

# Elektrisk trevekst i isolasjonsmaterialer for høyspente AC konnektorer

Effekt av syntetisk ester og hydrostatisk trykk

**Rune Gravaune** 

Master i energi og miljø Innlevert: juni 2015 Hovedveileder: Frank Mauseth, ELKRAFT Medveileder: Sverre Hvidsten, SINTEF Energi

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for elkraftteknikk

# **Problem description**

The demands towards future oil and gas production include increased recovery and long step-outs. Subsea processing is considered as one of the main issues in achieving these goals. To enable the next generation subsea boosting and processing facilities, high power electrical connectors are strongly needed and considered one of the most critical components. The project work will be a part of a four year research project on subsea connectors run by SINTEF Energy Research and NTNU in cooperation with several international connector manufacturers.

Electrical tree growth is a precursor to electrical breakdown in high voltage insulations. This project work will mainly be experimental, where the main purpose is to build and test a new experimental set-up for studying electrical treeing at high hydrostatic pressures. In addition, characterization of oil sorption of the material will also be included. Also, mechanical properties such as tensile strength will be measured to find the influence of the absorbed oil.

This work will be important when choosing design and material combinations for the next generation high voltage AC connectors, aiming for higher voltages than today's connectors.

ii

# Forord

Denne masteroppgaven en skrevet ved NTNU våren 2015 som en del av energi og miljø studiet med fordypning innen elektrisk energiteknikk og smarte nett. Oppgaven teller som full studiebelastning i 10 semester, og er en videreføring av prosjektoppgaven gjennomført 9. semester [1]. Første del av oppgaven er å studere tilgjengelig litteratur, og deler av kapittelet som omhandler teori vil nødvendigvis være en gjentagelse av prosjektoppgaven. Oppgaven er skrevet som en del av et overordnet prosjekt (High Voltage Subsea Connections) ledet av SINTEF Energi i samarbeid med NTNU, og alle laboratorieforsøk er gjennomført hos SINTEF Energi og Institutt for Elkraftteknikk ved NTNU.

Oppgaven er skrevet med tanke på en leser som har kunnskaper innen elkraftteknikk, høyspenningsisolasjon, mekanikk og diffusjon slik at grunnleggende fenomener og fagterminologi antas å være kjent.

Jeg vil rette en stor takk til førsteamanuensis Frank Mauseth ved NTNU og seniorforsker Sverre Hvidsten ved SINTEF Energi for gode råd og veiledning i denne oppgaven. Jeg vil også takke forsker Hans Helmer Sæternes ved SINTEF Energi for mye hjelp til den praktiske gjennomføringen av prosjektet.

Trondheim, Juni 2015

Rune Gravaune

## Sammendrag

En subseakonnektor er et komplekst isolasjonssystem som brukes til å koble sammen kabler, noder osv. på havbunnen. Silikon er et polymerisk materiale som er egnet bl.a. som membran til å svipe av vann fra kontakten ved til- og frakobling av konnektoren. En av de vanligste årsakene til havari i slik polymerisk isolasjon er partielle utladninger og dannelse av elektriske trær.

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke effekten av hydrostatiske trykkrefter og olje på elektrisk trevekst i silikon. Dette er et område det er forsket lite på fra før, og den største delen av oppgaven var å bygge et testoppsett for å kunne studere elektrisk trevekst under trykk. For å ha kontroll på hvor mye olje silikonet tok opp var det nødvendig å gjennomføre diffusjonsmålinger. Testobjekter av silikon ble lagt ned i olje, og vektøkningen ble målt. Testobjektet for elektrisk trevekst besto av en nål laget av rustfritt stål som ble støpt inn i silikon, slik at avstanden mellom nålspissen og jordelektroden var 2 mm. Testobjektene for diffusjon og trevekst var like store, og det ble antatt at det tok like lang tid å mette de med olje. Testobjektet ble plassert i en trykktank og treveksten ble undersøkt gjennom vinduer i tanken ved hjelp av mikroskop og bakgrunnsbelysning. Det ble også gjennomført strekktester. Det ble i alt gjennomført 30 tester med elektrisk trevekst, og resultatene fra trevekstanalysen er basert på i overkant av 20 000 bilder som ble tatt av nål-plategapet. Følgende hovedkonklusjoner kan trekkes fra arbeidet:

- Gjennomslagspenningen er høyere i silikon som er mettet med olje enn silikon som ikke inneholder olje. Dette gjelder både ved atmosfærisk trykk og 50 bar væsketrykk.
- Strukturen og vekstutviklingen i bredde og lengde er avhengig av oljeinnhold og hydrostatisk trykk.
- I de fleste oljemettede testobjektene vokste det elektriske treet kun et lite stykke ut fra nålspissen før veksten stagnerte.
- I de tørre testobjektene vokste det elektriske treet med omvendt eksponentiell hastighet med hensyn på tiden i både lengde og bredde de første minuttene. Ved 50 bar væsketrykk fortsatte treveksten med varierende hastighet gjennom resten av isolasjonen.
- Det så ut til at oljen forandret de mekaniske egenskapene til silikonet.

v

vi

## Abstract

A subsea connector is a complex insulation system used to connect cables, nodes, etc. on the seabed. Silicone is a material that is suitable as a membrane to wipe water of the contact when mating and demating. One of the most common failure mechanisms for polymer insulation is partial discharges leading into initiation and growth of electrical trees.

The purpose of this study was to investigate how hydrostatic pressure and oil sorption effect the growth of electrical trees in silicone. Not much research has previously been done on this field. The main purpose of this project was to build and test a new experimental set-up for studying electrical treeing at high hydrostatic pressure. The sorption of oil into the silicone was measured by weighing the silicone before and after submerging it into oil, and plotting as a function of time. The test objects were of equal sizes, so the saturation times were assumed to be equal for all objects. The test objects for electrical tree growth consisted of a stainless steel needle casted into silicone, with a distance of 2 mm between the needle tip and the ground electrode. The test object was placed in a pressure vessel, and the electric tree growth was examined through a microscope. Tensile force experiments were also carried out.

The analyses of the electrical trees are based on 30 tests, and more than 20 000 photos of the gap between the needle and the ground electrode.

From this work, the following conclusions can be made:

- The breakdown voltage is higher in silicone saturated with oil compared to silicone that does not contain oil. This was observed at both atmospheric pressure and 50 bar liquid pressure.
- The structure and growth of the tree both in length and width is dependent on the oil content and the pressure.
- In most of the test objects saturated with oil, the electrical tree growth stagnated a short distance out from the needle tip.
- The electrical tree grew with inversely exponential speed with respect to time both in length and width direction during the first few minutes. At 50 bar liquid pressure the tree growth continued at various speeds through the insulation before the ground electrode was reached.
- The oil seemed to change the mechanical characteristics of silicone.

# Innholdsfortegnelse

	Prol	lem description	i
	Fore	rd	iii
	Sam	mendrag	v
	Abs	ract	vii
1	Inn	edning	1
	1.1	Bakgrunn	1
	1.2	Subseakonnektoren	2
	1.3	Hypoteser	4
2	Teo	i	5
	2.1	Diffusjon	5
	2.2	Partielle Utladninger	7
	2.3	Elektrisk Trevekst	8
		2.3.1 Initiering	8
		2.3.2 Vekst	8
		2.3.3 Gjennomslag	9
		2.3.4 Innvirkning av spenning og frekvens	10
		2.3.5 Oljens innvirkning på elektrisk trevekst	12
		2.3.6 Mekaniske egenskaper	12
		2.3.7 Vekst og struktur	13
		2.3.8 Innvirkning av hydrostatisk trykk	14
3	Eks	perimentelt	17
	3.1	Testobjektene	17
		3.1.1 Klargjøring av silikon før støping	17
		3.1.2 Støpeprosess og bearbeiding	18

	3.2	Målemetoder	22			
		3.2.1 Diffusjon av olje	22			
		3.2.2 Elektrisk Trevekst	24			
		3.2.3 Mekaniske egenskaper	28			
4	Res	ultater	29			
	4.1	Diffusjon	29			
	4.2	Elektrisk Trevekst	32			
		4.2.1 Gjennomslagsspenning og spenning ved begynnende trevekst	33			
		4.2.2 Langtidstesting	35			
	4.3	Mekaniske egenskaper	47			
5	Dis	kusjon	49			
	5.1	Diffusjon	49			
	5.2	Elektrisk trevekst	51			
		5.2.1 Gjennomslagspenning og spenning ved begynnende trevekst	51			
		5.2.2 Lengdeutvikling	52			
		5.2.3 Temperatur og statistikk	54			
		5.2.4 Mikroskopet	55			
	5.3	Mekaniske egenskaper	56			
	5.4	Testobjektene	56			
6	Kon	nklusjon	59			
	6.1	Konklusjon	59			
	6.2	Videre arbeid	61			
Li	ttera	turliste	63			
Ve	dleg	g A Diffusjon	67			
	A.1	Kurvetilnærmingsplotting for diffusjonskonstanter	67			
	A.2	Måledata for diffusjonseksperiment	70			
Ve	Vedlegg B Elektrisk Trevekst 7					
Ve	Vedlegg C Datablad					

# Figurer

1.1	Prinsippskisse for en subseakonnektor.	2
1.2	Strukturformel for silikon	3
2.1	Paschenkurve.	9
2.2	RC-krets analogi for elektrisk trevekst.	11
2.3	Buskvekst.	13
2.4	Grenvekst.	14
3.1	Støpeform for silikon diffusjonstestobjekt laget av stål.	18
3.2	Bilde av diffusjonstestobjekt.	19
3.3	Ferdig testobjekt for elektrisk trevekst.	20
3.4	Støpeform for testobjekt til elektrisk trevekst.	20
3.5	Simulert elektrisk felt i et nål-plategap.	21
3.6	Bilde av nålspissen brukt i testobjekt for elektrisk trevekst	21
3.7	Måleoppsett for diffusjonseksperiment	22
3.8	Teoretisk diffusjonsforløp.	23
3.9	Trykktanken	24
3.10	Lokk på trykktank.	25
3.11	Kabelgjennomføring i trykktett lokk	25
3.12	Oppsett for eksperiment med elektrisk trevekst.	26
3.13	Varsellys.	26
3.14	Bilde av oppsettet for eksperiment med elektrisk trevekst	27
3.15	Bilde av hundebein med arbeidsområde	28
4.1	Vektøkning for silikontestobjekter.	30
4.2	Spenningsnivå for Slow Rate-of-Rise Test	32

4.3	Bilde av nålspiss for et oljemettet testobjekt.	34
4.4	Lengdeutvikling i oljemettet testobjekt ved atmosfærisk trykk og 12 kV.	36
4.5	Breddeutvikling i oljemettet testobjekt ved atmosfærisk trykk og 12 kV.	36
4.6	Vekstutvikling våt atmosfærisk trykk bilder.	37
4.7	Lengdeutvikling i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk og 8 kV	38
4.8	Breddeutvikling i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk og 8 kV.	38
4.9	Lengdeutvikling de første 10 minuttene i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk	
	og 8 kV	39
4.10	Breddeutvikling de første 10 minuttene i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk	
	og 8 kV	39
4.11	Vekstutvikling tørr atmosfærisk trykk bilder.	40
4.12	Lengdeutvikling i tørt testobjekt ved 50 bar og 11 kV.	41
4.13	Breddeutvikling i tørt testobjekt ved 50 bar og 11 kV.	42
4.14	Vekstutvikling tørr 50 bar bilder.	43
4.15	Lengdeutvikling i oljemettet testobjekt ved 50 bar og 17 kV.	44
4.16	Breddeutvikling i oljemettet testobjekt ved 50 bar og 17 kV.	44
4.17	Vekstutvikling våt 50 bar bilder.	45
4.18	Testobjekt nr 16 etter 60 timer, 1 minutt og 45 sekunder.	46
4.19	Bilde av tørt og vått diffusjonstestobjekt.	48
A.1	Silikon testobiekt nr 1	67
A.2	Silikon testobiekt nr 2.	68
A.3	Silikon testobiekt nr 3.	68
A.4	Silikon testobjekt nr 4	69
A.5	Silikon testobjekt nr 5	69

# KAPITTEL

# Innledning

#### 1.1 Bakgrunn

Overføring av elektrisitet over lange avstander via konvensjonelle metoder som luftlinjer er ikke alltid mulig. Dette gjelder spesielt ved overføring over havområder, og ved slike tilfeller er det vanlig at elektrisitet overføres via subseakabler. Fra før finnes det subseakabler mellom Norge og Nederland, Norge og Danmark, og Statnett har fått godkjent konsesjonssøknaden om å bygge subseakabler til Tyskland og Storbritannia. De sistnevnte kablene skal bli på 1.400 mega watt [MW] hver. Kabelen til Tyskland planlegges å være i drift allerede i 2018. Slike kabler gjør at tysk vindkraft blir tilgjengelig for norske forbrukere, og norsk vannkraft kan eksporteres til Tyskland.

Subseakabler kan også brukes til å overføre elektrisitet som trengs for å drive en Subsea oljeplattform. En vanlig løsning er at slike subseaplattformer får elektrisitet fra en gassturbin på havoverflaten. En bærekraftig fremtid krever økt bruk av fornybar energi, og i vannkraftnasjonen Norge blir det forsket på hvordan energi kan overføres fra land via subseakabler til offshore installasjoner. Subseakabler kan også brukes til å frakte energien produsert av offshore vindmølleparker inn til forbrukere på land.

For å sikre økt forsyningssikkerhet er det viktig å undersøke hvilke komponenter i overføringen som er utsatt for havari, og designe disse på en slik måte at sannsynligheten for uønskede utkoblinger blir minimal.

### 1.2 Subseakonnektoren

En subseakonnektor er et komplekst isolasjonssystem som inneholder blant annet silikon og olje, i tillegg til andre komponenter og materialer som gjør den utsatt for havari. Elektrisk trevekst er en av de vanligste årsakene til degradering i elektriske felt med vekselstrøm [2]. Figur 1.1 viser prinsippet for subseakonnektoren, og denne skal ikke slippe inn vann ved åpning og lukking på havbunnen. Silikon (SiR) er et egnet materiale som membran brukt til å svipe vann av kontakten etter lukking under vann. Etter lukking vil det likevel være en tynn film av vann på kontakten merket receptacle i figur 1.1, og oljen er med på å absorbere dette vannet. Vann inne i konnektoren er et stort problem, fordi det svekker de elektriske egenskapene til isolasjonsmaterialene.



Figur 1.1: Prinsippskisse for en subseakonnektor [3].

En del av denne oppgaven vil være å finne ut mer om hvilken effekt olje har på elektrisk trevekst i silikon. Siden subseakonnektoren befinner seg på vanndybder som gir store hydrostatiske trykk skal det også undersøkes hvilken effekt trykket har på elektrisk trevekst i silikonisolasjonen. For å finne ut mer om dette vil det være naturlig å undersøke hvordan oljen som blir brukt i subseakonnektorer diffunderer inn i silikon. Dette kan brukes til å regne ut hvor raskt silikonet blir mettet med olje, og dette er viktig for å være sikker på at silikonet som skal brukes i forsøk med elektrisk trevekst faktisk er mettet med olje.

Grunnen til at isolasjonsmaterialet silikon ble valgt er at det er et relativt mykt materiale. Dermed vil trolig effekten av det hydrostatiske trykket være større enn for et hardere materiale som f.eks. epoksy, som også blir brukt som isolasjon i subseakonnektoren. Diffusjon av olje vil foregå med ulik hastighet i disse to isolasjonstypene, siden de har ulike molekylsammensetninger [4]. Fra før er det forsket mye på elektrisk trevekst i polymerer som PE, XLPE og epoksy, men det har ikke vært like stort fokus på silikon. Silikon består hovedsakelig av Si-O bindinger. Det betyr at det er mye mindre karbon i silikon enn i XLPE, som er det materialet som det finnes mest data på når det gjelder elektrisk trevekst [5]. Det kan derfor ikke forventes at treveksten vil foregå på samme måte i silikon som i andre typer isolasjon som inneholder mye karbon [6]. En vanlig olje brukt i subseakonnektoren er den syntetiske esteren Midel RT 7131, og det er kun denne oljen som har blitt brukt i alle eksperimenter gjennomført i forbindelse med denne masteroppgaven. Det ble kun brukt vekselspenning, og alle spenninger er oppgitt i RMS-verdi.



Figur 1.2: Strukturformel for silikon [5].

### 1.3 Hypoteser

Hovedfokuset i denne masteroppgaven vil være å bygge et testoppsett for å studere elektrisk trevekst i silikon. Det skal studeres elektrisk trevekst i silikon som er mettet med olje og silikon som ikke har vært i kontakt med olje. Disse vil også bli omtalt som våte og tørre testobjekter. Begge typer testobjekt skal testes med og uten 50 bar væsketrykk, så det skal i alt gjennomføres 4 typer tester når det gjelder elektrisk trevekst.

For å finne ut mer om hvordan oljen påvirker silikonet og den elektriske treveksten vil det også være nødvendig å gjennomføre andre typer eksperimenter. Det er nødvendig å gjennomføre eksperimenter med diffusjon av olje inn i silikon for å være sikker på at testobjektet blir mettet med olje. Det er også relevant å undersøke om de mekaniske egenskapene til silikonet påvirkes av oljen.

Hypotesene som skal undersøkes er:

- 1. Gjennomslagsspenningen er høyere for silikon som er mettet med olje enn silikon som ikke inneholder olje. Dette gjelder ved:
  - (a) Atmosfærisk trykk
  - (b) 50 bars væsketrykk
- 2. Det elektriske treet initieres ved en høyere spenning i silikon som er mettet med olje enn silikon som ikke inneholder olje. Dette gjelder ved:
  - (a) Atmosfærisk trykk
  - (b) 50 bar væsketrykk
- Det elektriske treet vokser med jevn hastighet i lengderetningen i isolasjonen for alle
  4 typer tester for elektrisk trevekst. Dette gjelder ved langtidstesting med konstant
  spenning etter det elektriske treet er initiert.
- 4. Oljen forandrer de mekaniske egenskapene til silikon som er 100 % mettet med olje.

Teorien som danner grunnlaget for disse hypotesene er nærmere beskrevet i kapittel 2. Masteroppgaven er begrenset til å gjøre eksperimenter som er nødvendige for å teste hypotesene.

# KAPITTEL 2

# Teori

Elektrisk trevekst er en av hovedårsakene til degradering av polymerer i elektriske felt med vekselstrøm [2]. Treveksten formes som følge av partielle utladninger, og trevekstutviklingen bestemmer aktiviteten til de partielle utladningene. Både trevekst og partielle utladninger (PD) bestemmes blant annet av frekvens og størrelsen til påtrykt spenning, geometrien til elektroden, egenskapene til isolasjonen og temperatur [7]. For å forstå fenomenet elektrisk trevekst er det derfor viktig å betrakte både PD og trevekst samtidig [7]. Det er vanlig at olje diffunderer inn i isolasjonen i subseakonnektorer, og denne oppgaven søker bla. å finne ut mer om hvordan olje i isolasjonen påvirker elektrisk trevekst.

#### 2.1 Diffusjon

For å måle opptaket av olje i polymerisolasjon kan man bruke en metode som kalles "Mass Uptake Measurement"[4]. Når olje diffunderer inn vil vekten av testobjektet øke. Testobjektet blir veid før det kommer i kontakt med oljen (tørrvekt), og det er mulig å finne relativt masseopptak,  $m_r(t)$  ut ifra ligning 2.1. Metoden er nærmere beskrevet i kapittel 3.2.

$$m_r(t) = \frac{m(t) - m_c}{m_0}$$
(2.1)

Relativt masseopptak regnes ut fra testobjektets masse m(*t*), tørrvekt  $m_0$  og tørket vekt av prøveobjektet  $m_c$ . Hvis det ikke finnes vann i prøveobjektet fra før er  $m_c = m_0$  [4, 8]. En tilnærmet formel for opptaket av olje i midten av isolasjonen når diffusjon forekommer på begge sider av testobjektet ved konstant temperatur [8] er gitt av ligning 2.2. Denne ligningen sier at mye olje vil diffundere inn i prøven initialt, og diffusjonshastigheten avtar omvendt eksponentielt med tiden.

$$G = 1 - exp\left[-7.3 * \left(\frac{D_x * t}{s^2}\right)^{0.75}\right]$$
(2.2)

 $D_x$  er diffusjonskonstanten, s er tykkelsen på testobjektet og t er tiden fra testobjektet blir nedlagt i olje. Ligning 2.2 kan brukes for å finne en tilnærmet verdi på diffusjonskonstanten. Forskjellige verdier for  $D_x$  kan settes inn i ligning 2.2, helt til grafene av funksjonene gitt av ligning 2.2 og 2.1 overlapper hverandre. Tiden det tar til å oppnå minst 99% av maksimum metning av prøven [8] er gitt av ligning 2.3.

$$t_m = \frac{0.67 * s^2}{D_x}$$
(2.3)

Ligning 2.3 kan brukes til å finne et estimat på hvor lenge et testobjekt må ligge i olje for at det skal bli mettet. Formel 2.2 og 2.3 forutsetter at oljen hovedsakelig diffunderer inn gjennom de store flatene til testobjektet, og at diffusjonen inn gjennom kantene er minimal [8]. I denne oppgaven vil ikke alle testobjekter ha store overflater sammenlignet med tykkelsen. Alle testobjektene vil imidlertid ha like stor størrelse, og diffusjonskonstanten som blir funnet kan brukes i ligning 2.3 for å få et bra estimat på hvor lenge testobjektene må ligge i olje for at det skal bli mettet.

Tiden det tar fra testobjektet legges i olje til det blir mettet avhenger i stor grad av temperaturen [9]. Ved høyere temperaturer vil den indre kinetiske energien øke, og molekylene beveger seg raskere enn ved lavere temperaturer. Dette fører til at løseligheten i stoffene øker, og det blir mer fritt rom i isolasjonen [9]. Dermed kan mer olje diffundere inn i isolasjonen, og opptaket går raskere. Hvis isolasjonen er mettet ved høy temperatur vil den bli overmettet når det kjøles ned, og siden det blir mindre fritt rom i isolasjonen vil oljen da begynne å diffundere ut [9]. Diffusjonshastigheten varierer med temperaturen, og dermed vil også diffusjonskonstanten være forskjellig ved ulike temperaturer [4].

6

### 2.2 Partielle Utladninger

Partielle utladninger (PD) er lokale delvise dielektriske sammenbrudd mellom to elektroder i et isolerende medium [10]. Når det lages isolasjon er det veldig vanskelig å unngå at isolasjonen blir helt fri for gasslommer. Disse kan forekomme i selve isolasjonen, men det er også veldig vanlig at slike hulrom danner seg i grensesjiktet mellom elektroden og isolasjonen. PD kan forekomme på steder i isolasjonen der den elektriske feltstyrken er stor i forhold til området rundt. Dette vil typisk være i hulrom, siden gassfylte hulrom har lavere holdfasthet enn isolasjonen. Utladning oppstår dersom den elektriske feltstyrken er større enn holdfastheten til gassen i hulrommet [10]. I følge Paschens lov vil holdfastheten til luft avhenge av gasstrykket og størrelsen til hulrommet [10].

