)? (JA/NEI)** Ja

**Signaturer:** *Ansvarlig veileder:* Kjersti Kleveland, Siri Marie Bø *Student:* Audun Olsen Misund, Casper Pilskog Orvik

ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansvarlig	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	Lov, forskrift o.l.	Kommentar
1	Prøvepreparering for SEM (PVD -gold sputtering)	Audun og Casper		PPE	i/t	Vernebriller, hansker, labfrakk
2	Preparere saltløsninger av ulike konsentrasjoner - Blande bordsalt (NaCl) og destillert vann	Audun og Casper		PPE	i/t	Vernebriller, hansker, labfrakk
3	SEM-bilder av backing og fiber	Audun og Casper		Opplæring og brukermanual	i/t	Unngå øyekontakt med laserstrålen
4	Strektesting av fiber	Audun og Casper		Opplæring og brukermanual	i/t	Unngå klemmeskader ved innsetting av prøver Vernebriller
5	UV-eksponering av fiber	Audun og Casper		Opplæring og brukermanual	i/t	Vernebriller, hansker, labfrakk

NTNU	<h1>Risikovurdering</h1>	Utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2603	04.02.2011	
HMS /KS		Godkjent av	Side	Erstatter	
		Rektor		09.02.2010	

**Enhet:** Institutt for Materialteknologi (IMA) **Dato:** 17.01.2020

**Linjeleder:** Tor Grande

**Deltakere ved risikovurderingen (m/ funksjon):** Kjersti Kleveland, Audun Olsen Misund, Casper Pilskog Orvik og Siri Marie Bø  
*(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)*

**Risikovurderingen gjelder hovedaktivitet:** Salt- og UV-eksponering, karakterisering i SEM og strekktesting

**Signaturer:** Ansvarlig veileder: Kjersti Kleveland, Siri Marie Bø Student: Audun Olsen Misund, Casper Pilskog Orvik

ID nr.	Aktivitet/prosess fra kartleggingsskjemaet	Mulig uønsket hendelse	Vurdering av sannsynlighet (1-5)	Vurdering av konsekvens				Risiko-verdi (menneske)	Kommentarer/ status Forslag til tiltak
				Menneske (A-E)	Ytre miljø (A-E)	Øk./ materiell (A-E)	Om-dømme (A-E)		
1	Prøvepreparering for SEM (PVD -gold sputtering)	Sterk stråling kan gi øyeskader (under gjennomføring av plasma/sputtering)	2	D				D2	Riktig øyevern og PPE. Unngå direkte blikkkontakt.
2	Preparere saltløsninger av ulike konsentrasjoner - Blande bordsalt (NaCl) og destillert vann	Søling av saltløsning	3	A				A3	Engangshansker og riktig arbeidsstilling
2		Saltløsning på hud	2	A				A2	Engangshansker som beskytter
3	SEM-bilder av backing og fiber	Klemming av fingre ved lukking av prøvekammer	1	A				A1	Vær nøye ved innsetting og lese brukermanualen
4	Strekktesting av fiber	Klemming av fingre ved innsetting av prøve til testing	2	A				A2	Vær nøye ved innsetting og lese brukermanualen
5	UV-eksponering	Brannskade ved berøring av varme prøvestykker	1	A				A1	Vente til prøver er avkjølt

Risikoverdi = Sannsynlighet (1, 2 ...) x konsekvens (A, B ...). Risikoverdi A1 betyr svært liten risiko. Risikoverdi E5 betyr svært stor og svært alvorlig risiko.

Sannsynlighet		Konsekvens					
Verdi	Kriterier	Gradering		Menneske	Ytre miljø: Vann, jord og luft	Øk/materiell	Omdømme
1	Svært liten: 1 gang pr 50 år eller sjeldnere	E	Svært alvorlig	Død	Svært langvarig og ikke reversibel skade	Drifts- eller aktivitetsstans > 1 år.	Troverdighet og respekt betydelig og varig svekket
2	Liten: 1 gang pr 10 år eller sjeldnere	D	Alvorlig	Alvorlig personskade. Mulig uførhet	Langvarig skade. Lang restitusjonstid	Driftsstans > ½ år, aktivitetsstans opptil 1 år	Troverdighet og respekt betydelig svekket
3	Middels: 1 gang pr år eller sjeldnere	C	Moderat	Alvorlig personskade.	Mindre skade og lang restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 mnd	Troverdighet og respekt svekket
4	Stor: 1 gang pr måned eller sjeldnere	B	Liten	Skade som krever medisinsk behandling	Mindre skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 uke	Negativ påvirkning på troverdighet og respekt
5	Svært stor :Skjer ukentlig	A	Svært liten	Skade som krever førstehjelp	Ubetydelig skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 dag	Liten påvirkning på troverdighet og respekt

#### MATRISSE FOR RISIKOVURDERINGER ved NTNU

<b>KONSEKVENNS</b>	Svært alvorlig	E1	E2	E3	E4	E5
	Alvorlig	D1	D2	D3	D4	D5
	Moderat	C1	C2	C3	C4	C5
	Liten	B1	B2	B3	B4	B5
	Svært liten	A1	A2	A3	A4	A5
	Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor	
	<b>SANNSYNLIGHET</b>					

#### Prinsipp over akseptkriterium. Forklaring av fargene som er brukt i risikomatrisen.

Farge	Beskrivelse
Rød	Uakseptabel risiko. Tiltak skal gjennomføres for å redusere risikoen.
Gul	Vurderingsområde. Tiltak skal vurderes.
Grønn	Akseptabel risiko. Tiltak kan vurderes ut fra andre hensyn.