Ved AC spenning vil PD forekomme minst en gang per halve periode og gradvis svekke isolasjonen. Denne svekkelsen kan skje på tre måter [10]:

- 1. Elektronskred som følge av at isolasjonen blir bombardert med ioner og elektroner i trevekstkanalen etter at PD har forekommet.
- 2. Kjemisk reaksjon på grunn av temperaturøkning.
- 3. Stråling fra utladningene. UV stråling har nok energi til å bryte bindinger i organiske materialer.

I tillegg har det blitt foreslått [11] at Maxwellkrefter svekker holdfastheten til polymeriske materialer. Maxvellkreftene vil rive bindinger fra hverandre inne i molekylet, og er en tregere degraderingsprosess enn de overnevnte. Når det gjelder elektrisk trevekst vil de nevnte fenomenene forekomme om hverandre. Dette er en av grunnene til at det ikke eksisterer en kvalitativ teori om hvordan trekanaler utvikler seg [7].

#### 2.3 Elektrisk Trevekst

Elektrisk trevekst er en av de vanligste aldringsmekanismene for isolasjon. Dette kan forekomme som følge av elektronisk, kjemisk, termisk, mekanisk eller elektromagnetisk aldring, men felles for alle disse fenomenene er at det må være et elektrisk felt tilstede som overgår isolasjonsmaterialets tåleevne [12]. Veksten vil forekomme i retningen av det påtrykte feltet. Hvis den ledende kanalen når gjennom hele isolasjonen og skaper en forbindelse mellom høyspenningselektroden og jord kan gjennomslag inntreffe. Det er flere fenomener som virker inn på trevekstens utvikling, og det er vanlig å dele inn denne prosessen i tre stadier: Initiering, vekst og gjennomslag [13].

#### 2.3.1 Initiering

Initieringsfasen beskriver tiden fra det elektriske feltet overgår en grenseverdi til det begynner å utvikles et elektrisk tre [12]. I denne fasen vil PD forekomme i veldig små hulrom i isolasjonen. For sfæriske gassfylte hulrom som opptar en liten del av isolasjonen vil det maksimale elektriske feltet være

$$E_h = \frac{3 * \varepsilon_r}{1 + 2 * \varepsilon_r} * E \tag{2.4}$$

der E er det elektriske feltet uten hulrom, og  $\varepsilon_r$  er den relative permittiviteten til isolasjonen [10]. Det elektriske feltet i hulrommet vil øke ved høyere permittivitet, men feltstyrken i hulrommet vil maksimalt være 1,5 ganger høyere enn feltstyrken i isolasjonen. For fastestoffer er den relative permittiviteten alltid større enn 2 [10], og dermed vil det oppstå lokale feltforsterkninger i hulrommene. De gassfylte hulrommene i isolasjonen er ikke nødvendigvis kuleformet, så ligning 2.4 er en sterk forenkling av virkeligheten. Hvilken av PD mekanismene beskrevet i avsnitt 2.2 som forekommer vil avhenge av type isolasjon, graden av urenhet og mekanisk påkjenning [2].

#### 2.3.2 Vekst

I vekstfasen vil den målbare energien fra PD aktiviteten drive den elektriske treveksten. Det dannes tynne, ledende kanaler gjennom isolasjonen. Under denne prosessen vil ledningsevnen til kanalen forandre seg, og derfor vil PD aktiviteten variere i det elektriske treet. I vekstfasen er det vanlig at isolasjonen spaltes opp i karbon (C), Hydrogen ( $H_2$ ) samt en liten mengde andre gasser avhengig av hvilken isolasjon som blir brukt [12]. Karbonet som legger seg langs kanten av hulrommet vil være med på å bestemme ledningsevnen til trekanalen. I tillegg vil spaltingen gjøre at trykket i gasslommen varierer. Som nevnt i avsnitt 2.2 vil holdfastheten avhenge av gasstrykket og størrelsen til hulrommet. Paschenkurven gitt i figur 2.1 viser sammenhengen mellom gjennomslagsspenningen og produktet mellom trykk og avstand mellom elektrodene i noen gasser.



Figur 2.1: Paschenkurve [14].

Som figur 2.1 viser vil en økning eller minskning av produktet mellom trykk og avstand rundt minimumspunktet gjøre at holdfastheten til gassen øker. Siden trykket hele tiden varierer inne i trekanalen i vekstfasen, vil treveksten forekomme med variabel hastighet.

#### 2.3.3 Gjennomslag

Når det etableres en ledende kanal fra høyspenningselektroden til jord vil det bli gjennomslag i isolasjonen. Gjennomslagsfasen kjennetegnes med en sterk økning i strømmen og forkulling som utvider kortslutningskanalen til det mangedobbelte av trekanalen [12]. Tidligere forskning viser at gjennomslag kan forekomme med en gang første trekanal når jord, men det er også vanlig at det etablerers flere trekanaler til jord før det blir gjennomslag i en av dem [7]. Grunnen til at gjennomslag ikke nødvendigvis inntreffer umiddelbart etter den første trekanalen når jordelektroden, er at det er stor motstand i trekanalen. Det kan sees av Pashenkurven at holdfastheten til gassen øker når trykket inne i trekanalen øker. Mengden karbon er med på å bestemme motstanden i trekanalen, og tid til gjennomslag bestemmes blant annet av isolasjonstypen [7]. Gjennomslag vil inntreffe når holdfastheten til gassen i trekanalen overskrides, og det oppstår en kortslutning mellom elektrodene [2]. For silikon er det vanlig at kortslutning oppstår med en gang første trekanal når jord [13].

#### 2.3.4 Innvirkning av spenning og frekvens

Som nevnt tidligere kan energien fra de partielle utladningene drive treveksten gjennom isolasjonen. Hvis vi får n like store utladninger per halve periode med AC spenning vil dissipert effekt W være lik [15]:

$$W = n\sqrt{2}q_a U_i f \tag{2.5}$$

Der  $q_a$  er amplituden til tilsynelatende ladning,  $U_i$  er RMS verdien til spenningen ved dannelse av PD og f er frekvensen. Generelt vil n være proporsjonal med forholdet mellom påtrykket spenning over trekanalen  $U_{tre}$ , spenningsfallet for hver utladning  $\Delta U_{pd}$  samt en proporsjonalitetsfaktor K slik at [2, 15]:

$$n = K \frac{U_{tre}}{\Delta U_{pd}} \tag{2.6}$$

Disse størrelsene er veldig vanskelig å måle. Det er imidlertid mulig å benytte en RC-krets analogi for å finne forholdet mellom  $U_{tre}$  og  $\Delta U_{pd}$ . Man ser da på trekanalen som en sylindrisk motstand slik at spenningen over den er  $U_{tre}$ . Den delen av isolasjonen trekanalen ikke har nådd representeres med en kapasitans C som figur 2.2 viser. Forholdet mellom  $U_{tre}$  og spenningen over testobjektet  $U_0$  vil da være [15]:

$$\frac{U_{tre}}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(2\pi f R C)}}} = A(f)$$
(2.7)



Figur 2.2: RC-krets analogi for elektrisk trevekst.

Ved å kombinere likning 2.5, 2.6 og 2.7, samt sette tennspenningen  $U_i$  lik påtrykket spenning  $U_0$  kan følgende utledes:

$$W = K'A(f)q_a U_0^2 f \tag{2.8}$$

Der K' er en konstant som avhenger av størrelsen på hulrommet og det elektriske treet [15]. Likning 2.8 sier at dissipert effekt per utladning øker lineært med amplitudeverdien til tilsynelatende ladning, frekvens og kvadratet av påtrykt spenning. Fra likning 2.8 kan man se at det elektriske treet vil vokse mer både i lengde og bredderetning ved økt spenning eller frekvens.

#### 2.3.5 Oljens innvirkning på elektrisk trevekst

En metode som kan brukes til å rehabilitere kabler etter feil er å pumpe silikonolje(CableCure) inn i lederen. Videre kobles to av de tre lederne i parallell og brukes som returleder for strømmen som brukes til å varme kabelen. Til slutt brukes infrarød spektroskopi til å undersøke om silikonoljen har fordelt seg jevnt i isolasjonen.

Det har blitt gjennomført forsøk med elektrisk trevekst på den rehabiliterte isolasjonen som viser at det er 63 % sannsynlighet for at holdfastheten er 2,5 ganger høyere enn verdien før rehabilitering [16]. Forsøk gjennomført av E.Ildstad og H.Faremo viser at gjennomslagsstyrken øker med en faktor på 2.1 i XLPE kabelisolasjon [17].

Alle eksperimenter nevnt over i dette avsnittet gjelder vanntrevekst. Det har ikke lyktes undertegnede å finne teori om hva som gjør at olje påvirker elektrisk trevekst i silikon eller andre isolasjonsmaterialer brukt i subseakonnektoren. Det er et område det må forskes mer på, siden subseakonnektoren og noen subseakabler inneholder olje. Resultater fra eksperimenter gjennomført i prosjektoppgaven [1] viser at gjennomslagspenningen er noe høyere i epoksy som inneholder olje i forhold til epoksy som ikke inneholder olje, uten at det lyktes å finne ut hvorfor. Det ble imidlertid foreslått at oljen fyller opp de gassfylte hulrommene i isolasjonen når silikonet blir mettet med olje. Da kan gjennomslagspenningen øke siden olje har høyere holdfasthet enn gasser [10].

#### 2.3.6 Mekaniske egenskaper

I støpeprosessen vil det oppstå indre mekaniske krefter i isolasjonen på grunn av forskjellige temperaturer og ulik varmeledningsevne i isolasjonen og lederen. Ofte brukes omgivelsestemperaturen til avkjøling etter støping. Den delen av isolasjonen som er lengst fra lederen vil da avkjøles først, og det er under denne prosessen det dannes lag med ulike interne spenninger [12]. PP og PEX isolasjon krever temperaturer opp til 200 °C ved pressing etter støpeprosessen, og i disse typer isolasjon vil det oppstå relativt store indre mekaniske krefter hvis ikke isolasjonen avkjøles sakte. Når det gjelder silikon foregår herdingen i støpeformen på 100- 170°C, og etterherdingen foregår på 200°C. Et forsøk med forspente fibere i epoksy konkluderer med at trykkrefter motvirker trevekst, mens strekkrefter svekker motstandsstyrken i isolasjonsmaterialet [12, 18]. Undersøkelsene gjort i [18] viser ikke bare at holdfastheten øker med interne trykkrefter. Det elektriske treet utvikler seg også med lavere hastighet. Effekten av hydrostatisk trykk på elektrisk trevekst i silikon er presentert senere i dette kapittelet.

Det har ikke lyktes å finne teori om hvordan olje forandrer de mekaniske egenskapene til silikon eller andre polymerer. Det har tidligere blitt gjennomført forsøk med strekkrefter på silikon ved Sintef ENERGI. Det har ikke blitt publisert en artikkel fra disse forsøkene på nåværende tidspunkt, men personene som gjennomførte disse forsøkene hadde heller ikke et entydig svar på hva oljen gjør med polymerer. Det kan imidlertid tenkes at oljen tar opp plass mellom molekylene i silikonen og gjør disse bindingene svake. En annen mulighet er at oljen bryter opp bindingene inne i silikonet.

#### 2.3.7 Vekst og struktur

#### Buskvekst

Buskvekst vil typisk forekomme ved høy frekvens og høyt felt. Flere grener vil typisk springe ut fra nålspissen, og når buskveksten stagnerer er det vanlig at en enkel gren bryter ut av busken og finner veien til jordelektroden [19].



Figur 2.3: Buskvekst ved 8 kV i tørr silikon under langtidstesting. Avstand mellom elektrodene er 2 mm og trykket er atmosfærisk.

#### Grenvekst

Grenvekst kjennetegnes ved at en hovedgren med noen utstikkere dannes gjennom isolasjonen. Det er vanlig at grenveksten har en jevn vekstrate gjennom hele isolasjonen, og grenvekst forekommer oftest ved høye spenninger [19].



Figur 2.4: Grenvekst ved 11 kV i tørr silikon under step-up test. Avstand mellom elektrodene er 2 mm og trykket er 50 bar.

#### 2.3.8 Innvirkning av hydrostatisk trykk

Siden en subseakonnektor befinner seg på havbunnen vil den være utsatt for hydrostatiske trykkrefter. Det hydrostatiske trykket øker proporsjonalt med vanndybden etter ligning 2.9.

$$P = \rho * g * h \tag{2.9}$$

P er trykket i pascal (Pa),  $\rho$  er vanntettheten, g er tyngdeakselrasjonen og h er vanndybden [20]. Pascal er en avledet SI-enhet og måles i  $\frac{N}{m^2}$ . Et trykk på 1 atmosfære tilsvarer 101,325 kPa eller 1,013 bar [20]. Det er vanlig å forenkle og si at 1 bar tilsvarer atmosfærisk trykk, og det vil også bli gjort i denne oppgaven.

Som nevnt tidligere er hastigheten til det elektriske treet avhengig av PD aktiviteten, som igjen er avhengig av trykket i gasslommene i isolasjonen. Hvis konnektoren blir utsatt for et veldig høyt hydrostatisk trykk kan det føre til at trykket i gasslommene i isolasjonen øker så mye at isolasjonen sprekker opp, og sprekker vil føre til lavere holdfasthet i isolasjonen [21].

På en annen side vil et økt trykk i gasslommene føre til at holdfastheten til gassen øker, noe som kan sees av Paschen kurven. Isåfall vil isolasjonen tåle et høyere elektrisk felt. Det eksterne trykket vil føre til økt trykk i gasslommene for myke materialer som klemmes sammen. Det er her viktig å skille mellom ekstern gasstrykk og eksternt væsketrykk. Et eksternt gasstrykk på f.eks. 50 bar vil trenge inn i hulrommene i isolasjonen og føre til at trykket blir 50 bar også inne i hulrommene. Et eksternt væsketrykk vil klemme sammen isolasjonen hvis den er myk, men trykket inne i hulrommene i isolasjonen vil være mye lavere enn 50 bar. Hvis isolasjonen blir utsatt for hydrostatisk trykk i lengre tid kan også mer av det eksterne trykket diffundere inn i gasslommene i isolasjonen [21].

Silikon er et relativt mykt materiale der ytre trykkrefter vil påvirke trykket i gasslommene inne i isolasjonen. Det har blitt gjennomført forsøk for å studere effekten av hydrostatisk trykk på elektrisk trevekst i en silikon-kabelskjøt som viser at holdfastheten til silikonisolasjonen er høyere ved økende trykk [21]. Resultatene viser også at spenningen ved begynnende PD aktivitet er høyere ved trykk på mellom 1 og 50 bar. Lignende forsøk viser at hydrostatisk trykk motvirker elektrisk trevekst også i polyetylen (PE) [22].

# KAPITTEL **3**

# Eksperimentelt

#### 3.1 Testobjektene

For å gjøre eksperimenter med elektrisk trevekst og diffusjon i silikon ble det først laget testobjekter. For å få de høye elektriske feltene som trengs for å få trevekst i isolasjonen ble det støpt inn en nål som ble tilkoblet høyspenningselektroden. Nålen etterligner en ruhet i lederen som f.eks. en skarp spiss eller kant som gir en lokal forsterkning i det elektriske feltet. Produksjonsmetoden for testobjektene som ble laget er nærmere beskrevet i dette kapittelet. Mot slutten av kapittelet er også målemetodene som ble brukt under eksperimentene beskrevet.

#### 3.1.1 Klargjøring av silikon før støping

For å klargjøre silikon til støping ble en koppformet beholder først rengjort med isporopanol. Dette ble gjort for å forhindre at det ble rusk eller andre forurensinger i silikonet som ble blandet i beholderen. Deretter ble silikonmaterialene Elastosil LR 3003/60 A og Elastosil LR 3003/60 B blandet sammen i et 50:50 forhold. Den koppformede beholderen som ble fylt med blandingen ble plassert i et vakumskap i 3 timer for å redusere luftinnholdet i silikonet. En visp rørte konstant i beholderen inne i vakumskapet for å drive luft ut av blandingen. Etter 3 timer ble silikonet ført over i en sprøyte. Siden silikonet ble tatt ut av vakumskapet for å føres inn i sprøyten, ble sprøyten satt inn i vakumskapet igjen i 1 time for å drive ut luften som ble blandet inn under overføringen. Etterpå var silikonet uten luft klar til å bli ført inn i en støpeform for å lage testobjekter.

#### 3.1.2 Støpeprosess og bearbeiding

#### Testobjekt for Diffusjon av Olje

En skisse av støpeformen som ble laget for å lage testobjekter av silikon til diffusjonseksperimentet er vist i figur 3.1. Formen ble lagt på et lag med pet-folie som ble rengjort med isopropanol. Det klargjorte silikonet ble så ført fra sprøyten og inn i midten av formen. Et nytt rengjort lag med pet-folie ble deretter lagt over den fylte formen. Formen med pet-foliene ble deretter lagt i en presse med varmeelementer på klemmene. Sporene på overflaten vist i figur 3.1 ble frest ut for å lede ut overflødig silikon under pressing. Det ble presset med en tyngde på 5 tonn (ca. 50 kN) i 2 minutter. Deretter ble tyngden økt til 25 tonn (ca. 25 kN) i 12 minutter. Temperaturen på klemmene i pressen ble gradvis økt til 165°C under hele prosessen. Deretter ble pressen kjølt ned til 30°C på 10 minutter mens tyngden fortsatt var 25 tonn. For å tåle disse kreftene ble støpeformen laget av stål. Hvis den hadde blitt laget av aluminium ville den blitt deformert i pressen. Det pressede testobjektet ble tatt ut av formen og etterherdet på 200°C i 4 timer. Testobjektet av silikon ble da klart til å bli senket ned i olje.



Figur 3.1: Støpeform for silikon diffusjonstestobjekt laget av stål.



Figur 3.2: Bilde av diffusjonstestobjekt.

#### Testobjekt for elektrisk trevekst i silikon

Støpeformen som er avbildet i figur 3.4a ble fylt med silikon for å lage testobjekter for elektrisk trevekst. Som jordelektrode ble det brukt en 4x4 mm messingstav som ble kuttet opp i lengde på 22 mm og plassert i bunnen av støpeformen. Delen av messingbiten som vendte inn mot silikonet ble polert ned, og kanter ble avrundet slik at det ikke ble lokale feltforsterkninger i disse områdene. Resten av messingbiten ble pusset med grovt sandpapir slik at den lettere festet seg til silikonet langs sidene av messingbiten. Denne ble så festet til bunnen av støpeformen ved hjelp av to skruer som gikk gjennom bunnen av formen og inn i messingen. Da nålen var festet som vist i figur 3.4a var støpeformen klar for å bli fylt med ferdigblandet silikon. Det ble forsøkt å legge formen i samme presse som ble brukt for å lage testobjekter til diffusjonseksperimentet. Det viste seg da at nålen ble bøyd ut av testobjektet. Det ble derfor laget en alternativ presse der silikonet ble presset sammen ved hjelp av en stålplate, lexanglass og bolter som vist i figur 3.4b. Lexanglasset var så tykt at det ikke ble sprekker da boltene ble skrudd fast. Nålen ble trykket inn i formen etter sammenpressing for at den ikke skulle bli bøyd. Avstanden fra nålen til messingbiten ble justert til 2 mm med en nøyaktighet på  $\pm 0.2$  mm. Et mikroskop med measure funksjon ble brukt for å være sikker på at avstanden mellom elektrodene ble nøyaktig før støping. For å forsikre seg om at avstanden var innenfor nøyaktighetsmarginen ble denne også sjekket etter støping. Deretter ble støpeformen med silikon herdet på 100°C i en time. Testobjektet ble så lirket forsiktig ut av støpeformen for at messingelektroden eller nålen ikke skulle løsne. Til slutt ble testobjektet etterherdet på 200°C i 4 timer.



(b) Bilde av testobjekt.





(a) Støpeformen er klar for silikon.



(b) Støpeformen klar for herding.

Figur 3.4: Støpeform for testobjekt til elektrisk trevekst. Støpeformen ble presset sammen mellom en stålplate og en plate av lexanglass. Stålplaten var 4 mm tykk, og leksanglasset var 10 mm tykt.

#### Nålen

En viktig detalj var å pusse siden på nålen med sandpapir slik at den ikke løsnet fra isolasjonen etter støping. Det ble benyttet sterile akupunkturnåler med diameter på nålen ca. lik 300  $\mu$ m slik figur 3.6 viser. Vinkelen til nålspissen ble målt til 30 grader mellom nålsiden og aksial retningen til nålen.

Nålspissen kan sees på som en kule med veldig liten radius. Det elektriske feltet rett utenfor en kule har størrelsen  $|\mathbf{E}| = \frac{V_0}{a}$ , der  $V_0$  er påtrykket spenning og a er radiusen til kula [23]. Det vil si at for et gitt potensial vil det elektriske feltet utenfor kulen være stort dersom radiusen er liten, og motsatt. Det at en leder er spiss gjør at det elektriske



Figur 3.5: Simulert elektrisk felt i et nålstort dersom radiusen er liten, og motsatt. plategap [12]. Feltlinjene er farget rødt, og ekvipotensiallinjene er i farger.

feltet rett utenfor lederen blir stort, slik at det vil bli gjennomslag der før andre steder [23]. Nålspissen er derfor en avgjørende komponent i testobjektet, og det ble tatt bilder av nålspissen i alle ferdigstøpte testobjekter for å se om tuppen på nålen hadde blitt deformert, eller om det ble dannet luftlommer ved nålspissen under støpeprosessen.



Figur 3.6: Bilde av nålspissen brukt i testobjekt for elektrisk trevekst.

#### 3.2 Målemetoder

#### 3.2.1 Diffusjon av olje

For å måle opptaket av olje i isolasjonen ble testobjektene veid med jevne mellomrom (Mass Uptake Measurement) [4]. Når oljen diffunderer inn i testobjektet vil vekten øke, og forandringen er målbar. Det er bare mulig å bruke denne metoden for væsker, siden tettheten til væsker er større enn tettheten til gasser. Testobjektene ble lagt i et glass med olje og holdt fast med en prøveholder som ble hengt over kanten på glasset. For å skille testobjektene ble disse nummerert. Da testobjektene skulle veies ble prøven tatt ut av prøveholderen med en pinsett og mesteparten av oljen tørket av på et papir. Deretter ble all oljen tørket av på et nytt papir. Det var viktig å ikke ta på prøven slik at man ikke fikk olje på hanskene, og det måtte tørkes olje av pinsetten underveis. Til slutt ble testobjektet rengjort med papir som var fuktet med isopropanol. Et nytt sterilt pinsett ble så brukt til å føre testobjektet gjennom en statisk utjevner før det ble lagt på vekten. For at målingene skulle bli nøyaktige var det nødvendig at testobjektet ikke hadde rusk eller oljedråper på overflaten, siden det kun var vektøkningen pga. oljen inne i testobjektet som skulle måles. Den statiske utjevneren sørget for at testobjektet ikke hadde statisk ladning, siden dette ville ha påvirket målemekanismen i vekten.



Figur 3.7: Måleoppsett for diffusjonseksperiment. På bildet er 1: Glass med olje og testobjekter. 2: Isopropanol. 3: Papir for avtørking av olje. 4: Pinsett. 5:Vekt som måler gram med fire desimalers nøyaktighet. 6: Elektrostatisk utjevner.
Det var viktig at det ikke gikk mer enn 1 minutt fra prøven ble tatt ut av oljen til den ble målt på vekten. Hvis det gikk lengre tid ville oljen få tid til å diffundere ut av prøveobjektet, og dette ville ha påvirket målingene [8]. Hensikten med diffusjonseksperimentet var å mette testobjektene med olje på en hurtig måte, samtidig som det måtte være sikkerhet i at testobjektene faktisk ble mettet med olje. Prøveglasset med olje og testobjekter ble derfor plassert inn i et varmeskap som holdt en temperatur på 60°C. Testobjektet var mettet med olje ved denne temperaturen da det ikke var forandring i vektøkningen. Da dette skjedde ble testobjektet tatt ut av varmeskapet og avkjølt til en romtemperatur på 20°C, siden det var ved denne temperaturen eksperimentene med elektrisk trevekst ble gjennomført. Fra teorien i kapittel 2.1 var det forventet at oljen ville diffundere ut ved lavere temperaturer, og det var forventet at oljeopptaket i testobjektene ville ha en form omtrent som vist i figur 3.8.



Figur 3.8: Teoretisk diffusjonsforløp. Tiden det tar til prøven er mettet ved 60°C er t1, og ved tiden t2 er testobjektet mettet ved 20°C.

Da tidene t1 og t2 var kjent ble dette brukt til å lage oljemettede testobjekter for eksperimentene med elektrisk trevekst på en effektiv måte.

## 3.2.2 Elektrisk Trevekst

Den største delen av prosjektet ble å lage et oppsett som skulle brukes til å observere elektrisk trevekst under trykk. SINTEF Energi hadde bestilt en trykktank laget av rustfritt stål med seglass som er avbildet i figur 3.9. Tanken hadde i utgangspunktet mulighet for innsyn via fire vinduer. For å få gode bilder ble det besluttet å tette to av vinduene med blindflenser slik at et kamera kunne filme rett gjennom tanken som senere ble fylt med Midel RT 7131. De to vinduene ble holdt på plass ved hjelp av flenser med hull i midten og dobbel O-ringtetting. Det viste seg at hullene der vinduene skulle plasseres var 19,1 mm dype, mens vinduene målte 18 mm i lengden. For å få tanken tett var det nødvendig at vinduene lå i flukt med kanten ved O-ringene. Det ble derfor laget to ringer av PEEK (Polyetheretherketone) med 1,1 mm tykkelse og pumpespor som ble plassert mellom glasset og tanken for at den skulle bli tett. Det ble også bestilt O-ringer for å tette tanken i bunnen, lokket og de to blindflensene.



Figur 3.9: Trykktank med glassvindu og flenser for å holde vinduene på plass. Legg merke til dobbelt O-ringspor på flensen.

Siden det på dette tidspunktet ikke var klart hvordan det skulle lages en trykktett kabelgjennomføring gjennom det metalliske lokket på tanken, ble det valgt å lage et identisk lokk av det ikke ledende materialet POM (PolyOxyMethylene/Polyacetal). Dette lokket ble brukt til å gjennomføre trevekstforsøkene ved atmosfærisk trykk. Det ble laget et stativ i POM for å holde fast testobjektet som vist i figur 3.10a. Dette stativet ble laget slik at det kunne skrues fast på både POM-lokket og det syrefaste lokket som senere skulle bli trykktett. Det ble laget

blindplugger med gjengeteip som ble plassert i gjengehullene for pumpe og sikkerhetsventil i trykktanken da det skulle gjennomføres eksperimenter uten trykk. Som elektrisk leder fram til nålen ble det brukt en miniatyrkabel med avskrelt ytre halvleder. Beregninger utført av SINTEF Energi viste at boltene i flensen skulle skrues til med et moment på 6,7 Nm, mens boltene i lokket og bunnen skulle skrues til med 44 Nm.



(a) POM lokk med feste for testobjekt. Lederen holdes fast i lokket ved hjelp av en polymerisk kile.



(b) Trykktett lokk med feltstyring.

Figur 3.10: Lokk og stativ for testobjekt. Nålen ble koblet sammen med høyspenningslederen ved hjelp av en mutter med indre diameter på 1,7 mm. Til messingbiten ble det festet en lisse med et lodd som lå på bunnen av den jordede tanken.

For å gjennomføre eksperimenter med elektrisk trevekst under trykk ble neste utfordring å gjøre kabelgjennomføring i lokket som ble laget av rustfritt stål trykktett. Et stålrør ble først klemt rundt en miniatyrkabel. Det ble borret et hull i lokket som stålrøret med miniatyrkabelen ble ført gjennom. Det ble brukt en patent utviklet av SINTEF Energi med klemring rundt stålrøret for å gjøre kabelgjennomføringen trykktett. En feltstyring laget av messing ble brukt rett innenfor lokket. Isolasjonen ble deretter



Figur 3.11: Kabelgjennomføring i trykktett lokk.

skrellet av utenfor feltstyringen slik at kabelisolasjonen kom i kontakt med oljen inne i tanken. Omtrent 20 cm av halvlederen ble skrellet av slik at isolasjonen kom til syne i andre enden av kabelen. En feltstyrende duk ble festet rundt overgangen mellom isolasjonen og halvlederen ved hjelp av vulkteip. En strømbegrensende motstand på 10 M $\Omega$  ble koblet mellom høyspenningssiden av transformatoren og miniatyrkabelen for å beskytte elektrisk utstyr ved gjennomslag. Det ble bestilt sikkerhetsventil, manometer og overganger for å koble håndpumpen til tanken. En skisse av testoppsettet for eksperiment med trykk er vist i figur 3.12.



Figur 3.12: Oppsett for eksperiment med elektrisk trevekst.

Det ble ganske stor avstand fra vinduet og inn til testobjektet inne i tanken, og det satte begrensinger for hvilket objektiv som kunne brukes til å ta bilder av treveksten. Det ble valgt et objektiv med mulighet for 40 ganger forstørrelse. Dette ble koblet til et Keyence VHX-600 mikroskop. Det ble plassert et rør mellom objektivet og tanken for at lyset i rommet ikke skulle forstyrre bildet. Det ble også brukt en ekstern lyskilde som bakgrunnsbelysning fordi skyggevirkningen gjorde at det ble bedre bilder av det elektriske treet. Testoppsettet ble plassert i en celle omgitt av plexiglass og gitter, og det ble brukt vernebriller da tanken var trykksatt. Utenfor cellen ble det plassert varsellys som vist i figur 3.13.





Variacen skulle kobles ut automatisk da kortslutningsstrømmen oversteg en gitt verdi, slik at strømmen ble brutt hvis det ble gjennomslag i testobjektet.



Figur 3.14: Bilde av oppsettet for eksperiment med elektrisk trevekst. På bildet er 1:Transformator. 2: Strømbegrensende motstand på 10 M $\Omega$ . 3:Spenningsprobe. 4:Trykktank. 5:Lyskilde. 6:Videokamera med objektiv tilkoblet mikroskop. 7:Manometer. 8:Håndpumpe. 9:Sikkerhetsventil(160 Bar). 10: Jordingsstav. Mikroskop, variac og multimeter ble plassert utenfor cellen for overvåking og styring.

## 3.2.3 Mekaniske egenskaper

Som nevnt tidligere i teorien om gjennomslag vil holdfastheten avhenge av gasstrykket inne i luftlommene, som igjen er avhengig av de mekaniske egenskapene til silikonet. Hydrostatiske trykkrefter kan føre til at silikonet presses sammen, og for å kartlegge om silikonet ble mykere da det inneholdt olje ble det gjennomført strekktester. Det ble gjennomført strekktester på silikon som hadde blitt mettet med olje på måten beskrevet i avsnitt 3.2.1, og silikon som ikke hadde vært i kontakt med olje. For å få til dette ble det laget hundebein som vist i figur 3.15. Hundebeinet ble laget på samme måte som testobjektet for diffusjon av olje, med noen små forandringer. Silikonet ble herdet og etterherdet på samme måte, men silikonet ble presset i en 0,5 mm tykk form istedet for 6 mm. Deretter ble hundebeinet stanset ut i en presse. Hundebeinet ble festet i en strekkbenk og ble strekt til det revnet i arbeidsområdet vist i figur 3.15. Strekkraften og prosentvis forlengelse ble målt ved hjelp av en maskin tilkoblet strekkbenken.



Figur 3.15: Bilde av hundebein med arbeidsområde. Arbeidsområdet hadde en bredde på 4 mm.

# KAPITTEL 4

# Resultater

Dette kapittelet presenterer resultatene fra forsøkene som har blitt gjennomført for å teste hypotesene gitt i avsnitt 1.3. Resultatene er presentert i form av tabeller, grafer og bilder, og en diskusjon av resultatene og mulige feilkilder er presentert i kapittel 5. Grafer og tabeller som ble for omfattende å ta med i dette kapittelet er flyttet til vedleggene som er plassert helt til slutt i denne masteroppgaven.

## 4.1 Diffusjon

Diffusjonseksperimentene ble gjennomført for å finne ut mer om hvordan oljen diffunderte inn i de fem testobjektene som ble laget. Resultatene ble brukt til å mette testobjektene for elektrisk trevekst på en effektiv måte. Målemetoden beskrevet i kapittel 3.2.1 ble benyttet for å måle diffusjonsopptaket. Teorien i kapittel 2.1 sier at det går raskere å mette testobjekter med olje ved høyere temperaturer, så diffusjonseksperimentet ble derfor gjennomført ved 60°C. Denne høye temperaturen ble valgt for å være sikker på at testobjektet hurtig ble mettet med olje. Da testobjektene ble mettet med olje ble de lagt i olje med romtemperatur (20°C) for å finne ut om oljen diffunderte ut av testobjektet ved denne temperaturen.

En grafisk fremstilling av relativt masseopptak i prøvene er gjengitt i figur 4.1. Verdiene som ble brukt for å lage grafen finnes i vedlegg A.2.



[%] pnin≯at≯sV

Fra figur 4.1 er det tydelig at det ikke er stor variasjon i oljeopptaket når de 5 prøvene sammenlignes. Dette gjelder både ved 60°C og 20°C. I appendiks A.1 finnes grafene som ble brukt for å finne diffusjonskoeffisientene ved hjelp av kurvetilnærming. Estimerte diffusjonskonstanter ved 60°C for de ulike testobjektene er gjengitt i tabell 4.1.

Testobjekt	Diffusjonskonstant $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
#1	$3.01 * 10^{-11}$
# 2	$3.11 * 10^{-11}$
# 3	$3.12 * 10^{-11}$
# 4	$2.95 * 10^{-11}$
# 5	$3.11 * 10^{-11}$
Gjennomsnitt	$3.06 * 10^{-11}$

Tabell 4.1: Diffusjonskonstanter for silikontestobjekter ved 60°C.

Som figur 4.1 viser foregikk oljeopptaket relativt likt i alle testobjektene, og diffusjonskonstantene for absorpsjon ved 60°C er i samme størrelsesorden. Testobjektene for diffusjon og elektrisk trevekst hadde samme størrelse, og det ble antatt at de brukte like lang tid på å bli mettet med olje siden oljen i hovedsak diffunderte inn gjennom den flate delen av testobjektet. Da gjennomsnittet av diffusjonskonstantene ble satt inn i ligning 2.3, ga det en tid på 9.13 dager før testobjektene med silikon ble minst 99% mettet ved 60°C. Testobjekt nr 4 hadde den laveste diffusjonskonstanten, og tilsvarende utregning med denne verdien ga 9.47 dager. Gjennomsnittlig vektøkning ved denne temperaturen var 7.03%.

Fra figur 4.1 kan det leses av at testobjektene må ligge ytterligere i omtrent 30 dager før de med sikkerhet når metningsnivået ved 20°C. Gjennomsnittlig vektøkning fra tørrvekt ved denne temperaturen var 4.68%. Vektreduksjonen av testobjektene forandret seg svært lite etter at de hadde ligget i olje ved 20°C i 13 dager. Det tok lang tid å få klart testoppsettet for elektrisk trevekst, og alle våte testobjekter for elektrisk trevekst lå i olje i over 30 dager ved 20 °C etter å ha blitt mettet ved 60°C i 10 dager.

## 4.2 Elektrisk Trevekst

Da det skulle gjennomføres forsøk med elektrisk trevekst i silikon ble det valgt å gjøre to typer eksperimenter. Det første eksperimentet, Slow Rate-of-Rise Test [24] ble brukt for å kartlegge gjennomslagsspenningen og spenningen ved begynnende trevekst. Dette måtte gjøres først for å finne ut ved hvilke spenninger det andre eksperimentet med langtidstesting skulle gjennomføres. Initial spenning over testobjektet ble valgt til 3 kV, for så å bli økt med 1 kV hvert femte minutt. Spenningen ble justert opp helt til gjennomslag i testobjektet inntraff (gjennomslagsspenning).



Figur 4.2: Spenningsnivå for Slow Rate-of-Rise Test.

Holdfastheten til et materiale måles i  $\left[\frac{kV}{mm}\right]$ . I denne testen kunne holdfastheten til materialet finnes ved å trekke 1 kV fra gjennomslagsspenningen, og dele på avstanden mellom elektrodene som var 2 mm for alle testobjekter. Det ble valgt et væsketrykk på 50 bar for eksperimentene med trykk. Dette trykket ble valgt ganske tilfeldig, men resultatene fra testene viste at dette trykket påvirket treveksten. Tabell 4.2 viser antall tester som ble gjennomført.

	Uten olje		Med olje	
1 har	Step-up	Langtidstesting	Step-up	Langtidstesting
1 bai3		4	3	4
50 bar	Step-up	Langtidstesting	Step-up	Langtidstesting
50 Dal -	3	4	3	4

Tabell 4.2: Antall tester som ble gjennomført.

## 4.2.1 Gjennomslagsspenning og spenning ved begynnende trevekst

Resultatene fra step-up eksperimentet er oppsummert i tabellene under. Spenningsnivåene for langtidstestingen ble valgt med utgangspunkt i disse tabellene.

Test	Begynnende trevekst [kV]	Tid [min:sek]	Gjennomslagsspenning [kV]	Tid [min:sek]
# 1	5,0	10:02	10,0	36:08
# 2	4,0	05:10	10,0	35:40
#3	4,0	05:30	10,0	37:08
Gjennomsnitt	4,3	06:54	10,0	36:19

Tabell 4.3: Resultat av Slow Rate-of-Rise Test med tørre testobjekter på 1 bar.

Test	Begynnende trevekst [kV]	Tid [min:sek]	Gjennomslagsspenning [kV]	Tid [min:sek]
# 4	5,0	11:46	14,0	58:02
# 5	6,0	16:40	15,0	60:27
# 6	5,0	11:23	14,0	55:26
Gjennomsnitt	5,3	14:13	14,3	58:58

Tabell 4.4: Resultat av Slow Rate-of-Rise Test med våte testobjekter på 1 bar.

Test	Begynnende trevekst [kV]	Tid [min:sek]	Gjennomslagsspenning [kV]	Tid [min:sek]
#7	8,0	27:10	12,0	46:54
# 8	8,0	26:28	13,0	53:29
#9	8,0	26:45	12,0	48:25
Gjennomsnitt	8,0	26:48	12,3	49:36

Tabell 4.5: Resultat av Slow Rate-of-Rise Test med tørre testobjekter på 50 bar.

Test	Begynnende trevekst [kV]	Tid [min:sek]	Gjennomslagsspenning [kV]	Tid [min:sek]
# 10	7,0	20:35	20,0	88:14
#11	8,0	25:35	19,0	80:39
# 12	7,0	20:22	19,0	81:41
Gjennomsnitt	7,3	22:11	19,3	83:34

Tabell 4.6: Resultat av Slow Rate-of-Rise Test med våte testobjekter på 50 bar.

Ved å sammenligne tabell 4.3 og 4.4 for trevekst uten trykk er det tydelig at de oljemettede testobjektene hadde høyest holdfasthet. Det tok også lengre tid før treveksten begynte i disse testobjektene. For trevekst med trykk var det også høyere gjennomslagsspenning i de våte testobjektene enn det var i de tørre. Det tok imidlertid gjennomsnittlig kortere tid før treveksten begynte i de våte testobjektene da eksperimentet ble kjørt med trykk.

For de oljemettede testobjektene ble det observert hulrom rundt nålspissen i alle testobjektene. Nålen satt godt fast i isolasjonen. Testobjektene ble undersøkt under mikroskop før nedsenking i olje, og da ble det



ikke observert hulrom ved nålspissen. Siden testobjektet var 100% mettet ble det antatt at

også hulrommet ved spissen var fylt med olje. For de umettede testobjektene ble det ikke observert tilsvarende rom mellom nålspissen og silikonet. Tiden til treveksten begynte kan i stor grad avhenge av denne forskjellen, siden treveksten ble initiert ved nålspissen.

For de tørre prøvene ved atmosfærisk trykk ble det observert at det elektriske treet vokste litt i lengden og bredden da spenningen ble justert opp før veksten stagnerte. Dette ble observert for alle spenningsnivå etter treveksten begynte fram til gjennomslag inntraff. Tidligere eksperimenter gjennomført av B. X. Du, Z. L. Ma og Y. Gao [5] viste at det elektriske treet vokste raskt i starten før det nådde stagnasjonsfasen og deretter vokste med ca. 2% per 30 minutt ved 9 kV da avstanden i nål-plategapet var 2 mm.

Step-up testen for våte testobjekter ved atmosfærisk trykk viste at treet vokste ca. 20% av avstanden fra nålspissen til jord etter det elektriske treet begynte å vokse. Deretter vokste ikke treet i lengden, men det ble mer bushing da spenningen ble justert opp. Da gjennomslagsspenningen ble nådd vokste det elektriske treet raskt gjennom isolasjonen, og det ble gjennomslag da treet nådde jordelektroden.

For de tørre testobjektene ved 50 bar vokste det elektriske treet raskt i lengden og bredden da spenningen ble justert opp på samme måte som ved 1 bar. Treveksten stoppet imidlertid ikke helt opp, men fortsatte å vokse litt i både lengde og bredde.

I de våte testobjektene som ble testet på 50 bar vokste det elektriske treet langsomt med mye bushing i starten, før treet raskt vokste gjennom isolasjonen ved gjennomslagsspenningen.

## 4.2.2 Langtidstesting

Neste steg ble å se hvordan treveksten utviklet seg i testobjektene ved konstante spenninger. Spenningsnivået ble satt mellom spenningen ved begynnende trevekst og gjennomslagsspenningen. Siden det tok lang tid å gjøre klart testoppsettet og lage testobjektene, ble det litt knapt med tid til å gjennomføre disse testene. Det ble derfor besluttet å gjennomføre langtidstestingen ved spenninger litt lavere enn gjennomslagsspenningen for at eksperimentet ikke skulle ta for lang tid. Det ble spesielt fokusert på vekstutviklingen de første minuttene og de to første timene. Hvis gjennomslag ikke hadde inntruffet innen to timer ble eksperimentet i de fleste tilfeller avsluttet, men noen tester ble kjørt lengre. I alle tilfeller var det liten eller ingen forandring i det elektriske treet etter 90 minutter. I de tilfellene det elektriske treet nådde jordelektroden. Dette underkapittelet inneholder grafer som viser lengde og breddeutvikling av det elektriske treet, bilder av treveksten og kommentarer til resultatene. I grafene som viser lengdeutvikling har gjennomslag inntruffet når verdien på y-aksen overstiger 100%. Verdiene som ble brukt til å lage grafene finnes i vedlegg B.

## Oljemettet testobjekt ved 1 bar

Gjennomsnittlig gjennomslagsspenning for våte testobjekter fra step-up testen ble målt til 14,3 kV, mens det elektriske treet ble initiert ved 5-6 kV. Det ble besluttet å gjennomføre langtidstestingen ved 12 kV for 4 testobjekter. Vekstutviklingen i lengden er vist i figur 4.4, mens vekstutviklingen i bredden er vist i figur 4.5.



Figur 4.4: Lengdeutvikling i oljemettet testobjekt ved atmosfærisk trykk og 12 kV.



Figur 4.5: Breddeutvikling i oljemettet testobjekt ved atmosfærisk trykk og 12 kV.

I den første testen (testobjekt nr 5) sto spenningen på i 97 timer uten at det elektriske treet forandret seg hverken i lengden eller bredden etter 46 minutter. I testobjekt nr 7 inntraff gjennomslag etter 6 minutter og 28 sekunder.



Figur 4.6: Vekstutvikling i testobjekt nr 8 fra spenningen ble påtrykket. Figur (g) viser testobjekt nr 7 etter havari.

Figur 4.6 viser at det elektriske treet ikke vokste mye i hverken bredde eller lengden. Treveksten foregikk på samme måte i testobjekt nr 5 og nr 6. I testobjekt nr 7 foregikk også treveksten på tilsvarende måte fram til gjennomslag plutselig inntraff etter 6 minutter og 28 sekunder.

## Tørt testobjekt ved 1 bar

For testobjektet som ikke hadde vært i kontakt med olje ble det elektriske treet i gjennomsnitt initiert ved 4-5 kV, og havari inntraff ved 10 kV. Det ble besluttet å gjennomføre testingen ved 9 kV. I den første testen vokste det elektriske treet raskt gjennom silikonet før gjennomslag inntraff etter 73 sekunder. Det ble besluttet å gjennomføre 4 nye tester ved 8 kV. Figur 4.7 viser lengdeutviklingen av det elektriske treet i disse testobjektene.



Figur 4.7: Lengdeutvikling i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk og 8 kV.



Figur 4.8: Breddeutvikling i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk og 8 kV.



Figur 4.9: Lengdeutvikling de første 10 minuttene i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk og 8 kV.



Figur 4.10: Breddeutvikling de første 10 minuttene i tørt testobjekt ved atmosfærisk trykk og 8 kV.

I testobjektet nr 1 inntraff gjennomslag etter 1 time, 32 minutter og 24 sekunder. I testobjekt nr 2 ble det gjennomslag etter 6 timer, 35 minutter og 45 sekunder. De to siste testobjektene hadde spenning over seg i 4 timer hver uten at det elektriske treet forandret seg etter 70 minutter. Det elektriske treet vokste raskest i lengden og bredden med en gang spenningen ble skrudd på, før veksten stagnerte. Rett før gjennomslag vokste det elektriske treet raskt gjennom siste del av isolasjonen for både testobjekt nr 1 og nr 2.



(d) 50 minutter.

(e) 90 minutter.

(f) Etter havari.

Figur 4.11: Vekstutvikling i testobjekt nr 1 fra spenningen ble påtrykket. Figur (f) viser bilde av havari i testobjektet etter 92 minutter og 24 sekunder.

Figur 4.11 viser vekstutviklingen i testobjekt nr 1 som er det eneste testobjektet som havarerte av de fire testobjektene i denne testen før det hadde gått 2 timer. Bildene representerer også vekstutviklingen i testobjekt nr 2, 3 og 4 de første 90 minuttene. Det elektriske treet vokste raskt i starten før veksten stagnerte. I stagnasjonsfasen vokste ikke treet nevneverdig mye i lengden eller bredden, men det så ut til at trekanalene utvidet seg og at forbrenningen av isolasjonen fortsatte siden det elektriske treet ble mørkere.

## Tørt testobjekt ved 50 bar

Gjennomsnittlig gjennomslagsspenning og spenning ved begynnende trevekst for de tørre testobjektene ved 50 bar var hhv. 12,3 kV og 8 kV. Det ble valgt å gjennomføre langtidstestingen ved 11 kV, og det ble gjennomslag i alle testobjektene innen 45 minutter. Gjennomslagstiden for de fire testobjektene er oppsummert i tabell 4.7, mens lengde og breddeutvikling er vist i figur 4.12, og 4.13.

Testobjekt #	Tid til gjennomslag [min:sek]
9	33:07
10	14:28
11	35:14
12	41:57
Gjennomsnitt	31:11

Tabell 4.7: Langtidstesting av tørre testobjekter ved 50 bar og 11 kV.



Figur 4.12: Lengdeutvikling i tørt testobjekt ved 50 bar og 11 kV.



Figur 4.13: Breddeutvikling i tørt testobjekt ved 50 bar og 11 kV.

Det elektriske treet vokste raskt i lengden da treet ble initert, og rett før det nådde jordelektroden. Veksten stagnerte ikke på samme måte som de tørre testobjektene ved atmosfærisk trykk. Det elektriske treet vokste litt også midt inne i isolasjonen, før vekstfarten økte igjen da treet hadde vokst ca. 80% av lengden i nål-plategapet. Dette var også tilfelle for breddeutviklingen.



(d) 15 minutter.

(e) 28 minutter.

(f) Etter havari.

Figur 4.14: Vekstutvikling i testobjekt nr 9 fra spenningen ble påtrykket. Figur (f) viser bilde av gjennomslag i testobjektet etter 33 minutter og 7 sekunder.

Figur 4.14 viser bilder av treveksten i testobjekt nr 9, men bildene er også representative for treveksten i testobjekt nr 10, 11 og 12. Det ble bemerket at gjennomslagskanalen var mye tynnere enn gjennomslagskanalen for testobjektene som ble testet uten trykk.

## Oljemettet testobjekt ved 50 bar

For de oljemettede testobjektene begynte det elektriske treet å vokse ved 7-8 kV, mens gjennomslagspenningen lå på 19-20 kV. Det ble besluttet å gjennomføre langtidstestingen ved 18 kV. Det ble gjennomslag i det første testobjektet etter 2 minutter og 17 sekunder, og pga. den korte tiden ble det besluttet å gjennomføre eksperimentet med 4 nye testobjekter på 17 kV. Lengde og breddeutviklingen er vist i figur 4.15 og 4.16.



Figur 4.15: Lengdeutvikling i oljemettet testobjekt ved 50 bar og 17 kV.



Figur 4.16: Breddeutvikling i oljemettet testobjekt ved 50 bar og 17 kV.

Det elektriske treet vokste raskest i lengden i starten før veksten stagnerte på 11-17% av

lengden fra nålspissen til jordelektroden. For den første testen på 18 kV vokste det elektriske treet til 20% av lengden i løpet av 40 sekunder, for så å stagnere før gjennomslag inntraff plutselig.





Figur 4.17: Vekstutvikling i testobjekt nr 15 fra spenningen ble påtrykket.

Figur 4.17 viser bilder av trevekst i testobjekt nr 15. Treveksten i testobjekt nr 13, 14 og 16 så omtrent like ut. Det elektriske treet vokste litt ut fra spissen på nålen og stagnerte. I stagnasjonsfasen ble det mer buskvekst rundt nålspissen. Bildene viser også hulrommet ved nålspissen som ble observert i alle de oljemettede prøvene. Det så ut til at bushingen økte også inne i hulrommet etterhvert som tiden gikk. Det sto spenning over det siste testobjektet i 60 timer, 1 minutt og 45 sekunder uten at det ble gjennomslag, og figur 4.18 viser bilde av nålspissen ved dette tidspunktet.



Figur 4.18: Testobjekt nr 16 etter 60 timer, 1 minutt og 45 sekunder.

Det så ut til at hulrommet formet seg etter det elektriske feltet da spenningen sto over testobjektet i en lengre periode. Da spenningen ble skrudd av hadde fortsatt hulrommet samme form som vist på bildet. Nålen sto i vertikal posisjon, og det virket som det forbrente silikonet forflyttet seg fritt i oljen og la seg på bunnen av hulrommet på grunn av gravitasjonskraften.

# 4.3 Mekaniske egenskaper

For å undersøke om oljen hadde innvirkning på de mekaniske egenskapene til silikonet ble det gjennomført strekktester. Fem prøveobjekter laget på måten beskrevet i kapittel 3.2.3 ble strekt til det ble brudd i arbeidsområdet med en fart på 0,833 mm/s. Strekkraften og forlengelsen ved brudd ble målt, og resultatene er oppsummert i tabell 4.8.

	Prøve #	Strekkraft ved brudd [N]	Prosentvis forlengelse ved brudd
	1	24,08	369,53
	2	22,39	350,96
Uten olje	3	22,05	342,75
	4	18,20	338,31
	5	19,98	357,45
	1	15,19	233,49
	2	15,05	235,03
Med olje	3	12,49	221,43
	4	14,94	249,21
	5	14,09	232,61

Gjennomsnittlig strekkraft ved brudd for de tørre prøvene var 21.34 N, mens for de våte prøvene var strekkraften 14,35 N. Det vil si at de tørre prøvene tålte 48.7% mer strekkraft. De tørre prøvene ble også strekt lengre før brudd enn de våte. I gjennomsnitt ble de tørre prøvene forlenget med 351,80 % før brudd, mens de våte prøvene i snitt ble forlenget med 234.35 %. De tørre prøvene ble altså strekt 50.1 % lenger enn de våte før brudd, og det så ut til at oljen virket inn på de mekaniske egenskapene til silikonet. Det ble også tatt bilder av to forskjellige testobjekter for diffusjon før nedsenking i olje og etter metning for å se om det var noen observerbare forandringer i silikonet. Bildene er vist i figur 4.19.





(c) Med olje.

(d) Med olje.

Figur 4.19: Bilde av tørt og vått diffusjonstestobjekt. Bildene til venstre viser et hjørne av testobjektene med 13x forstørrelse. Bildene til høyre viser overflaten til silikonet og er tatt med 150x forstørrelse.

Det var vanskelig å se om oljen hadde forandret selve strukturen inne i silikonet bare ved å observere testobjektet i mikroskop. Det så ut til at testobjektene uten olje var litt mer forurenset, selv om begge testobjektene ble tørket av med isopropanol før bildene ble tatt. Det er viktig å påpeke at testobjektet i bilde (a) og (b) ikke er det samme som testobjektet i bilde (c) og (d). I figur (d) kan det observeres riper som har blitt til på grunn av pinsettet eller oljeavtørkingen, og dette kan ha virket inn på oljeopptaket i diffusjonseksperimentet.

# KAPITTEL 5

# Diskusjon

I dette kapitlet vil resultatene diskuteres i forhold til hypotesene som er presentert i kapittel 1.3. Andre interessante resultater og utfordringer i prosjektet vil også bli belyst, og aktuelle feilkilder vil bli diskutert underveis.

## 5.1 Diffusjon

Det er vanlig å gjøre diffusjonsmålinger på tynne testobjekter slik at diffusjonsopptaket inn langs kanten av testobjektet kan neglisjeres. Diffusjonskonstanten kan da brukes til å regne ut hvor lang tid det tar til testobjekter med andre tykkelser går i metning. Siden diffusjonshastigheten øker med tykkelsen da diffusjonen også forekommer inn langs kanten av testobjektet, kan formel 2.2 og 2.3 fra kapittel 2 bare brukes på veldig tynne testobjekter. Det kan imidlertid brukes formler som tar hensyn til diffusjon inn langs kanten (kanteffekt) som kan brukes til å skalere disse formlene [4].

Siden testobjektet som ble brukt i diffusjonseksperimentet hadde en tykkelse på 6 mm var det urimelig å anta at diffusjonsopptaket av olje inn langs kanten av testobjektet kunne neglisjeres. Det er rimelig å anta at diffusjonsopptaket vil forekomme hurtigere enn for testobjekter der det blir antatt at diffusjonen kun forekommer inn gjennom de store flatene. Testobjektene som ble bruk til diffusjonseksperimentet hadde samme størrelse som testobjektene som ble brukt til elektrisk trevekst. Diffusjon av oljen inn i kanten av testobjektet ble da automatisk en del av målingene. Dette var en fordel siden resultatene ble mer nøyaktige, og eksperimentet kun ble gjennomført for å finne en metode som skulle brukes til å lage oljemettede testobjekter for elektrisk trevekst på en effektiv måte. Diffusjonskonstanten som ble funnet kunne derfor ikke brukes for å regne ut metningsgraden av olje i testobjekter med andre tykkelser ved hjelp av formel 2.2 i kapittel 2.1. Formel 2.3 kunne imidlertid brukes til å regne ut tiden til metning av olje i testobjektene, siden testobjektene for diffusjon og elektrisk trevekst var like store.

Diffusjonsopptaket ble først gjennomført på 60°C til det var sikkerhet i at testobjektet var mettet, for så å fortsette ved 20°C til testobjektet ble mettet ved denne temperaturen. Diffusjonsopptaket hadde samme form som forventet da vektøkningen for mettet testobjekt var litt lavere ved 20°C enn 60°C. Resultatene viste også at diffusjonshastigheten var avhengig av temperaturen og metningsgraden i testobjektet, noe som stemte overens med teorien i kapittel 2.1. Dette var også grunnen til at det tok lengre tid til metning fra 60°C til 20 °C enn omvendt. Silikon tåler temperaturer mellom -55 og 210°C (se vedlegg C), så en temperatur på 60°C over en lengre periode vil ikke ødelegge silikonet. Hvilken effekt oljen hadde på silikonet vil bli diskutert senere i dette kapittelet.

Det er flere feilkilder som kunne gjøre diffusjonsmålingene unøyaktige. Elektrisk ladning ville ha påvirket mikrovekten, og det var vanskelig å vite om testobjektet hadde nøyaktig lik ladning mellom hver måling. I tillegg ble oljen tørket av overflaten på testobjektet manuelt før hver måling, og det var ikke sikkert at absolutt all oljen ble tørket av hver gang. Det var kun vektforandringen på grunn av oljen som hadde diffundert inn i testobjektet som skulle bli målt. Rusk og støvkorn kan også ha påvirket målingene, men siden testobjektet var relativt tungt ville ikke dette ha påvirket vektøkningen nevneverdig. Det manuelle arbeidet som ble utført på testobjektet fra det ble tatt ut av oljen til det ble målt var trolig den største feilkilden. Det var relativt liten forskjell mellom diffusjonsopptaket i de 5 testobjektene, og ingen målinger skilte seg ut fra resten.

# 5.2 Elektrisk trevekst

## 5.2.1 Gjennomslagspenning og spenning ved begynnende trevekst

For å teste hypotese 1 og 2 ble Slow Rate-of-Rise Test, eller rampetestmetoden brukt til å kartlegge gjennomslagsspenning og spenningen ved begynnende trevekst. Spenningen ble gradvis skrudd opp til det ble gjennomslag i testobjektene. Ved atmosfærisk trykk ble det funnet ut at gjennomslagstyrken var høyere i alle de våte testobjektene enn i de tørre. Gjennomsnittlig gjennomslagsspenning for de våte prøvene var 14,3 kV og 10 kV for de tørre. Ved 50 bar væsketrykk var gjennomsnittlig gjennomslagsspenning hhv. 19,3 kV og 12,3 kV for de våte og tørre testobjektene. Resultatene fra rampetesten viste at hypotese 1 (a) og 1 (b) stemte. Ved atmosfærisk trykk var forskjellen i gjennomsnittlig gjennomslagsspenning 4,3 kV, og ved 50 bar var forskjellen 7 kV. Disse resultatene viste at gjennomslagspenningen økte med både oljeinnhold og trykk. Som nevnt tidligere i teorien ville ikke trykket inne i isolasjonen være 50 bar. Resultatene tydet på at silikonet ble presset sammen slik at trykket inne i isolasjonen økte siden gjennomslagstyrken til silikonet var større ved 50 bar væsketrykk.

Rampetesten ble også brukt til å finne spenningen ved begynnende trevekst. Ved atmosfærisk trykk begynte det elektriske treet å vokse ved 4-5 kV for de tørre prøvene, og 5-6 kV for de våte prøvene. Ved 50 bar begynte det elektriske treet å vokse ved 8 kV for de tørre prøvene og 7-8 kV for de våte prøvene. Ved 50 bar ble det elektriske treet initiert ved høyere spenning, men det så ikke ut til at oljeinnholdet i prøven spilte noen rolle for når det elektriske treet begynte å vokse ved de respektive trykkene. I de våte testobjektene ble det elektriske treet initiert ved en lavere spenning enn i de tørre ved 50 bar. Siden spenningsforskjellen mellom våte og tørre testobjekter ved de respektive trykkene var så liten, var det vanskelig og si noe om hypotese 2 (a) og 2 (b) stemte. Nålspissen ble observert ved hjelp av mikroskopet, og det var vanskelig å avgjøre nøyaktig når det elektriske treet ble initiert. Dette var sannsynligvis den største feilkilden da tiden til begynnende trevekst ble kartlagt.

Som nevnt tidligere er det de lokale forholdene rundt nålspissen som avgjør når det elektriske treet initieres, og i alle de våte testobjektene ble det observert hulrom ved nålspissen. Siden silikonet var 100% mettet med olje ble det antatt at også hulrommet var fylt med olje. Olje har høyere holdfasthet enn luft [10], og hvis hulrommet hadde vært fylt med luft ville de partielle utladningene og treveksten forekommet ved en mye lavere spenning. Det elektriske treet startet ved nålspissen, vokste gjennom hulrommet og videre gjennom isolasjonen. Hulrommet kan ha bidratt til at det lettere ble dannet små sprekker i isolasjonen, noe som igjen kunne ha ført til at de elektriske egenskapene til isolasjonen ble svekket.

Hva som forårsaket hulrommet ved nålspissen er ikke kjent, men en mulig forklaring kan være at silikonet og nålen ble utvidet ved de forskjellige temperaturene som ble brukt for å mette testobjektet med olje. Graden av ekspansjon dividert med endringen i temperatur kalles materialets koeffisient av termisk ekspansjon og varierer generelt med temperatur. For silikon i området 0-200°*C* er den termiske ekspansjonskoeffisienten 30,87 \*  $10^{-5}$  °*C*<sup>-1</sup> [25], mens den er 1,74 \*  $10^{-5}$  °*C*<sup>-1</sup> for rustfritt stål [26]. Dette avhenger litt av typen silikon og rustfritt stål, men resultatene fra [25, 26] viser tydelig at den termiske ekspansjonskoeffisienten er større for polymerer enn metaller. Da testobjektene ble avkjølt fra 60 °*C* til 20 °*C* kunne silikonet ha vært mer utvidet enn nålen, og ikke krympet tilbake til sin opprinnelige form. Siden av nålen ble pusset med grovt sandpapir før støping slik at det ble god heft mot silikonet, men nålspissen ble ikke pusset. Det ble kun observert hulrom ved nålspissen, mens resten av nålen satt godt fast i isolasjonen for de våte testobjektene. Hulrommet kunne kanskje vært unngått hvis alle testobjektene hadde blitt mettet ved 20 °*C*, men det ble valgt en temperatur på 60°*C* for at testobjektene skulle bli mettet innen tidsbegrensingen gitt i denne oppgaven.

## 5.2.2 Lengdeutvikling

Utseende til det elektriske treet og vekstutviklingen i de 4 testtypene varierte veldig. Det var ikke forventet at treveksten skulle foregå på samme måte siden noen testobjekter ble testet under trykk, og noen testobjekter var mettet med olje. De to variablene gjorde det vanskelig å sammenligne treveksten i testobjektene, i tillegg til at forsøkene ble gjennomført ved ulike spenninger. Gjennomslagsspenningen og spenningen ved begynnende trevekst var så forskjellige i de 4 testene at dette var nødvendig. Spenningen avgjorde hvor raskt det elektriske treet vokste gjennom silikonet siden det elektriske feltet ved nålspissen økte lineært med påtrykket spenning (se kapittel 3.1.2). Spenningen ble valgt slik at det elektriske treet skulle initierts med en gang spenningen ble skrudd på, og det var også tilfelle i alle testobjektene. Etter at det elektriske treet begynner å vokse er de lokale geometriske forholdene ved enden av treet med på å avgjøre hvordan treveksten utvikler seg [5].

### Langtidstesting ved 1 bar

Ved sammenligning av tørre og våte testobjekter ved 1 bar var det tydelig at oljeinnholdet i silikonet påvirket den elektriske treveksten. Holdfastheten var høyere og treveksten foregikk like ved nålspissen i de oljemettede testobjektene. I rampetesten ble det kun observert trevekst like ved nålspissen i de våte prøvene før det elektriske treet hurtig vokste gjennom isolasjonen da gjennomslagsspenningen ble nådd. Dette ble også observert i testobjekt nr 7 under langtidstestingen. Treveksten ville trolig forekommet på samme måte i de andre våte testobjektene dersom en høyere spenning hadde blitt brukt. Da silikonet var 100% mettet med olje kunne de små hulrommene som ble dannet i isolasjonen som følge av PD ha blitt fylt med olje isteden for luft. Dette ville ført til at holdfastheten til isolasjonen økte, og dette er en mulig forklaring på hvorfor de våte testobjektene hadde en høyere holdfasthet enn de tørre. I de tørre testobjektene foregikk heller ikke treveksten med jevn hastighet gjennom isolasjonen. Det elektriske treet vokste raskt i starten før veksten stagnerte. Det ble foreslått at denne stagneringen skyldes lite karboninnhold i silikonet, noe som gjorde ledningsevnen i trekanalen dårlig [5].

#### Langtidstesting ved 50 bar

Det var også forskjell mellom de våte og tørre testobjektene ved 50 bar. Ved 50 bar ble det generelt brukt høyere spenninger fordi gjennomslagsspenningen og spenningen ved begynnende trevekst 50 bar var høyere. Det så ut til at et høyere trykk gjorde at holdfastheten i isolasjonen økte. Hvis trykket var konstant og hulrommet i isolasjonen ble mindre på grunn av sammenpressing kan dette sees på som en forflytning til venstre i Paschenkurven.

#### Tørre testobjekter

Det var lettest å observere en forskjell i vekstutviklingen for de tørre prøvene ved 1 og 50 bar. Ved 1 bar vokste det elektriske treet omvendt eksponentielt med hensyn på tiden i både bredden og lengden de første minuttene. Dette ble også observert ved 50 bar. Veksten stagnerte i begge tilfeller, men ved 50 bar stanset ikke veksten helt. Ved 50 bar fortsatte treveksten gjennom isolasjonen, men med en mye lavere hastighet enn de første minuttene. En mulig forklaring på dette kan være at det eksterne trykket presset isolasjonen sammen, og dermed kunne noe av gassen inne i trekanalen ha blitt presset ut av den. Dette ville ha ført til at det ble mindre gass i trekanalen og det elektriske treet begynte da å vokse igjen. Ved å se på vekstutviklingen i både lengde og bredden i figur 4.7 og 4.12 ser det ut til at veksten stanset og begynte igjen to ganger. Dette skjedde ved ca. 10-15 minutter og ca. 15-35 minutter. Rett før gjennomslag vokste treet raskt gjennom siste del av silikonet før den nådde jord og gjennomslag inntraff.

Ved 1 bar ble det også observert flere små trekanaler og mer buskvekst enn ved 50 bar. Ved å se på bildene i figur 4.11 er det tydelig at forbrenningen av silikon økte da det sto spenning over testobjektet uten at treet vokste hverken i bredden eller lengden. Spenningen sto også på i 120 minutter over alle testobjektene utenom testobjekt nr 1 ved 1 bar. Ved 50 bar ble det gjennomslag i alle tørre testobjekter innen 42 minutter. Det at spenningen sto på mye lengre ved 1 bar kan også forklare hvorfor det ble observert mer buskvekst i silikonet.

Det ble også observert at gjennomslagskanalen var mye større og tykkere ved 1 bar enn 50 bar. Det styrket teorien om at trykket presset silikonet og trekanalen sammen.

## Våte testobjekter

Det var vanskelig å sammenligne treveksten i de våte testobjektene ved forskjellige trykk siden det elektriske treet kun vokste gjennom en liten del av isolasjonen. Treveksten foregikk kun ved nålspissen for alle våte testobjekter bortsett fra testobjekt nr 7 der det elektriske treet plutselig penetrerte isolasjonen med stor hastighet. De våte testobjektene inneholdt mer karbon enn de tørre på grunn av oljen, og det kan ha ført til at trekanalen ble mer ledende. Ved 50 bar ble det først prøvd å gjennomføre langtidstestingen ved 18 kV. Det ble gjennomslag i første testobjekt etter 2 minutter og 17 sekunder. I det ene testobjektet som ble testet ved 17 kV ble det ikke gjennomslag i løpet av 60 timer, 1 minutt og 45 sekunder. Dette viste at en relativt liten spenningsforandring hadde stor innvirkning på levetiden.

Ut i fra resultatene og diskusjonen kan det konkluderes med at hypotese nr 3 ikke stemmer.

## 5.2.3 Temperatur og statistikk

Alle forsøkene med elektrisk trevekst ble gjennomført ved omgivelsestemperatur. I en undervannskabel vil temperaturen blant annet avhenge av laststrømmen, og temperaturen vil påvirke resultatene i eksperimentene som ble gjennomført. Dette gjaldt spesielt for oljeopptaket som vist i diffusjonsanalysen.

Ellers har det tatt veldig lang tid å lage testobjekter som ble brukt i forsøkene med elektrisk

trevekst. Dette var det flere årsaker til. For det første måtte det designes og lages en støpeform som gjorde at nålen ikke ble bøyd under støping. Det tok tid å klargjøre silikonet som skulle brukes i støpeformen og i tillegg tok det tid å støpe testobjektene enkeltvis. Det tok også over 40 dager å mette testobjektene med olje.

Det har i alt blitt gjennomført rampetester og langtidstesting på tilsammen 30 testobjekter. Disse har i tillegg blitt testet på 4 forskjellige måter, noe som gjorde at det ikke har blitt gjennomført et tilfredsstillende antall forsøk for å få en god statistikk. For å få en god statistikk er det nødvendig å repetere forsøkene mange ganger, slik at et avvikende resultat ikke påvirker sluttstatistikken. Dette gjelder spesielt for elektrisk trevekst siden det er et stokastisk fenomen som vanskelig lar seg beskrive av matematiske modeller.

## 5.2.4 Mikroskopet

I mikroskopet ble det brukt et objektiv med mulighet for 40 ganger forstørrelse, og denne forstørrelsen ble brukt til å ta alle bildene av elektrisk trevekst. Det ble forsøkt å bruke et objektiv med mulighet for 100 ganger forstørrelse, men avstanden fra utsiden av tanken og inn til testobjektet var i underkant av 5 cm. Det var ikke mulig å bruke dette objektivet siden det ville ha krevd en mindre avstand mellom testobjektet og objektivet for å fokusere på nål-plategapet. Objektivet med 40 ganger forstørrelse måtte stå ca. 3 cm utenfor veggen til tanken for at det skulle bli skarpe bilder, men nål-plategapet dekte bare halve skjermen på mikroskopet. Det hadde sannsynligvis vært bedre å bruke et objektiv med mellom 40 og 100 ganger forstørrelse for at bildet av treveksten skulle blitt bedre. Det hadde ført til større bilder og økt nøyaktighet i analysen av det elektriske treet. Et slikt objektiv ble imidlertid ikke funnet eller anskaffet.

Det ble også forsøkt å ta video av treveksten siden det ble valgt å fokusere spesielt på startfasen. Det viste seg at oppløsningen på filmen som ble tatt var så liten at det elektriske treet knapt syntes. Løsningen ble å ta bilder av nål-plategapet hvert 15. sekund. Mikroskopet kunne ikke ta bilder med en raskere frekvens enn dette for å få bilder med tilfredsstillende oppløsning. Dette viste seg å være en grei løsning, og det elektriske treet kunne observeres kontinuerlig på skjermen selv om det ikke ble tatt mer enn 4 bilder i minuttet.

# 5.3 Mekaniske egenskaper

Strekktestene var kun en liten del av oppgaven og ble gjennomført for å undersøke hypotesen om at oljen forandrer de mekaniske egenskapene til silikonet. Resultatene sier også noe om mykheten i silikonet, og kan brukes som et argument for påstanden om at trevekstkanalen presses sammen når trykket øker.

Ut i fra resultatene i strekktesten så det ut til at oljeinnholdet påvirket de mekaniske egenskapene til silikonet. Dette kan sees ved at de tørre testobjektene kunne strekkes lenger i tillegg til at strekkraften ved brudd var større for disse prøvene. Det ble gjennomført 5 målinger på våte testobjekter og 5 målinger på tørre testobjekter og resultatene var innenfor samme størrelsesorden for de respektive målingene. Det er derfor grunn til å tro at resultatene er pålitelige og at hypotese nr 4 stemmer. Testobjektene for diffusjon kjentes også mer bøyelige ut da de var mettet med olje. Hundebeintestobjektene ble mettet på samme måte som testobjektene for diffusjon, men det er ikke grunn til å tro at temperaturen på  $60^{\circ}C$  kan ha påvirket de mekaniske egenskapene siden silikonet tåler temperaturer på opp til  $210^{\circ}C$ . Hva oljen gjorde med silikonet var imidlertid ukjent, men en mulighet var at oljen tok opp plass mellom molekylene i silikonet og gjorde bindingene mellom molekylene svakere. Det kan også være en mulighet for at oljen brøt opp bindingene inne i silikonmolekylet.

# 5.4 Testobjektene

En stor feilkilde i eksperimentene som ble gjennomført var testobjektene. Dette gjaldt både for diffusjonsanalysen og strekktestene, og dette var trolig den største feilkilden i trevekstanalysen. Det var vanskelig å lage testobjektene 100% like, og det var vanskelig å oppdage små hulrom eller deformasjoner bare ved å se på testobjektene i mikroskop.

Pinsettet og papiret som ble brukt til å tørke av olje kan ha laget riper i testobjektene for diffusjon og dette kan ha ført til at oljeopptaket økte i disse prøvene. Siden testobjektene i diffusjonsanalysen var relativt tunge og oljeopptaket var i samme størrelsesorden hadde riper trolig ikke påvirket resultatene i nevneverdig grad.

I forsøkene med elektrisk trevekst var nålen og området rundt denne trolig den største feilkilden. Ulik lengde i nål-plategapet og radius på nålen ville ha vært med på å bestemme feltstyrken. Avstanden mellom elektrodene ble målt med mikroskop før og etter støping, og testobjekter med avstand utenfor nøyaktighetsmarginen ble vraket. Nåler med deformert spiss ble kastet. Det ble antatt at alle nålene hadde lik radius, selv om radiusen bare ble målt på en nål.

Testobjektene som ble brukt i strekktesten burde også være helt like for å få pålitelige resultater. Disse testobjektene var 0,5 mm tykke, og strekkraften vil nødvendigvis være avhengig av tykkelsen. Tykkelsen til alle testobjekter ble målt, men siden testobjektene var så tynne var denne vanskelig å måle denne nøyaktig. En liten deformasjon eller rift i testobjektet ville også ha påvirket resultatene i strekktesten, men det ble ikke observert skader på testobjektene da de ble undersøkt med mikroskopet før strekkmålingene.
# KAPITTEL 6

## Konklusjon

## 6.1 Konklusjon

Det meste av tiden gikk med til å lage testobjekter, og å sette opp testoppsettet for elektrisk trevekst under trykk. Trevekstforsøk med trykk og olje har sannsynligvis ikke blitt gjennomført tidligere, og en del av oppgaven var å se om det faktisk var mulig å lage et testoppsett for å gjennomføre slike eksperimenter. Noen av resultatene er derfor unike i forskningssammenheng, og testoppsettet kan brukes til videre forskning også på andre typer isolasjonsmaterialer som brukes i subseakonnektorer. Resultatene fra forsøkene tydet på følgende:

- Det tok omtrent 40 dager å mette de 6x24x26 mm store testobjektene som ble brukt til forsøk med elektrisk trevekst. Dette gjaldt om de lå 10 dager i olje som holdt en temperatur på 60 °C, og deretter 30 dager i olje som holdt en temperatur på 20 °C. Det var mulig at denne metoden gjorde at det ble hulrom rundt nålspissen i testobjektet, noe som kan ha påvirket initieringen av det elektriske treet. Gjennomsnittlig diffusjonskonstant for disse testobjektene ved 60 °C var 3.06 \* 10<sup>-11</sup>  $\frac{m^2}{s}$ .
- Det så ikke ut til at oljeinnholdet hadde stor betydning for spenningen ved begynnende trevekst ved hverken atmosfærisk trykk eller 50 bar væsketrykk. Alle våte testobjekter hadde hulrom rundt nålspissen, men siden de var mettet med olje ble det antatt at også hulrommet var fylt med olje.
- Gjennomslagsspenningen var høyere for silikon som var mettet med olje enn silikon

som ikke inneholdt olje. Dette gjaldt både ved atmosfærisk trykk og 50 bar væsketrykk. Årsaken kan ha vært at oljen fylte opp hulrommene som ble dannet ved partielle utladninger, og olje har høyere holdfasthet enn luft.

• Gjennomsnittlig gjennomslagspenning fra rampetesten er gjengitt i tabellen under. Hver testtype ble repetert 4 ganger.

	Uten olje	Med olje
1 bar	10,0 kV	14,3 kV
50 bar	12,3 kV	19,3 kV

Tabell 6.1: Gjennomsnittlig gjennomslagsspenning.

- Strukturen og vekstutviklingen i bredden og lengden var avhengig av:
  - 1. trykket rundt testobjektet
  - 2. oljeinnholdet i testobjektet
- I de våte testobjektene vokste det elektriske treet kun et lite stykke ut fra nålspissen før veksten stagnerte. I de tilfelle gjennomslag inntraff vokste det elektriske treet meget hurtig gjennom siste del av isolasjonen. Dette ble observert både ved atmosfærisk trykk og 50 bar væsketrykk.
- I de tørre testobjektene vokste det elektriske treet med omvendt eksponentiell hastighet med hensyn på tiden i både lengde og bredde retning de første minuttene. Ved atmosfærisk trykk stagnerte veksten, mens forbrenningen i trekanalen som hadde blitt utviklet fortsatte. Ved 50 bar væsketrykk stagnerte også veksten, men den stanset ikke helt. Treveksten fortsatte med varierende hastighet gjennom resten av isolasjonen. Dette kan ha skyldes at trykket presset trekanalen sammen og dermed kunne gassen inne i trekanalen ha blitt presset ut av den.
- Resultatene fra strekktesten viste at oljen påvirket de mekaniske egenskapene til silikon, uten at det lyktes å finne ut hva oljen gjorde med silikonet.
- Det ble litt knapt med tid til å gjennomføre mange tester med elektrisk trevekst. Flere tester hadde gitt et bedre statistisk grunnlag for konklusjonen, men liten variasjon tydet på at resultatene var pålitelige.

## 6.2 Videre arbeid

For å få et bedre statistisk grunnlag er det nødvendig å repetere testene med elektrisk trevekst flere ganger. Det kunne også vært interessant å gjennomføre langtidstestingen ved andre spenningsnivåer som kanskje hadde gitt resultater som lettere lot seg sammenligne.

Det er aktuelt å mette testobjektene av silikon med olje ved en annen temperatur for å se om det er temperaturforandringen, oljen eller begge deler som forårsaker hulrommet ved nålspissen. Det hadde også vært mulig å lage testobjekter med mindre størrelse for at de raskere skulle gå i metning. Isåfall må det lages et nytt stativ inne i trykktanken der disse testobjektene passer.

Testoppsettet kan også brukes til å teste elektrisk trevekst under trykk for også andre isolasjonsmaterialer som f.eks. epoksy.

Trykktanken er dimensjonert for å tåle trykk opp til 150 bar. Det kunne vært interessant å gjennomføre forsøk med elektrisk trevekst ved andre trykk for å f.eks. finne ut om gjennomslagsspenningen øker proporsjonalt med trykket.

## Litteraturliste

- [1] Rune Gravaune. Elektrisk trevekst i isolasjonsmateriale for høyspenning subsea ac konnektorer. *NTNU*, 2014.
- [2] Kristian Fauskanger. Elektrisk trevekst i kryssbundet polyetylen (pex) kabelisolasjon ved ulike spenninger og frekvenser. 2013.
- [3] SpecTron Medium and High Power Electrical Connencor Systems.
- [4] Jeannie Urquhart Bruce Duncan and Simon Roberts. Review of measurement and modelling of permeation and diffusjon in polymers. Technical report, 2005.
- [5] B.X. Du, Z.L. Ma, and Y. Gao. Phenomena and mechanism of electrical tree in silicone rubber. In *Properties and Applications of Dielectric Materials, 2009. ICPADM 2009. IEEE* 9th International Conference on the, pages 37–40, July 2009.
- [6] B.X. Du, Z.L. Ma, Y. Gao, and T. Han. Effect of ambient temperature on electrical treeing characteristics in silicone rubber. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions* on, 18(2):401–407, April 2011.
- [7] A S Malonvski M D Noskov, M Sack and A J Schwab. Measurement and simulation of electrical tree growth and partial discharges activity in epoxy resin. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2001.
- [8] Chi-Hung Shen and George S Springer. Moisture absorption and desorption of composite materials. *Journal of Composite Materials*, 10(1):2–20, 1976.
- [9] Th.E.M. ten Hulscher and G. Cornelissen. Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants - a review. *Chemosphere*, 32(4):609 – 626, 1996.

- [10] Erling Ildstad. TET 4160 High Voltage Insulating Materials. NTNU, 2012.
- [11] M.Nawta H.Kawamura and M.Ieda. Voltage and temperature dependence of treeing breakdown in plastic insulators. Technical report, Internationales Symposium Hochspannungstechnic, Munchen, 1972.
- [12] Ketil Stokland. Elektrisk trevekst i ekstrudert polypropylen (pp) kabelisolasjon. 2010.
- [13] Len A Dissado and John C Fothergill. *Electrical degradation and breakdown in polymers*. Number 9. IET, 1992.
- [14] Ulrich Stroth. Materialen zu vorlesungen der plasmaphysik. http://www.ipf. uni-stuttgart.de/lehre/plasmaphys/p70\_03.html,05.10.14.
- [15] Erling Ildstad, Kristian Fauskanger, and Jorunn Holto. Electrical treeing from needle implants in xlpe during very low frequency (vlf) voltage testing. In *Solid Dielectrics* (ICSD), 2013 IEEE International Conference on, pages 800–803. IEEE, 2013.
- [16] Erling Ildstad and Faremo Halvard. Electrical treeing and field restoration of water treed xlpe cables. In NORD-IS96.
- [17] Hallvard Faremo and Erling Ildstad. Rehabilitation of water tree aged xlpe cable insulation. In *Electrical Insulation*, 1994., Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium on, pages 188–192. IEEE, 1994.
- [18] H.-Z. Ding and B.R. Varlow. Mechanically prestressed composite dielectrics and improvement of electrical tree growth resistance. In *Solid Dielectrics, 2004. ICSD 2004. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on*, volume 2, pages 775–779 Vol.2, July 2004.
- [19] Xiaoquan Zheng and George Chen. Propagation mechanism of electrical tree in xlpe cable insulation by investigating a double electrical tree structure. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on*, 15(3):800–807, 2008.
- [20] Fluid Mechanics: Fundamentals and Application. McGraw Hill Higher Education, 2011.
- [21] G. Berg, H.H. Saeternes, J. Aakervik, and S. Hvidsten. The effect of hydrostatic pressure on electrical treeing in silicone cable joints. In *Electrical Insulation (ISEI), Conference Record of the 2012 IEEE International Symposium on*, pages 609–612, June 2012.

- [22] KC Kao, HK Xie, and DM Tu. Electrical treeing in polyethylene under hydrostatic pressures. *Journal of electrostatics*, 16(1):115–121, 1984.
- [23] Johannes Skaar. TFE 4120 Elektromagnetisme. NTNU, 2012.
- [24] Test method for dielectric breakdown voltage and dielectric strength of solid electrical insulating materials at commercial power frequencies, astm international d 149-97a, 2009.
- [25] LC Sim, SR Ramanan, H Ismail, KN Seetharamu, and TJ Goh. Thermal characterization of al2o3 and zno reinforced silicone rubber as thermal pads for heat dissipation purposes. *Thermochimica acta*, 430(1):155–165, 2005.
- [26] Dean Deng and Hidekazu Murakawa. Numerical simulation of temperature field and residual stress in multi-pass welds in stainless steel pipe and comparison with experimental measurements. *Computational materials science*, 37(3):269–277, 2006.

# VEDLEGG A

## Diffusjon

## A.1 Kurvetilnærmingsplotting for diffusjonskonstanter

Vedlagt finnes kurvetilnærmingsplottene som er brukt for å finne diffusjonskonstantene i silikon. C M(t)/Minf er målt vekt delt på vekten ved metning, og C formel er plottet av ligning 2.2. Diffusjonskonstanten er gjengitt under hver figur og er målt ved 60 °C. Alle testobjektene var 6 mm tykke.



Figur A.1: Silikon testobjekt nr 1. Diffusjonskonstanten ble målt til  $3.01 * 10^{-11} \frac{m^2}{s}$ .



Figur A.2: Silikon testobjekt nr 2. Diffusjonskonstanten ble målt til  $3.11 * 10^{-11} \frac{m^2}{s}$ .



Figur A.3: Silikon testobjekt nr 3. Diffusjonskonstanten ble målt til  $3.12 * 10^{-11} \frac{m^2}{s}$ .



Figur A.4: Silikon testobjekt nr 4. Diffusjonskonstanten ble målt til 2.95 \*  $10^{-11} \frac{m^2}{s}$ .



Figur A.5: Silikon testobjekt nr 5. Diffusjonskonstanten ble målt til  $3.11 * 10^{-11} \frac{m^2}{s}$ .

## A.2 Måledata for diffusjonseksperiment

Tid[dager]	Vekt[mg]	Vektøkning[%]
0.00	3.7676	0.00
0.05	3.8090	1.10
0.09	3.8218	1.44
0.13	3.8312	1.69
0.18	3.8405	1.93
0.22	3.8481	2.14
0.26	3.8549	2.32
0.30	3.8605	2.47
1.05	3.9405	4.59
1.13	3.9445	4.70
1.21	3.9485	4.80
1.30	3.9525	4.91
2.05	3.9852	5.78
2.28	3.9908	5.92
3.13	4.0075	6.37
6.14	4.0295	6.95
7.20	4.0315	7.00
8.29	4.0320	7.02
10.29	4.0326	7.03
13.14	4.0329	7.04
16.08	4.0321	7.02
21.02	4.0330	7.04
21.07	4.0268	6.88
21.14	4.0240	6.81
21.20	4.0213	6.73
21.27	4.0199	6.70
22.09	4.0036	6.26
22.15	4.0024	6.23

22.22	4.0018	6.22
23.11	3.9908	5.92
27.13	3.9667	5.28
28.03	3.9641	5.22
29.13	3.9597	5.10
31.13	3.9536	4.94
34.04	3.9489	4.81
49.18	3.9441	4.68
52.17	3.9442	4.69
59.04	3.9443	4.69

Tabell A.1: Diffusjonsdata for prøve #1.

Tid[dager]	Vekt[mg]	Vektøkning[%]
0.00	3.7680	0.00
0.05	3.8110	1.14
0.09	3.8237	1.48
0.13	3.8335	1.74
0.18	3.8424	1.97
0.22	3.8499	2.17
0.26	3.8570	2.36
0.30	3.8625	2.51
1.05	3.9419	4.62
1.13	3.9460	4.72
1.21	3.9501	4.83
1.30	3.9540	4.94
2.05	3.9865	5.80
2.28	3.9920	5.94
3.13	4.0102	6.43
6.14	4.0308	6.97
7.20	4.0326	7.02

4.0332	7.04
4.0335	7.05
4.0338	7.05
4.0330	7.03
4.0336	7.05
4.0278	6.89
4.0243	6.80
4.0219	6.74
4.0194	6.67
4.0037	6.26
4.0028	6.23
4.0021	6.21
3.9915	5.93
3.9668	5.28
3.9643	5.21
3.9596	5.08
3.9541	4.94
3.9493	4.81
3.9443	4.68
3.9445	4.68
3.9447	4.69
	4.0332 4.0335 4.0338 4.0330 4.0336 4.0278 4.0278 4.0243 4.0219 4.0194 4.0037 4.0028 4.0021 3.9915 3.9668 3.9643 3.9541 3.9596 3.9541 3.9443 3.9443 3.9445 3.9447

Tabell A.2: Diffusjonsdata for prøve #2.

Tid[dager]	Vekt[mg]	Vektøkning[%]
0.00	3.7612	0.00
0.05	3.8054	1.18
0.09	3.8170	1.48
0.13	3.8264	1.73
0.18	3.8360	1.99

0.22	3.8431	2.18
0.26	3.8500	2.36
0.30	3.8557	2.51
1.05	3.9343	4.60
1.13	3.9380	4.70
1.21	3.9425	4.82
1.30	3.9470	4.94
2.05	3.9779	5.76
2.28	3.9837	5.92
3.13	4.0010	6.38
6.14	4.0211	6.91
7.20	4.0227	6.95
8.29	4.0243	7.00
10.29	4.0240	6.99
13.14	4.0248	7.01
16.08	4.0238	6.98
21.02	4.0237	6.98
21.07	4.0184	6.84
21.14	4.0148	6.74
21.20	4.0126	6.68
21.27	4.0099	6.61
22.09	3.9941	6.19
22.15	3.9937	6.18
22.22	3.9932	6.17
23.11	3.9822	5.88
27.13	3.9578	5.23
28.03	3.9547	5.14
29.13	3.9508	5.04
31.13	3.9446	4.88
34.04	3.9403	4.76
49.18	3.9351	4.62

52.17	3.9351	4.62
59.04	3.9350	4.62

Tabell A.3: Diffusjonsdata for prøve #3.

Tid[dager]	Vekt[mg]	Vektøkning[%]
0.00	3.7845	0.00
0.05	3.8283	1.16
0.09	3.8407	1.49
0.13	3.8500	1.73
0.18	3.8583	1.95
0.22	3.8657	2.15
0.26	3.8734	2.35
0.30	3.8780	2.47
1.05	3.9581	4.59
1.13	3.9626	4.71
1.21	3.9660	4.80
1.30	3.9701	4.90
2.06	4.0027	5.77
2.28	4.0082	5.91
3.13	4.0257	6.37
6.14	4.0489	6.99
7.20	4.0503	7.02
8.29	4.0510	7.04
10.29	4.0516	7.06
13.14	4.0522	7.07
16.08	4.0522	7.07
21.02	4.0522	7.07
21.08	4.0469	6.93
21.14	4.0439	6.85
21.20	4.0411	6.78

21.27	4.0390	6.72
22.09	4.0228	6.30
22.16	4.0228	6.30
22.22	4.0220	6.28
23.11	4.0116	6.00
27.13	3.9865	5.34
28.03	3.9836	5.26
29.13	3.9797	5.16
31.13	3.9739	5.00
34.04	3.9692	4.88
49.18	3.9630	4.72
52.17	3.9633	4.72
59.04	3.9632	4.72

Tabell A.4: Diffusjonsdata for prøve #4.

Tid[dager]	Vekt[mg]	Vektøkning[%]
0.00	3.7704	0.00
0.05	3.8144	1.17
0.10	3.8269	1.50
0.13	3.8359	1.74
0.18	3.8445	1.97
0.22	3.8518	2.16
0.26	3.8586	2.34
0.30	3.8636	2.47
1.05	3.9431	4.58
1.13	3.9474	4.69
1.21	3.9513	4.80
1.30	3.9557	4.91
2.06	3.9881	5.77
2.28	3.9939	5.93

3.13	4.0121	6.41
6.14	4.0332	6.97
7.20	4.0348	7.01
8.29	4.0351	7.02
10.29	4.0355	7.03
13.14	4.0355	7.03
16.08	4.0348	7.01
21.02	4.0350	7.02
21.08	4.0293	6.87
21.14	4.0262	6.78
21.20	4.0241	6.73
21.27	4.0219	6.67
22.09	4.0069	6.27
22.15	4.0060	6.25
22.22	4.0054	6.23
23.11	3.9947	5.95
27.13	3.9703	5.30
28.03	3.9674	5.22
29.13	3.9626	5.10
31.13	3.9572	4.95
34.04	3.9522	4.82
49.18	3.9469	4.68
52.17	3.9467	4.68
59.04	3.9469	4.68

Tabell A.5: Diffusjonsdata for prøve #5.

# VEDLEGG **B**

# **Elektrisk Trevekst**

Her finnes data som er brukt til å lage grafer av bredde og lengdeutvikling for:

- 1. Tørr silikon ved atmosfærisk trykk.
- 2. Våt silikon ved atmosfærisk trykk.
- 3. Tørr silikon ved 50 bar trykk.
- 4. Våt silikon ved 50 bar trykk.

		Lengde	e [%]			Bredo	le [µm]				Lengo	le [%]			Bred	lde [µm]	
Tid	nr1	nr2	nr3	nr4	nr1	nr2	nr3	nr4	Tid	nr1	nr2	nr3	nr4	nr1	nr2	nr3	nr4
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	20.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
0.25	35	27	25	27	500	509	364	364	20.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
0.50	45	42	27	44	533	800	509	618 727	20.7	5 6:	8 80	47	75	767	982	655	1091
1.00	57	49	29	47 58	633	909	527	836	21.0	5 63	00 80 2 80	47	75	767	902	655	1091
1 25	58	63	29	65	633	945	527	909	21.2	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
1.50	59	64	36	67	667	945	582	982	21.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
1.75	59	67	36	68	667	982	582	1055	22.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
2.00	59	68	44	72	667	982	655	1091	22.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
2.25	59	70	44	74	667	982	655	1091	22.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
2.50	59	70	44	75	667	982	655	1091	22.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
2.75	59	70	44	75	733	982	655	1091	23.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
3.00	59	70	44	75	767	982	655	1091	23.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
3.25	59	70	44	75	767	982	655	1091	23.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
3.50	60	70	44	75	767	982	655	1091	23.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
3.75	62	72	44	75	767	982	655	1091	24.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
4.00	63	73	44	75	767	982	655	1091	24.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
4.25	63	73	44	75	767	982	655	1091	24.5	U 6:	8 80	47	75	767	982	655	1091
4.50	63	75	44	75	767	962	655	1091	24.7	0 63	00 80 2 80	47	75	767	902	655	1091
5.00	63	76	44	75	767	982	655	1091	25.0	5 6	8 80	47	75	767	982	655	1091
5.25	63	76	44	75	767	982	655	1091	25.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
5.50	63	78	47	75	767	982	655	1091	25.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
5.75	63	78	47	75	767	982	655	1091	26.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
6.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	26.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
6.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	26.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
6.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	26.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
6.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	27.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
7.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	27.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
7.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	27.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
7.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	27.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
7.75	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	28.0	0 6:	8 80	47	75	/6/	982	655	1091
8.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	28.2	5 6:	8 80	47	75	767	982	655	1091
8.25	62	80	47	75	767	982	655	1091	28.5	5 63	s 80 s 90	47	75	767	982	655	1091
8.30	63	80	47	75	767	982	655	1091	20.7	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
9.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	29.2	5 6	8 80	47	75	767	982	655	1091
9.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	29 5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
9.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	29.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
9.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	30.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
10.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	30.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
10.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	30.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
10.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	30.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
10.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	31.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
11.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	31.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
11.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	31.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
11.50	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	31.7	5 6:	8 80	47	75	/6/	982	655	1091
12.00	62	00 90	47	75	767	962	655	1091	32.0	5 63		47	75	767	902	655	1091
12.00	63	80 80	47	75	767	962	655	1091	32.2	0 63	00 80 2 80	47	75	767	902	655	1091
12.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	32.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
12.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	33.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
13.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	33.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
13.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	33.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
13.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	33.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
13.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	34.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
14.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	34.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
14.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	34.5	0 63	80	47	75	767	982	655	1091
14.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	34.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
14.75	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	35.0	0 6:	8 80	47	75	/6/	982	655	1091
15.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	35.4	5 6:	8 80	47	75	767	982	655	1091
15.25	63	80 80	47	75	767	962	655	1091	35.3	5 63	00 80 2 80	47	75	767	902	655	1091
15.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	36.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
16.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	36.2	5 63	80	47	75	767	982	655	1091
16.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	36.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
16.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	36.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
16.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	37.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
17.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	37.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
17.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	37.5	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
17.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	37.7	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
17.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	38.0	0 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
18.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	38.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
18.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	38.5	U 63	s 80	47	75	767	982	655	1091
18.50	63	80	4/	75	/6/	982	055	1091	38.7		b 80	4/	75	/6/	982	655	1091
18.75	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	39.0	U 63	5 80 2 00	47	75	767	982	655	1091
10.00	63	80 20	47 17	75	70/	982 083	655	1091	39.2	0 63	20 s	47	/5 75	70/	982 982	655	1001
19.25	63	00 80	47 47	75	767	982	655	1091	39.5	5 6	, 60 3 RU	47 47	75	767	902 987	655	1091
19.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	40 0	0 6	3 80	47	75	767	982	655	1091
20.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	40.2	5 63	8 80	47	75	767	982	655	1091
•					• ÷			-						1 T			

		Lengde	[%]			Bredd	e [µm]				Lengd	e [%]			Bredd	e [µm]	
Tid	nr1	nr2 r	nr3	nr4	nr1	nr2	nr3	nr4	Tid	nr1	nr2	nr3	nr4	nr1	nr2	nr3	nr4
40.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	60.75	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
40.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	61.00	73	80	47	75	817	982	655	1091
41.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	61.25	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
41.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	61.50	73	80	47	75	817	982	655	1091
41.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	61.75	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
41.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	62.00	73	80	47	75	817	982	655	1091
42.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	62.25	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
42.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	62.50	73	80	47	75	817	982	655	1091
42.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	62.75	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
42.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	63.00	73	80	47	75	817	982	655	1091
43.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	63.25	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
43.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	63.50	73	80	47	75	817	982	655	1091
43.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	63.75	5 73	80	47	75	817	982	655	1091
43.75	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	64.00	/3	80	47	75	81/	982	655	1091
44.00	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	64.25	/3	80	47	75	81/	1018	655	1091
44.25	63	80	47	75	767	982	055	1091	64.50	/3	80	47	75	81/	1018	055	1091
44.50	63	80	47	75	707	982	055	1091	64.73	73	80	47	75	017	1018	055	1091
44.75	63	80	47	75	767	982	055	1091	65.00	73	80	47	75	017	1018	055	1091
45.00	62	80	47	75	767	092	655	1091	65.50	73	80	47	75	017	1010	655	1091
45.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	65.7	73	80	47	75	817	1018	655	1091
45.50	62	80	47	75	767	092	655	1001	66.00	73	80	47	75	017	1010	655	1001
45.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	66.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091
46.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	66.50	73	80	47	75	817	1010	655	1091
46 50	63	80	47	75	767	982	655	1091	66.7	73	80	47	75	817	1018	655	1091
46.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	67.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
47.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	67.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
47.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	67.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
47.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	67.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
47.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	68.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
48.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	68.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
48.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	68.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
48.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	68.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
48.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	69.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
49.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	69.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
49.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	69.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
49.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	69.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
49.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	70.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
50.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	70.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
50.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	70.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
50.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	70.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
50.75	63	80	47	75	767	982	655	1091	71.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
51.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	71.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
51.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	71.50	0 73	80	47	75	817	1018	655	1091
51.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	71.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
51.75	63	80	47	75	/6/	982	655	1091	72.00	/3	80	47	75	81/	1018	655	1091
52.00	63	80	47	75	767	982	055	1091	72.23	73	80	47	75	017	1018	055	1091
52.25	62	80	47	75	767	962	655	1091	72.50	73	00 90	47	75	01/	1010	655	1091
52.50	63	80	47	75	767	982	655	1091	73.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
53.00	63	80	47	75	767	982	655	1091	73.00	73	80	47	75	817	1010	655	1091
53.25	63	80	47	75	767	982	655	1091	73.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
53.50	64	80	47	75	767	982	655	1091	73.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
53.75	64	80	47	75	767	982	655	1091	74.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
54.00	64	80	47	75	767	982	655	1091	74.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
54.25	64	80	47	75	767	982	655	1091	74.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
54.50	64	80	47	75	767	982	655	1091	74.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
54.75	64	80	47	75	767	982	655	1091	75.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
55.00	64	80	47	75	767	982	655	1091	75.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
55.25	64	80	47	75	767	982	655	1091	75.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
55.50	64	80	47	75	767	982	655	1091	75.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091
55.75	64	80	47	75	767	982	655	1091	76.00	0 73	80	47	75	817	1018	655	1091
56.00	64	80	47	75	767	982	655	1091	76.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
56.25	64	80	47	75	/6/	982	655	1091	76.50	/3	80	47	75	817	1018	655	1091
56.50	64	80	47	75	/6/	982	655	1091	76.75	/3	80	47	75	81/	1018	655	1091
50.75	64	80	4/	75	10/	982	055	1091	77.00	/ /3	80	4/	75	81/	1018	055 655	1001
57.00	64 64	8U 00	4/ 17	75	/0/ ר2ר	982 007	055	1091	77.25	/3	80	47 17	/5 75	017	1010	055 655	1001
57.25	72	00 90	4/ /7	75	707	202 097	000	1091	77.50	/ /3 5 72	80 00	47 17	75	01/ Q17	1010	055	1001
57.50	72	00 QA	47 17	75	217	202	655	1091	79.00	/ /3 72	00 00	47 17	75	Q17	1010	655	1091
58.00	72	00 20	47 /17	75	01/ 917	902 083	655	1091	70.00	73	00 20	47	75	Q17	1010	655	1091
58.00	73	00 20	47 47	75	817	902	655	1091	79.50	73	00 RU	47 //7	75	817	1010	655	1091
58 50	73	80	47	75	817	982	655	1091	78.70	73	80	47	75	817	1018	655	1091
58.75	73	80	47	75	817	982	655	1091	79.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
59.00	73	80	47	75	817	982	655	1091	79.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
59.25	73	80	47	75	817	982	655	1091	79.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
59.50	73	80	47	75	817	982	655	1091	79.7	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
59.75	73	80	47	75	817	982	655	1091	80.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091
60.00	73	80	47	75	817	982	655	1091	80.25	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091
60.25	73	80	47	75	817	982	655	1091	80.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091
60.50	73	80	47	75	817	982	655	1091	80.75	5 73	80	47	75	817	1018	655	1091

		Lengo	le [%]			Bredo	le [µm]			I	Lenge	de [%]			Brede	de [µm]	
Tid	nr1	nr2	nr3	nr4	nr1	nr2	nr3	nr4	Tid	nr1	nr2	nr3	nr4	nr1	nr2	nr3	nr4
81.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	101.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
81.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	101.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
81.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	101.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
81.75	73	80	47	75	81/	1018	655	1091	102.00	200	80	47	75	81/	1018	655	1091
82.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	102.23	200	80	47	75	817	1018	655	1091
82.50	73	80	47	75	817	1010	655	1091	102.50	200	80	47	75	817	1010	655	1091
82.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	103.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
83.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	103.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
83.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	103.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
83.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	103.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
83.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	104.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
84.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	104.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
84.25	73	80	47	75	81/	1018	655	1091	104.50	200	80	47	75	81/	1018	655	1091
84.50 84.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	104.75	200	80 80	47	75	817	1018	655	1091
85.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	105.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
85.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	105.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
85.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	105.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
85.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	106.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
86.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	106.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
86.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	106.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
86.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	106.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
80.75	73	80	47 17	/5 75	81/	1018	655	1091	107.00	200	80	47	/5 75	017	1018	655 655	1091
87.00	73	08 08	47 47	75	817	1018	035 655	1091	107.25	200	20 20	47 47	/5 75	817	1018	000	1091
87.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	107.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
87.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	108.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
88.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	108.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
88.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	108.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
88.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	108.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
88.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	109.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
89.00	73	80	47	75	81/	1018	655	1091	109.25	200	80	47	75	81/	1018	655	1091
89.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	109.30	200	80 80	47	75	817	1018	655	1091
89.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	110.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
90.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	110.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
90.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	110.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
90.50	73	80	47	75	817	1018	655	1091	110.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
90.75	73	80	47	75	817	1018	655	1091	111.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
91.00	73	80	47	75	817	1018	655	1091	111.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
91.25	73	80	47	75	817	1018	655	1091	111.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
91.50	73	80	47	75	81/	1018	655	1091	111.75	200	80	47	75	81/	1018	655	1091
91.75	95	80	47	75	817	1018	655	1091	112.00	200	80 80	47	75	817	1018	655	1091
92.25	100	80	47	75	817	1010	655	1091	112.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
92.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091	112.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
92.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	113.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
93.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091	113.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
93.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091	113.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
93.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091	113.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
93.75	200	80	47	/5 75	81/ 917	1018	655 655	1091	11/ 25	200	08 00	47 17	/5 75	81/ 917	1018	655 655	1091
94.00	200	00 RU	47 17	75	817	1018	655	1091	114.25	200	00 20	47 47	75	817	1018	655	1091
94.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091	114.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
94.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	115.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
95.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091	115.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
95.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091	115.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
95.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091	115.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
95.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	116.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
96.00	200	80	47	/5 75	81/ 917	1018	655 655	1091	116.25	200	08 00	47 17	/5 75	81/ 917	1018	655 655	1091
96.25	200	00 80	47 47	75	817	1018	655	1091	116.50	200	00 80	47	75	817	1018	655	1091
96.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	117.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
97.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091	117.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
97.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091	117.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
97.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091	117.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
97.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	118.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
98.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091	118.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
98.25	200	80	47	/5 75	81/ 917	1018	655 655	1091	118.50	200	08 00	47 17	/5 75	81/ 917	1018	655 655	1091
98.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	119.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
99.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091	119.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091
99.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091	119.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091
99.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091	119.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091
99.75	200	80	47	75	817	1018	655	1091	120.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091
100.00	200	80	47	75	817	1018	655	1091		D	. I. ·						
100.25	200	80	47	75	817	1018	655	1091		Bredde o	g lengde	utvikling	for tørre	testobjek	ter ved atm	nostærisk t	rykk
100.50	200	80	47	75	817	1018	655	1091									
101.75	200	80 80	47	75	817	1018	055 655	1091									
•																	

		Lengde	e [%]			Bredde	[µm]				Lengde	[%]			Bredde	[µm]	
Tid	nr5	nr6 I	nr7 r	nr8	nr5 n	r6 n	r7 nr8		Tid	nr5	nr6 I	nr7	nr8	nr5 nr	r6 n	r7 r	ır8
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	20.25	11	11	200	11	185	218	667	218
0.25	8	7	10	7	3	73	33	36	20.50	11	11	200	11	185	218	667	218
0.50	8	9	10	9	3	109	33	36	20.75	11	11	200	11	185	218	667	218
0.75	8	11	10	9	3	109	33	36	21.00	11	11	200	11	185	218	667	218
1.00	8	11	10	9	3	109	33	36	21 25	11	11	200	11	185	218	667	218
1.00	0	11	10	9	3	109	33	30	21.25	11	11	200	11	105	210	007	210
1.25	8	11	10	9	3	109	33	36	21.50	11	11	200	11	185	218	667	291
1.50	8	11	10	9	3	109	33	36	21.75	11	11	200	11	185	218	667	291
1.75	8	11	10	9	3	109	33	36	22.00	11	11	200	11	185	218	667	291
2.00	8	11	10	9	3	109	33	36	22.25	11	11	200	11	185	218	667	291
2.25	8	11	10	9	3	109	33	36	22.50	11	11	200	11	185	218	667	291
2.50	8	11	10	9	3	109	33	36	22.75	11	11	200	11	215	218	667	291
2.75	8	11	10	9	3	109	33	36	23.00	11	11	200	11	215	218	667	291
3.00	8	11	10	9	3	109	33	36	23 25	11	11	200	11	215	218	667	291
2.25		11	10	0	2	100	22	26	22.50	11	11	200	11	215	210	667	201
3.23	11	11	10	9	122	109	33	30	23.30	11	11	200	11	215	210	007	201
3.50	11	11	10	9	123	109	33	30	23.75	11	11	200	11	215	218	007	291
3.75	11	11	10	9	123	109	33	36	24.00	11	11	200	11	215	218	667	291
4.00	11	11	10	9	123	109	33	36	24.25	11	13	200	11	215	218	667	291
4.25	11	11	10	9	123	218	33	36	24.50	11	13	200	11	215	218	667	291
4.50	11	11	10	9	123	218	33	36	24.75	11	13	200	11	215	218	667	291
4.75	11	11	10	9	123	218	33	36	25.00	11	13	200	11	215	218	667	291
5.00	11	11	10	9	123	218	33	36	25.25	11	13	200	11	215	218	667	291
5 25	11	11	10	9	123	218	33	36	25 50	11	13	200	11	215	218	667	291
5 50	11	11	10	9	154	218	33	36	25.50	11	13	200	11	215	218	667	291
5.50	11	11	10		154	210	22	26	26.00	11	12	200	11	215	210	667	201
5.75	11	11	10	9	154	210	33	30	20.00	11	13	200	11	215	210	007	291
0.00		11	10	9	154	218	33	30	20.25		13	200	11	215	218	00/	291
6.25	11	11	10	9	154	218	33	36	26.50	11	13	200	11	215	218	667	291
6.50	11	11	200	9	154	218	667	36	26.75	11	13	200	11	215	218	667	291
6.75	11	11	200	9	154	218	667	36	27.00	11	13	200	11	215	218	667	291
7.00	11	11	200	9	154	218	667	36	27.25	11	13	200	11	215	218	667	291
7.25	11	11	200	9	154	218	667	36	27.50	11	13	200	11	215	218	667	291
7.50	11	11	200	9	154	218	667	36	27.75	11	13	200	11	215	218	667	364
7 75	11	11	200	9	154	218	667	36	28.00	11	13	200	11	215	218	667	364
8 00	11	11	200	å	154	218	667	36	28.25	11	13	200	11	215	218	667	364
0.00	11	11	200		154	210	667	26	20.23	11	10	200	11	215	210	667	264
8.25	11	11	200	9	154	218	667	30	28.50	11	13	200	11	215	218	667	364
8.50	11	11	200	9	154	218	667	145	28.75	11	13	200	11	215	218	667	364
8.75	11	11	200	9	154	218	667	145	29.00	11	13	200	11	215	218	667	364
9.00	11	11	200	9	154	218	667	145	29.25	11	13	200	11	215	218	667	364
9.25	11	11	200	9	154	218	667	145	29.50	11	13	200	11	215	218	667	364
9.50	11	11	200	9	154	218	667	145	29.75	11	13	200	11	215	218	667	364
9.75	11	11	200	9	154	218	667	145	30.00	11	13	200	11	215	218	667	364
10.00	11	11	200	9	154	218	667	145	30.25	11	13	200	11	215	218	667	364
10.25	11	11	200	9	154	218	667	145	30.50	11	13	200	11	215	218	667	364
10.50	11	11	200	a	154	218	667	1/15	30.75	11	13	200	11	215	218	667	364
10.50	11	11	200		154	210	667	145	21.00	11	10	200	11	215	210	007	204
10.75	11	11	200	9	154	218	667	145	31.00	11	13	200	11	215	218	667	364
11.00	11	11	200	9	185	218	667	145	31.25	11	13	200	11	215	218	667	364
11.25	11	11	200	9	185	218	667	145	31.50	11	13	200	11	215	218	667	364
11.50	11	11	200	9	185	218	667	145	31.75	11	13	200	11	215	218	667	364
11.75	11	11	200	9	185	218	667	145	32.00	11	13	200	11	215	218	667	364
12.00	11	11	200	9	185	218	667	145	32.25	11	13	200	11	215	218	667	364
12.25	11	11	200	9	185	218	667	218	32.50	11	13	200	11	215	218	667	364
12 50	11	11	200	9	185	218	667	218	32 75	11	13	200	11	215	218	667	364
12.50	11	11	200	9	185	210	667	210	33.00	11	13	200	11	215	210	667	364
12.73	11	11	200	9	105	210	667	210	22.00	11	10	200	11	215	210 210	667	264
12.00		11	200	9	105	210	007	210	33.25		13	200	11	215	218	007	304
13.25	11	11	200	9	185	218	667	218	33.50	11	13	200	11	215	218	667	364
13.50	11	11	200	9	185	218	667	218	33.75	11	13	200	11	215	218	667	364
13.75	11	11	200	9	185	218	667	218	34.00	11	13	200	11	215	218	667	364
14.00	11	11	200	9	185	218	667	218	34.25	11	13	200	11	215	218	667	364
14.25	11	11	200	9	185	218	667	218	34.50	11	13	200	11	215	218	667	364
14.50	11	11	200	9	185	218	667	218	34.75	11	13	200	11	215	218	667	364
14.75	11	11	200	9	185	218	667	218	35.00	11	13	200	11	215	218	667	364
15.00	11	11	200	9	185	218	667	218	35.25	11	13	200	11	215	218	667	364
15 25	11	11	200	9	185	218	667	218	35 50	11	13	200	11	215	218	667	364
15.20	11	11	200	9	185	210	667	210	35.50	11	13	200	11	215	210	667	364
15.50	11	11	200	0	105	210	667	210	26.00	11	12	200	11	215	210	667	264
15.75	11	11	200	9	105	218	007	210	30.00	11	15	200	11	215	210	007	504
16.00	11	11	200	9	185	218	667	218	36.25	11	13	200	11	215	218	667	364
16.25	11	11	200	9	185	218	667	218	36.50	11	13	200	11	215	218	667	364
16.50	11	11	200	9	185	218	667	218	36.75	11	13	200	11	215	218	667	364
16.75	11	11	200	9	185	218	667	218	37.00	11	13	200	11	215	218	667	364
17.00	11	11	200	9	185	218	667	218	37.25	11	13	200	11	215	218	667	364
17.25	11	11	200	9	185	218	667	218	37.50	11	13	200	11	215	218	667	364
17.50	11	11	200	11	185	218	667	218	37.75	11	13	200	11	215	218	667	364
17 75	11	11	200	11	185	210	667	218	38.00	11	12	200	11	215	218	667	364
10 00	11	11	200	11	105	210	667	210	20.00	11	10	200	11	213	210 210	667	304
10.00		11	200	11	105	210	607	210	30.25		13	200	11	215	210	007	304
18.25	11	11	200	11	182	218	00/	218	38.50		13	200	11	215	218	667	364
18.50	11	11	200	11	185	218	667	218	38.75	11	13	200	11	215	218	667	364
18.75	11	11	200	11	185	218	667	218	39.00	11	13	200	11	215	218	667	364
19.00	11	11	200	11	185	218	667	218	39.25	11	13	200	11	215	218	667	364
19.25	11	11	200	11	185	218	667	218	39.50	11	13	200	11	215	218	667	364
19.50	11	11	200	11	185	218	667	218	39.75	11	13	200	11	215	218	667	364
19.75	11	11	200	11	185	218	667	218	40.00	11	13	200	11	215	218	667	364
20.00	11	11	200	11	105	210	667	210	10.00	11	10	200	11	215	210	667	264
20.00	1 11	11	200	11	100	210	007	210	40.25	1 11	10	200	11	215	210	007	504

		Lengde	[%]			Bredde	[µm]				Lengde	[%]			Bredde	[µm]	
Tid	nr5 r	nr6 n	nr7 n	nr8	nr5 r	nr6 r	nr7 ni	8	Tid	nr5 ı	nr6 I	nr7	nr8	nr5 nr6	6 n	r7 n	ır8
40.50	11	13	200	11	215	218	667	364	60.75	12	13	200	11	215	255	667	364
40.75	11	13	200	11	215	218	667	364	61.00	12	13	200	11	215	255	667	364
41.00	11	13	200	11	215	218	667	364	61.25	12	13	200	11	215	255	667	364
41.25	11	13	200	11	215	218	667	364	61.50	12	13	200	11	215	255	667	364
41 50	11	13	200	11	215	218	667	364	61 75	12	13	200	11	215	255	667	364
41.50	11	12	200	11	215	210	667	264	62.00	12	12	200	11	215	255	667	264
41.75	11	13	200	11	215	210	007	204	62.00	12	13	200	11	215	255	607	204
42.00	11	13	200	11	215	218	667	364	62.25	12	13	200	11	215	255	667	364
42.25	11	13	200	11	215	255	667	364	62.50	12	13	200	11	215	255	667	364
42.50	11	13	200	11	215	255	667	364	62.75	12	13	200	11	215	255	667	364
42.75	11	13	200	11	215	255	667	364	63.00	12	13	200	11	215	255	667	364
43.00	11	13	200	11	215	255	667	364	63.25	12	13	200	11	215	255	667	364
43.25	11	13	200	11	215	255	667	364	63.50	12	13	200	11	215	255	667	364
43.50	11	13	200	11	215	255	667	364	63.75	12	13	200	11	215	255	667	364
43.75	11	13	200	11	215	255	667	364	64.00	12	13	200	11	215	255	667	364
44.00	11	13	200	11	215	255	667	364	64.25	12	13	200	11	215	255	667	364
44.25	11	13	200	11	215	255	667	364	64.50	12	13	200	11	215	255	667	364
44 50	11	13	200	11	215	255	667	364	64 75	12	13	200	11	215	255	667	364
44.50	11	12	200	11	215	255	667	264	65.00	12	12	200	11	215	255	667	264
44.75	11	10	200	11	215	255	667	264	65.00	12	10	200	11	215	255	667	264
45.00	11	13	200	11	215	255	007	204	05.25	12	13	200	11	215	255	607	204
45.25	11	13	200	11	215	255	007	364	05.50	12	13	200	11	215	255	007	304
45.50	11	13	200	11	215	255	667	364	65.75	12	13	200	11	215	255	667	364
45.75	11	13	200	11	215	255	667	364	66.00	12	13	200	11	215	255	667	364
46.00	11	13	200	11	215	255	667	364	66.25	12	13	200	11	215	255	667	364
46.25	11	13	200	11	215	255	667	364	66.50	12	13	200	11	215	255	667	364
46.50	11	13	200	11	215	255	667	364	66.75	12	13	200	11	215	255	667	364
46.75	11	13	200	11	215	255	667	364	67.00	12	13	200	11	215	255	667	364
47.00	11	13	200	11	215	255	667	364	67.25	12	13	200	11	215	255	667	364
47.25	12	13	200	11	215	255	667	364	67.50	12	13	200	11	215	255	667	364
47.50	12	13	200	11	215	255	667	364	67.75	12	13	200	11	215	255	667	364
47.75	12	13	200	11	215	255	667	364	68.00	12	13	200	11	215	255	667	364
48.00	12	13	200	11	215	255	667	364	68.25	12	13	200	11	215	255	667	364
48.25	12	13	200	11	215	255	667	364	68 50	12	13	200	11	215	255	667	364
49.50	12	12	200	11	215	255	667	264	69.75	12	12	200	11	215	255	667	264
40.30	12	10	200	11	215	255	667	264	60.00	12	13	200	11	215	255	667	264
40.75	12	13	200	11	215	255	007	204	69.00	12	13	200	11	215	255	607	204
49.00	12	13	200	11	215	255	007	364	69.25	12	13	200	11	215	255	007	304
49.25	12	13	200	11	215	255	667	364	69.50	12	13	200	11	215	255	667	364
49.50	12	13	200	11	215	255	667	364	69.75	12	13	200	11	215	255	667	364
49.75	12	13	200	11	215	255	667	364	70.00	12	13	200	11	215	255	667	364
50.00	12	13	200	11	215	255	667	364	70.25	12	13	200	11	215	255	667	364
50.25	12	13	200	11	215	255	667	364	70.50	12	13	200	11	215	255	667	364
50.50	12	13	200	11	215	255	667	364	70.75	12	13	200	11	215	255	667	364
50.75	12	13	200	11	215	255	667	364	71.00	12	13	200	11	215	255	667	364
51.00	12	13	200	11	215	255	667	364	71.25	12	13	200	11	215	255	667	364
51.25	12	13	200	11	215	255	667	364	71.50	12	13	200	11	215	255	667	364
51.50	12	13	200	11	215	255	667	364	71.75	12	13	200	11	215	255	667	364
51 75	12	13	200	11	215	255	667	364	72.00	12	13	200	11	215	255	667	364
52.00	12	13	200	11	215	255	667	364	72 25	12	13	200	11	215	255	667	364
52.00	12	13	200	11	215	255	667	364	72.50	12	13	200	11	215	255	667	364
52.25	12	10	200	11	215	255	667	264	72.50	12	10	200	11	215	255	667	264
52.50	12	13	200	11	215	255	007	204	72.75	12	13	200	11	215	255	607	204
52.75	12	13	200	11	215	255	007	364	73.00	12	13	200	11	215	255	007	304
53.00	12	13	200	11	215	255	667	364	73.25	12	13	200	11	215	255	667	364
53.25	12	13	200	11	215	255	667	364	73.50	12	13	200	11	215	255	667	364
53.50	12	13	200	11	215	255	667	364	73.75	12	13	200	11	215	255	667	364
53.75	12	13	200	11	215	255	667	364	74.00	12	13	200	11	215	255	667	364
54.00	12	13	200	11	215	255	667	364	74.25	12	13	200	11	215	255	667	364
54.25	12	13	200	11	215	255	667	364	74.50	12	13	200	11	215	255	667	364
54.50	12	13	200	11	215	255	667	364	74.75	12	13	200	11	215	255	667	364
54.75	12	13	200	11	215	255	667	364	75.00	12	13	200	11	215	255	667	364
55.00	12	13	200	11	215	255	667	364	75.25	12	13	200	11	215	255	667	364
55.25	12	13	200	11	215	255	667	364	75.50	12	13	200	11	215	255	667	364
55.50	12	13	200	11	215	255	667	364	75.75	12	13	200	11	215	255	667	364
55.75	12	13	200	11	215	255	667	364	76.00	12	13	200	11	215	255	667	364
56.00	12	13	200	11	215	255	667	364	76.25	12	13	200	11	215	255	667	364
56.25	12	13	200	11	215	255	667	364	76.50	12	13	200	11	215	255	667	364
56 50	12	13	200	11	215	255	667	364	76 75	12	13	200	11	215	255	667	364
56.75	12	13	200	11	215	255	667	364	77.00	12	13	200	11	215	255	667	364
57.00	12	13	200	11	215	255	667	364	77.25	12	13	200	11	215	255	667	364
57.00	12	10	200	11	215	255	667	264	77.23	12	10	200	11	215	255	667	264
57.25	12	10	200	11	213	200	667	304	77.50	12	10	200	11	213	200	667	204
57.50	12	13	200	11	215	255	100	304	77.75	12	13	200	11	215	255	00/	364
57.75	12	13	200	11	215	255	667	364	78.00	12	13	200	11	215	255	667	364
58.00	12	13	200	11	215	255	667	364	78.25	12	13	200	11	215	255	667	364
58.25	12	13	200	11	215	255	667	364	78.50	12	13	200	11	215	255	667	364
58.50	12	13	200	11	215	255	667	364	78.75	12	13	200	11	215	255	667	364
58.75	12	13	200	11	215	255	667	364	79.00	12	13	200	11	215	255	667	364
59.00	12	13	200	11	215	255	667	364	79.25	12	13	200	11	215	255	667	364
59.25	12	13	200	11	215	255	667	364	79.50	12	13	200	11	215	255	667	364
59.50	12	13	200	11	215	255	667	364	79.75	12	13	200	11	215	255	667	364
59.75	12	13	200	11	215	255	667	364	80.00	12	13	200	11	215	255	667	364
60.00	12	13	200	11	215	255	667	364	80.25	12	13	200	11	215	255	667	364
60.25	12	13	200	11	215	255	667	364	80.50	12	13	200	11	215	255	667	364
60.50	12	12	200	11	215	255	667	364	80.75	12	12	200	11	215	255	667	364
00.50	1 14	1.2	200		213	200	007	304	00.75	1 12	10	200	11	1 213	200	007	504

		Lengde	e [%]			Bredde	[µm]				Lengde	[%]			Bredde	[µm]	
Tid	nr5	nr6	nr7	nr8	nr5 n	r6 In	r7  n	r8	Tid	nr5	nr6	۔ ۱۲ <b>7</b> ا	nr8	nr5 n	r6 In	r7	nr8
04.00									101.0-			200					
81.00	12	13	200	11	215	255	667	364	101.25	12	13	200	13	215	291	667	364
81.25	12	13	200	11	215	255	667	364	101.50	12	13	200	13	215	291	667	364
81.50	12	13	200	11	215	255	667	364	101.75	12	13	200	13	215	291	667	364
81.75	12	13	200	11	215	255	667	364	102.00	12	13	200	13	215	291	667	364
82.00	12	12	200	11	215	255	667	364	102.25	12	13	200	12	215	291	667	364
02.00	12	10	200	11	215	200	607	204	102.23	12	10	200	10	215	201	cc7	304
82.25	12	13	200	11	215	255	667	364	102.50	12	13	200	13	215	291	667	364
82.50	12	13	200	11	215	255	667	364	102.75	12	13	200	13	215	291	667	364
82.75	12	13	200	11	215	255	667	364	103.00	12	13	200	13	215	291	667	364
83.00	12	13	200	11	215	255	667	364	103.25	12	13	200	13	215	291	667	364
92.25	12	12	200	11	215	255	667	264	102 50	12	12	200	12	215	201	667	264
05.25	12	15	200	11	215	255	007	504	105.50	12	15	200	15	215	291	007	504
83.50	12	13	200	11	215	255	667	364	103.75	12	13	200	13	215	291	667	364
83.75	12	13	200	11	215	255	667	364	104.00	12	13	200	13	215	291	667	364
84.00	12	13	200	11	215	255	667	364	104.25	12	13	200	13	215	291	667	364
8/1 25	12	13	200	11	215	255	667	364	104 50	12	12	200	13	215	201	667	364
04.20	12	13	200	11	215	255	667	264	104.50	12	10	200	13	215	201	007	304
84.50	12	13	200	11	215	255	667	364	104.75	12	13	200	13	215	291	667	364
84.75	12	13	200	11	215	255	667	364	105.00	12	13	200	13	215	291	667	364
85.00	12	13	200	11	215	255	667	364	105.25	12	13	200	13	215	291	667	364
85 25	12	13	200	11	215	255	667	364	105 50	12	13	200	13	215	291	667	364
95 50	12	12	200	11	215	255	667	264	105.50	12	12	200	12	215	201	667	264
05.50	12	15	200	11	215	255	007	304	105.75	12	15	200	15	215	291	007	304
85.75	12	13	200	11	215	255	667	364	106.00	12	13	200	13	215	291	667	364
86.00	12	13	200	11	215	255	667	364	106.25	12	13	200	13	215	291	667	364
86.25	12	13	200	11	215	255	667	364	106.50	12	13	200	13	215	291	667	364
86 50	12	12	200	11	215	255	667	364	106 75	12	12	200	12	215	291	667	364
96 75	12	10	200	11	215	255	667	264	107.00	12	10	200	10	215	201	667	364
00.75	12	13	200	11	215	200	007	504	107.00	12	13	200	13	215	291	007	304
87.00	12	13	200	11	215	255	667	364	107.25	12	13	200	13	215	291	667	364
87.25	12	13	200	11	215	255	667	364	107.50	12	13	200	13	215	291	667	364
87.50	12	13	200	11	215	255	667	364	107.75	12	13	200	13	215	291	667	364
87 75	12	1२	200	11	215	255	667	364	108 00	12	13	200	13	215	291	667	364
00 00	12	10	200	14	215	200	667	204	100.00	12	10	200	10	215	201	607	204
88.00	12	13	200	11	215	255	100	364	108.25	12	13	200	13	215	291	007	364
88.25	12	13	200	11	215	255	667	364	108.50	12	13	200	13	215	291	667	364
88.50	12	13	200	11	215	255	667	364	108.75	12	13	200	13	215	291	667	364
88.75	12	13	200	11	215	255	667	364	109.00	12	13	200	13	215	291	667	364
89.00	12	13	200	11	215	255	667	364	109 25	12	13	200	13	215	291	667	364
00.00	12	10	200	11	215	255	007	204	100.20	12	10	200	10	215	201	607	204
89.25	12	13	200	11	215	255	667	364	109.50	12	13	200	13	215	291	667	364
89.50	12	13	200	11	215	255	667	364	109.75	12	13	200	13	215	291	667	364
89.75	12	13	200	11	215	255	667	364	110.00	12	13	200	13	215	291	667	364
90.00	12	13	200	11	215	255	667	364	110.25	12	13	200	13	215	291	667	364
00.25	12	12	200	11	215	255	667	264	110.00	12	10	200	12	215	201	667	264
90.25	12	13	200	11	215	255	007	364	110.50	12	13	200	13	215	291	007	364
90.50	12	13	200	11	215	255	667	364	110.75	12	13	200	13	215	291	667	364
90.75	12	13	200	11	215	255	667	364	111.00	12	13	200	13	215	291	667	364
91.00	12	13	200	11	215	255	667	364	111.25	12	13	200	13	215	291	667	364
Q1 25	12	12	200	11	215	255	667	267	111 50	12	12	200	12	215	201	667	364
51.25	12	12	200	11	213	200	007 CC7	304	111.30	12	12	200	13	213	231	007	304
91.50	12	13	200	11	215	255	667	364	111.75	12	13	200	13	215	291	667	364
91.75	12	13	200	11	215	255	667	364	112.00	12	13	200	13	215	291	667	364
92.00	12	13	200	13	215	255	667	364	112.25	12	13	200	13	215	291	667	364
92.25	12	13	200	13	215	255	667	364	112 50	12	13	200	13	215	291	667	364
02.50	12	10	200	10	215	255	667	204	112.50	12	10	200	10	215	201	cc7	204
92.50	12	13	200	13	215	255	667	364	112.75	12	13	200	13	215	291	100	364
92.75	12	13	200	13	215	255	667	364	113.00	12	13	200	13	215	291	667	364
93.00	12	13	200	13	215	255	667	364	113.25	12	13	200	13	215	291	667	364
93 25	12	13	200	13	215	255	667	364	113 50	12	13	200	13	215	291	667	364
02 50	12	12	200	10	215	200	667	264	112 75	12	10	200	12	215	201	667	264
55.50	12	12	200	13	215	200	cc-	204	113.75	12	12	200	13	215	291	007	504
93.75	12	13	200	13	215	255	667	364	114.00	12	13	200	13	215	291	667	364
94.00	12	13	200	13	215	255	667	364	114.25	12	13	200	13	215	291	667	364
94.25	12	13	200	13	215	255	667	364	114.50	12	13	200	13	215	291	667	364
94 50	12	12	200	12	215	255	667	364	114 75	12	12	200	12	215	291	667	364
04 75	12	10	200	10	215	200	667	264	110.00	12	10	200	10	215	201	667	364
34.75	12	12	200	13	215	200	cc-	204	115.00	12	12	200	13	215	291	007	504
95.00	12	13	200	13	215	255	667	364	115.25	12	13	200	13	215	291	667	364
95.25	12	13	200	13	215	255	667	364	115.50	12	13	200	13	215	291	667	364
95.50	12	13	200	13	215	255	667	364	115.75	12	13	200	13	215	291	667	364
95 75	12	13	200	1२	215	255	667	364	116 00	12	13	200	1२	215	291	667	364
96.00	12	12	200	10	215	255	667	264	116.25	12	12	200	10	215	201	667	264
90.00	12	13	200	13	215	200	007	504	110.25	12	13	200	13	215	291	007	304
96.25	12	13	200	13	215	255	667	364	116.50	12	13	200	13	215	291	667	364
96.50	12	13	200	13	215	255	667	364	116.75	12	13	200	13	215	291	667	364
96.75	12	13	200	13	215	255	667	364	117.00	12	13	200	13	215	291	667	364
97.00	12	1२	200	1२	215	255	667	364	117 25	12	13	200	13	215	291	667	364
07.00	12	10	200	10	215	200	667	364	117 50	12	10	200	10	215	201	667	364
97.25	12	13	200	13	215	255	100	364	11/.50	12	13	200	13	215	291	007	364
97.50	12	13	200	13	215	255	667	364	117.75	12	13	200	13	215	291	667	364
97.75	12	13	200	13	215	255	667	364	118.00	12	13	200	13	215	291	667	364
98.00	12	13	200	13	215	255	667	364	118.25	12	13	200	13	215	291	667	364
08 7F	12	10	200	10	215	255	667	361	119 50	17	10	200	12	215	201	667	264
98.25	12	13	200	13	215	255	007	304	118.50	12	13	200	13	215	291	00/	304
98.50	12	13	200	13	215	255	667	364	118.75	12	13	200	13	215	291	667	364
98.75	12	13	200	13	215	255	667	364	119.00	12	13	200	13	215	291	667	364
99.00	12	13	200	13	215	255	667	364	119.25	12	13	200	13	215	291	667	364
99.25	12	13	200	12	215	255	667	364	119 50	12	12	200	12	215	291	667	364
00.50	12	10	200	10	215	200	667	304	110 75	12	10	200	10	215	201	607	204
99.50	12	13	200	13	215	255	100	364	119.75	12	13	200	13	215	291	007	364
99.75	12	13	200	13	215	255	667	364	120.00	12	13	200	13	215	291	667	364
100.00	12	13	200	13	215	255	667	364									
100 25	12	1२	200	1२	215	255	667	364		Bredde og	lengdeut	vikling f	or våte t	testobiekter	ved atmos	færisk trv	kk
100.20	12	10	200	10	215	200	607	204		J. Luue Ug							
100.50	12	13	200	13	215	255	667	364									
100.75	12	13	200	13	215	291	667	364									
101.00	12	13	200	13	215	291	667	364									

		Lengde	[%]			Bredde	[µm]				Lengde	[%]			Bredde	[µm]	
Tid	nr9	nr10 r	nr11 n	r12	nr9 ni	r10 n	r11 nr	12	Tid	nr9	nr10 I	1r11	nr12	nr9 n	r10 n	ır11	nr12
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	20.25	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236
0.00	å	13	8	13	1/13	115	159	109	20.50	68	200	60	60	1286	1346	1307	1236
0.25	20	13	10	13	143	115	133	105	20.30	00	200	00	09	1280	1340	1357	1230
0.50	20	21	13	18	357	308	222	364	20.75	68	200	60	/1	1286	1346	1397	1236
0.75	21	31	21	24	500	385	254	436	21.00	68	200	60	73	1286	1346	1397	1236
1.00	23	35	24	24	536	462	286	436	21.25	68	200	60	73	1286	1346	1397	1236
1.25	23	38	24	25	536	462	286	436	21.50	68	200	60	73	1286	1346	1397	1236
1.50	26	48	24	25	536	462	286	436	21.75	68	200	60	73	1286	1346	1397	1236
1 75	26	52	24	27	536	538	381	436	22.00	68	200	60	73	1286	1346	1397	1236
2.00	26	54	24	27	526	530	201	500	22.00	60	200	60	72	1200	1246	1207	1726
2.00	20	54	24	27	530	538	201	505	22.25	71	200	00	73	1280	1340	1397	1230
2.25	26	54	24	31	536	538	381	509	22.50	/1	200	60	/3	1286	1346	1397	1236
2.50	26	54	24	33	536	538	381	509	22.75	75	200	60	73	1286	1346	1397	1236
2.75	26	54	24	33	536	538	444	545	23.00	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
3.00	27	54	24	33	536	538	444	545	23.25	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
3.25	28	54	24	33	536	538	444	545	23.50	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
3 50	29	54	24	33	571	615	444	545	23 75	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
3 75	30	54	24	33	571	615	111	545	24.00	76	200	60	73	1286	1346	1307	1236
4.00	30	54	24	22	571	615	444	545	24.00	70	200	00	75	1200	1340	1207	1230
4.00	50	54	24	33	571	615	444	562	24.25	70	200	00	/5	1200	1340	1597	1250
4.25	30	54	24	33	607	615	444	582	24.50	/6	200	60	/3	1286	1346	1397	1236
4.50	30	54	24	33	679	615	508	582	24.75	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
4.75	30	54	24	35	679	615	540	582	25.00	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
5.00	30	54	24	36	679	615	603	582	25.25	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
5.25	32	54	25	38	679	615	603	582	25.50	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
5.50	32	54	27	40	679	615	603	582	25.75	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
5 75	3/	54	27	40	750	615	603	582	26.00	76	200	60	72	1286	1346	1397	1236
6.00	24	54	27	40	750	615	603	502	20.00	70	200	۴0 00	73	1200	12/6	1207	1726
6.00	20	54	27	40	750	C10	603	502	20.25	70	200	00	73	1200	1340	1207	1220
6.25	38	54	29	40	750	015	603	582	26.50	/6	200	60	/3	1286	1346	139/	1236
6.50	38	54	29	40	750	615	603	582	26.75	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
6.75	39	54	29	40	750	615	603	582	27.00	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
7.00	45	54	29	40	857	615	603	582	27.25	76	200	60	73	1286	1346	1397	1236
7.25	46	54	29	40	857	615	603	582	27.50	76	200	62	73	1286	1346	1397	1236
7.50	46	54	29	44	893	615	603	618	27.75	76	200	63	73	1286	1346	1397	1236
7.75	46	54	29	45	893	731	603	673	28.00	76	200	64	73	1286	1346	1397	1236
8.00	16	54	20	45	803	885	603	727	28.25	76	200	65	73	1286	13/6	1307	1236
0.00	40	54	20	45	802	995	602	800	20.25	76	200	65	73	1200	1246	1207	1236
0.25 0.50	40	54	20	45	802	995	625	972	20.50	76	200	65	73	1200	1246	1207	1236
0.50	40	54	20	45	803	005	635	000	20.75	70	200	65	75	1200	1246	1207	1230
0.75	40	54	32	45	895	005	055	909	29.00	70	200	05	75	1200	1340	1397	1230
9.00	40	54	52	45	695	005	055	962	29.25	70	200	05	75	1200	1340	1597	1250
9.25	48	54	32	45	893	885	035	1036	29.50	76	200	65	73	1286	1346	1397	1230
9.50	48	54	32	45	893	885	635	1091	29.75	76	200	65	/3	1286	1346	1397	1236
9.75	48	54	32	45	946	885	635	1164	30.00	/6	200	67	/3	1286	1346	1397	1236
10.00	48	54	32	45	1000	885	635	1236	30.25	76	200	70	73	1286	1346	1397	1236
10.25	48	54	32	47	1071	885	635	1236	30.50	76	200	71	73	1286	1346	1397	1236
10.50	48	54	32	47	1125	885	635	1236	30.75	76	200	73	73	1286	1346	1397	1236
10.75	48	54	32	47	1214	885	635	1236	31.00	76	200	73	73	1286	1346	1397	1236
11.00	48	54	32	47	1214	885	635	1236	31.25	76	200	73	73	1286	1346	1397	1236
11.25	48	54	32	47	1250	923	635	1236	31.50	76	200	73	73	1286	1346	1397	1236
11.50	48	60	32	47	1250	923	635	1236	31.75	76	200	73	73	1286	1346	1397	1236
11.75	48	67	35	47	1250	923	667	1236	32.00	76	200	73	73	1286	1346	1397	1236
12.00	48	70	35	47	1250	923	698	1236	32.25	76	200	78	73	1286	1346	1397	1236
12.25	50	75	35	47	1250	1038	698	1236	32.50	80	200	78	73	1286	1346	1397	1236
12.50	51	77	35	47	1250	1077	698	1236	32.75	200	200	78	73	1286	1346	1397	1236
12.75	52	79	37	47	1250	1077	698	1236	33.00	200	200	78	73	1286	1346	1397	1236
13.00	52	81	41	47	1250	1077	762	1236	33 25	200	200	78	73	1286	1346	1397	1236
13.25	52	82	42	17	1250	115/	762	1236	33 50	200	200	79	. 5 72	1286	13/6	1307	1726
12 50	52	97	45	47	1250	1721	762	1226	22 75	200	200	70	73	1200	1246	1207	1236
10.50	52	07	40	47	1200	1200	762	1220	33.75	200	200	70	75	1200	1340	1207	1230
14.00	52	90	50	47	1200	1340	702	1220	34.00	200	200	13	73	1200	1340	1227	1230
14.00	52	90	59	47	1280	1340	702	1230	34.25	200	200	83	/3	1280	1340	1397	1236
14.25	54	100	60	47	1286	1346	/62	1236	34.50	200	200	87	73	1286	1346	1397	1236
14.50	59	200	60	47	1286	1346	762	1236	34.75	200	200	90	75	1286	1346	1397	1236
14.75	63	200	60	47	1286	1346	762	1236	35.00	200	200	200	75	1286	1346	1397	1236
15.00	63	200	60	51	1286	1346	762	1236	35.25	200	200	200	75	1286	1346	1397	1236
15.25	64	200	60	56	1286	1346	762	1236	35.50	200	200	200	75	1286	1346	1397	1236
15.50	66	200	60	62	1286	1346	857	1236	35.75	200	200	200	75	1286	1346	1397	1236
15.75	68	200	60	67	1286	1346	873	1236	36.00	200	200	200	82	1286	1346	1397	1236
16.00	68	200	60	69	1286	1346	921	1236	36.25	200	200	200	82	1286	1346	1397	1236
16.25	68	200	60	69	1286	1346	952	1236	36.50	200	200	200	82	1286	1346	1397	1236
16 50	68	200	60	69	1286	1346	1048	1236	36 75	200	200	200	82	1286	1346	1397	1236
16 75	60	200	60	60	1286	1346	1079	1236	37 00	200	200	200	8/	1286	1346	1397	1236
17 00	60	200	60	60	1786	1346	1238	1236	37.00	200	200	200	01	1286	13/6	1307	1726
17.00	60	200	00	09	1200	1340	1200	1220	37.23	200	200	200	51	1200	1340	1207	1220
17.25	68	200	00	69	1200	1340	1302	1230	37.50	200	200	200	95	1280	1340	1397	1236
17.50	68	200	60	69	1286	1346	1333	1236	37.75	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
17.75	68	200	60	69	1286	1346	1333	1236	38.00	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
18.00	68	200	60	69	1286	1346	1365	1236	38.25	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
18.25	68	200	60	69	1286	1346	1365	1236	38.50	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
18.50	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236	38.75	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
18.75	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236	39.00	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
19.00	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236	39.25	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
19.25	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236	39.50	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
19.50	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236	39.75	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
19.75	68	200	60	69	1286	1346	1397	1236	40.00	200	200	200	98	1286	1346	1397	1236
20.00	60	200	60	60	1786	13/6	1297	1236	40.25	200	200	200	09	1286	13/6	1307	1726
1 20.00	1 00	200	50	55	1200	1340	-357	1200	-0.20	200	200	200	50	1200	1040	1001	1200

		Lengde [	%]			Bredde	e [µm]	
Tid	nr9	nr10	nr11	nr	nr9	nr10	nr11	nr12
40.50	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
40.75	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
41.00	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
41.25	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
41.50	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
41.75	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
42.00	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
42.25	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
42.50	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
42.75	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
43.00	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
43.25	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
43.50	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
43.75	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
44.00	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
44.25	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
44.50	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
44.75	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
45.00	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236
45.25	200	200	200	#	1286	1346	1397	1236

Bredde og lengdeutvikling for tørre testobjekter ved 50 bar

		Lengde	e [%]			Bredde [	μm]				Lengde	e [%]			Bredde [	μm]	
Tid	nr13	nr14	nr15 r	nr16	nr13 r	nr14 nr	15 nr1	.6	Tid	nr13	nr14 I	nr15 n	r16	nr13 nr	14 nr	15 r	nr16
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	20.25	13	14	17	9	194	61	121	152
0.25	2	9	11	5	65	30	30	30	20.50	13	14	17	9	194	61	121	152
0.50	3	9	11	5	97	30	30	30	20.75	13	14	17	9	194	61	121	152
0.75	3	9	12	5	129	30	30	30	21.00	13	14	17	9	194	61	121	152
1.00	8	9	14	5	129	30	30	30	21.00	13	14	17	9	194	61	121	152
1.00		0	14	5	161	20	20	20	21.20	12	14	17	0	104	61	121	152
1.25	10	9	14	5	101	30	20	30	21.50	13	14	17	9	194	01	121	152
1.50	10	11	14	5	161	30	30	30	21.75	13	14	1/	9	194	61	121	152
1.75	11	11	14	5	161	30	30	30	22.00	13	14	17	9	194	61	121	152
2.00	11	11	14	5	161	30	30	30	22.25	13	14	17	9	194	61	121	152
2.25	11	11	14	5	161	30	30	30	22.50	13	14	17	9	194	61	121	152
2.50	11	11	14	5	161	30	30	30	22.75	13	14	17	9	194	61	121	152
2.75	11	11	14	5	161	30	30	30	23.00	13	14	17	9	194	61	121	152
3.00	11	11	14	5	161	30	30	30	23.25	13	14	17	9	194	61	121	152
3.25	11	11	14	5	161	30	30	30	23.50	13	14	17	9	194	61	121	152
3.50	11	12	14	5	161	30	30	30	23.75	13	14	17	9	194	61	121	152
3 75	11	12	14	5	161	30	30	30	24.00	13	14	17	9	194	61	121	152
4.00	11	12	14	5	161	30	30	30	24.25	13	14	17	9	194	61	121	152
4.00	11	12	14	5	161	20	20	20	24.25	12	14	17		104	61	121	152
4.23	11	12	14	5	101	30	20	20	24.30	13	14	17	9	194	61	121	152
4.50	11	12	14	5	101	50	50	50	24.75	15	14	17	9	194	61	121	152
4.75	11	12	14	5	161	30	30	30	25.00	13	14	1/	9	194	61	121	152
5.00	11	12	14	5	161	30	30	30	25.25	13	14	1/	9	194	61	121	152
5.25	11	12	14	6	161	30	30	30	25.50	13	14	17	9	194	61	121	152
5.50	11	12	14	6	194	30	30	30	25.75	13	14	17	9	194	61	121	152
5.75	11	12	14	6	194	30	30	30	26.00	13	14	17	9	194	61	121	152
6.00	11	12	14	6	194	30	121	30	26.25	13	14	17	9	194	61	121	152
6.25	11	12	14	6	194	30	121	30	26.50	13	14	17	9	194	61	121	152
6.50	11	12	15	6	194	30	121	30	26.75	13	14	17	9	194	61	121	152
6.75	11	12	15	6	194	30	121	30	27.00	13	14	17	9	194	61	121	152
7.00	11	12	15	6	194	30	121	30	27.25	13	14	17	9	194	61	121	152
7.25	11	12	15	6	194	30	121	30	27.50	13	14	17	9	194	61	121	152
7 50	11	12	15	9	194	30	121	91	27.75	13	14	17	9	194	61	121	152
7 75	11	12	15	q	194	61	121	91	28.00	13	14	17	9	194	61	121	152
8.00	12	12	15	0	10/	61	121	01	20.00	12	14	17	0	104	61	121	152
0.00	13	12	15	9	194	61	121	91	20.25	13	14	17	9	194	01	121	152
8.25	13	12	15	9	194	61	121	91	28.50	13	14	17	9	194	01	121	152
8.50	13	12	15	9	194	61	121	91	28.75	13	14	1/	9	194	61	121	152
8.75	13	12	15	9	194	61	121	91	29.00	13	14	1/	9	194	61	121	152
9.00	13	12	15	9	194	61	121	91	29.25	13	14	17	9	194	61	121	152
9.25	13	12	15	9	194	61	121	91	29.50	13	14	17	9	194	61	121	152
9.50	13	12	15	9	194	61	121	91	29.75	13	14	17	9	194	61	121	152
9.75	13	12	15	9	194	61	121	91	30.00	13	14	17	9	194	61	121	152
10.00	13	12	15	9	194	61	121	91	30.25	13	14	17	9	194	61	121	152
10.25	13	14	15	9	194	61	121	91	30.50	13	14	17	9	194	61	121	152
10.50	13	14	15	9	194	61	121	91	30.75	13	14	17	9	194	61	121	152
10.75	13	14	15	9	194	61	121	91	31.00	13	14	17	9	194	61	121	152
11.00	13	14	15	9	194	61	121	91	31.25	13	14	17	9	194	61	121	152
11 25	13	14	15	q	194	61	121	91	31 50	13	14	17	9	194	61	121	152
11 50	13	14	15	q	194	61	121	91	31 75	13	14	17	9	194	61	121	152
11.50	12	14	15	9	104	61	121	01	22.00	12	14	17		104	61	121	152
12.00	13	14	15	9	104	01	121	91	32.00	13	14	17	9	194	01	121	152
12.00	13	14	15	9	194	61	121	91	32.25	13	14	17	9	194	01	121	152
12.25	13	14	15	9	194	61	121	152	32.50	13	14	1/	9	194	61	121	152
12.50	13	14	15	9	194	61	121	152	32.75	13	14	1/	11	194	61	121	152
12.75	13	14	15	9	194	61	121	152	33.00	13	14	1/	11	194	61	121	152
13.00	13	14	15	9	194	61	121	152	33.25	13	14	17	11	194	61	121	152
13.25	13	14	17	9	194	61	121	152	33.50	13	14	17	11	194	61	121	152
13.50	13	14	17	9	194	61	121	152	33.75	13	14	17	11	194	61	121	152
13.75	13	14	17	9	194	61	121	152	34.00	13	14	17	11	194	61	121	152
14.00	13	14	17	9	194	61	121	152	34.25	13	14	17	11	194	61	121	152
14.25	13	14	17	9	194	61	121	152	34.50	13	14	17	11	194	61	121	152
14.50	13	14	17	9	194	61	121	152	34.75	13	14	17	11	194	61	121	152
14.75	13	14	17	9	194	61	121	152	35.00	13	14	17	11	194	61	121	152
15.00	13	14	17	9	194	61	121	152	35.25	13	14	17	11	194	61	121	152
15.25	13	14	17	9	194	61	121	152	35.50	13	14	17	11	194	61	121	152
15.50	13	14	17	9	194	61	121	152	35.75	13	14	17	11	194	61	121	152
15.75	13	14	17	9	194	61	121	152	36.00	13	14	17	11	194	61	121	152
16.00	13	14	17	9	194	61	121	152	36.25	13	14	17	11	194	61	121	152
16.00	13	14	17	q	194	61	121	152	36.50	13	14	17	11	194	61	121	152
16.50	13	14	17	a	104	61	121	152	36.75	13	14	17	11	194	61	121	152
16.75	12	14	17	9	104	61	121	152	27.00	12	14	17	11	104	61	121	152
10.75	13	14	17	9	194	61	121	152	37.00	13	14	17	11	194	01	121	152
17.00	13	14	1/	9	194	10	121	152	37.25	13	14	1/	11	194	10	121	152
17.25	13	14	17	9	194	61	121	152	37.50	13	14	17	11	194	61	121	152
17.50	13	14	17	9	194	61	121	152	37.75	13	14	17	11	194	61	121	152
17.75	13	14	17	9	194	61	121	152	38.00	13	14	17	11	194	61	121	152
18.00	13	14	17	9	194	61	121	152	38.25	13	14	17	11	194	61	121	152
18.25	13	14	17	9	194	61	121	152	38.50	13	14	17	11	194	61	121	152
18.50	13	14	17	9	194	61	121	152	38.75	13	14	17	11	194	61	121	152
18.75	13	14	17	9	194	61	121	152	39.00	13	14	17	11	194	61	121	152
19.00	13	14	17	9	194	61	121	152	39.25	13	14	17	11	194	61	121	152
19.25	13	14	17	9	194	61	121	152	39.50	13	14	17	11	194	61	121	152
19.50	13	14	17	9	194	61	121	152	39.75	13	14	17	11	194	61	121	152
19.75	13	14	17	9	194	61	121	152	40.00	13	14	17	11	194	61	121	152
20.00	12	14	17	q	194	61	121	152	40.25	12	14	_ <i>.</i> 17	11	194	61	121	152
20.00	1 10	7.4	±/	9	1.74	01		104	-0.25	1 13	74	/		104	01		102

		Lengde	[%]			Bredde	[µm]				Lengde	[%]			Bredde	[μm]	
Tid	nr13 n	r14 r	nr15 n	r16	nr13 n	r14 r	1r15	nr16	Tid	nr13	nr14 r	1r15 n	r16	nr13 nr	r14 nr	15 r	nr16
40.50	13	14	17	11	194	61	121	152	60.75	13	14	17	11	194	61	121	152
40.75	13	14	17	11	194	61	121	152	61.00	13	14	17	11	194	61	121	152
41.00	13	14	17	11	194	61	121	152	61.25	13	14	17	11	194	61	121	152
41.25	13	14	17	11	194	61	121	152	61.50	13	14	17	11	194	61	121	152
41.50	13	14	17	11	194	61	121	152	61.75	13	14	17	11	194	61	121	152
41.75	13	14	17	11	194	61	121	152	62.00	13	14	17	11	194	61	121	152
42.00	13	14	17	11	194	61	121	152	62.25	13	14	17	11	194	61	121	152
42.25	13	14	17	11	194	61	121	152	62.50	13	14	17	11	194	61	121	152
42.50	13	14	17	11	194	61	121	152	62.75	13	14	17	11	194	61	121	152
42.75	13	14	17	11	194	61	121	152	63.00	13	14	17	11	194	61	121	152
43.00	13	14	17	11	194	61	121	152	63.25	13	14	17	11	194	61	121	152
43.25	13	14	17	11	194	61	121	152	63.50	13	14	17	11	194	61	121	152
43.50	13	14	17	11	194	61	121	152	63.75	13	14	17	11	194	61	121	152
43.75	13	14	17	11	194	61	121	152	64.00	13	14	17	11	194	61	121	152
44 00	13	14	17	11	194	61	121	152	64 25	13	14	17	11	194	61	121	152
44.25	13	14	17	11	194	61	121	152	64.50	13	14	17	11	194	61	121	152
44 50	13	14	17	11	194	61	121	152	64 75	13	14	17	11	194	61	121	152
44.50	13	14	17	11	194	61	121	152	65.00	13	14	17	11	194	61	121	152
45.00	13	1/	17	11	194	61	121	152	65.25	13	1/	17	11	194	61	121	152
45.00	13	1/	17	11	194	61	121	152	65.50	13	1/	17	11	194	61	121	152
45.50	13	14	17	11	104	61	121	152	65.75	13	14	17	11	194	61	121	152
45.50	13	14	17	11	104	61	121	152	66.00	13	14	17	11	104	61	121	152
45.75	15	14	17	11	194	01	121	152	00.00	10	14	17	11	194	61	121	152
46.00	13	14	17	11	194	01	121	152	00.25	13	14	17	11	194	01	121	152
46.25	13	14	17	11	194	01	121	152	00.50	13	14	17	11	194	01	121	152
46.50	13	14	17	11	194	01	121	152	00.75	13	14	17	11	194	01	121	152
40.75	13	14	17	11	194	01	121	152	67.00	13	14	17	11	194	01	121	152
47.00	13	14	17	11	194	61	121	152	67.25	13	14	17	11	194	61	121	152
47.25	13	14	1/	11	194	61	121	152	67.50	13	14	17	11	194	61	121	152
47.50	13	14	1/	11	194	61	121	152	67.75	13	14	17	11	194	61	121	152
47.75	13	14	1/	11	194	61	121	152	68.00	13	14	1/	11	194	61	121	152
48.00	13	14	1/	11	194	61	121	152	68.25	13	14	1/	11	194	61	121	152
48.25	13	14	17	11	194	61	121	152	68.50	13	14	17	11	194	61	121	152
48.50	13	14	17	11	194	61	121	152	68.75	13	14	17	11	194	61	121	152
48.75	13	14	17	11	194	61	121	152	69.00	13	14	17	11	194	61	121	152
49.00	13	14	17	11	194	61	121	152	69.25	13	14	17	11	194	61	121	152
49.25	13	14	17	11	194	61	121	152	69.50	13	14	17	11	194	61	121	152
49.50	13	14	17	11	194	61	121	152	69.75	13	14	17	11	194	61	121	152
49.75	13	14	17	11	194	61	121	152	70.00	13	14	17	11	194	61	121	152
50.00	13	14	17	11	194	61	121	152	70.25	13	14	17	11	194	61	121	152
50.25	13	14	17	11	194	61	121	152	70.50	13	14	17	11	194	61	121	152
50.50	13	14	17	11	194	61	121	152	70.75	13	14	17	11	194	61	121	152
50.75	13	14	17	11	194	61	121	152	71.00	13	14	17	11	194	61	121	152
51.00	13	14	17	11	194	61	121	152	71.25	13	14	17	11	194	61	121	152
51.25	13	14	17	11	194	61	121	152	71.50	13	14	17	11	194	61	121	152
51.50	13	14	17	11	194	61	121	152	71.75	13	14	17	11	194	61	121	152
51.75	13	14	17	11	194	61	121	152	72.00	13	14	17	11	194	61	121	152
52.00	13	14	17	11	194	61	121	152	72.25	13	14	17	11	194	61	121	152
52.25	13	14	17	11	194	61	121	152	72.50	13	14	17	11	194	61	121	152
52.50	13	14	17	11	194	61	121	152	72.75	13	14	17	11	194	61	121	152
52.75	13	14	17	11	194	61	121	152	73.00	13	14	17	11	194	61	121	152
53.00	13	14	17	11	194	61	121	152	73.25	13	14	17	11	194	61	121	152
53.25	13	14	17	11	194	61	121	152	73.50	13	14	17	11	194	61	121	152
53.50	13	14	17	11	194	61	121	152	73.75	13	14	17	11	194	61	121	152
53.75	13	14	17	11	194	61	121	152	74.00	13	14	17	11	194	61	121	152
54.00	13	14	17	11	194	61	121	152	74.25	13	14	17	11	194	61	121	152
54.25	13	14	17	11	194	61	121	152	74.50	13	14	17	11	194	61	121	152
54.50	13	14	17	11	194	61	121	152	74.75	13	14	17	11	194	61	121	152
54.75	13	14	17	11	194	61	121	152	75.00	13	14	17	11	194	61	121	152
55.00	13	14	17	11	194	61	121	152	75.25	13	14	17	11	194	61	121	152
55.25	13	14	17	11	194	61	121	152	75.50	13	14	17	11	194	61	121	152
55.50	13	14	17	11	194	61	121	152	75.75	13	14	17	11	194	61	121	152
55.75	13	14	17	11	194	61	121	152	76.00	13	14	17	11	194	61	121	152
56.00	13	14	17	11	194	61	121	152	76.25	13	14	17	11	194	61	121	152
56.25	13	14	17	11	194	61	121	152	76.50	13	14	17	11	194	61	121	152
56 50	13	14	17	11	194	61	121	152	76 75	13	14	17	11	194	61	121	152
56.75	13	14	17	11	194	61	121	152	77.00	13	14	17	11	194	61	121	152
57.00	13	14	17	11	194	61	121	152	77.25	13	14	17	11	194	61	121	152
57.00	13	14	17	11	194	61	121	152	77 50	13	14	17	11	194	61	121	152
57.50	13	1/	17	11	194	61	121	152	77 75	13	1/	17	11	194	61	121	152
57.50	13	14	17	11	104	61	121	152	79.00	13	14	17	11	104	61	121	152
57.75	13	14	17	11	194	61	121	152	70.00	13	14	17	11	194	61	121	152
58.00	15	14	17	11	194	01	121	152	70.25	10	14	17	11	194	61	121	152
58.25	13	14	17	11	194	61	121	152	78.50	13	14	17	11	194	61	121	152
58.50	13	14	17	11	194	61	121	152	78.75	13	14	17	11	194	61	121	152
58.75	13	14	17	11	194	61	121	152	79.00	13	14	17	11	194	61	121	152
59.00	13	14	1/	11	194	61	121	152	79.25	13	14	1/	11	194	61	121	152
59.25	13	14	17	11	194	61	121	152	79.50	13	14	17	11	194	61	121	152
59.50	13	14	17	11	194	61	121	152	79.75	13	14	17	11	194	61	121	152
59.75	13	14	17	11	194	61	121	152	80.00	13	14	17	11	194	61	121	152
60.00	13	14	17	11	194	61	121	152	80.25	13	14	17	11	194	61	121	152
60.25	13	14	17	11	194	61	121	152	80.50	13	14	17	11	194	61	121	152
60.50	13	14	17	11	194	61	121	152	80.75	13	14	17	11	194	61	121	152

		Lengde	e [%]			Bredde [µ	ւm]				Lengde	e [%]			Bredde [	[μm]	
Tid	nr13	nr14	nr15	nr16	nr13	nr14 nr1	.5 li	nr16	Tid	nr13	nr14	nr15 .	1r16	nr13 r	nr14 nr	15	nr16
04.00							424	450	104.25			ון <del>כב</del>					
81.00	13	14	17	11	194	61	121	152	101.25	13	14	17	11	194	61	121	152
81.25	13	14	17	11	194	61	121	152	101.50	13	14	17	11	194	61	121	152
81.50	13	14	17	11	194	61	121	152	101.75	13	14	17	11	194	61	121	152
81.75	13	14	17	11	194	61	121	152	102.00	13	14	17	11	194	61	121	152
82.00	12	14	17	11	19/	61	121	152	102.25	12	14	17	11	19/	61	121	152
02.00	10	14	17	14	104	C1	121	152	102.23	10	14	47	11	104	C1	121	152
82.25	13	14	1/	11	194	61	121	152	102.50	13	14	1/	11	194	61	121	152
82.50	13	14	17	11	194	61	121	152	102.75	13	14	17	11	194	61	121	152
82.75	13	14	17	11	194	61	121	152	103.00	13	14	17	11	194	61	121	152
83.00	13	14	17	11	194	61	121	152	103.25	13	14	17	11	194	61	121	152
83 25	12	14	17	11	194	61	121	152	103 50	13	14	17	11	194	61	121	152
03.25	12	14	17	11	104	61	121	152	102.75	12	14	17	11	104	61	121	152
83.50	13	14	1/	11	194	01	121	152	103.75	13	14	1/	11	194	61	121	152
83.75	13	14	17	11	194	61	121	152	104.00	13	14	17	11	194	61	121	152
84.00	13	14	17	11	194	61	121	152	104.25	13	14	17	11	194	61	121	152
84.25	13	14	17	11	194	61	121	152	104.50	13	14	17	11	194	61	121	152
84.50	13	14	17	11	194	61	121	152	104.75	13	14	17	11	194	61	121	152
84 75	13	1/	17	11	10/	61	121	152	105.00	13	1/	17	11	10/	61	121	152
04.75	13	14	17	11	104	01	121	152	105.00	13	14	17	11	104	61	121	152
85.00	13	14	1/	11	194	01	121	152	105.25	13	14	1/	11	194	61	121	152
85.25	13	14	17	11	194	61	121	152	105.50	13	14	17	11	194	61	121	152
85.50	13	14	17	11	194	61	121	152	105.75	13	14	17	11	194	61	121	152
85.75	13	14	17	11	194	61	121	152	106.00	13	14	17	11	194	61	121	152
86.00	13	14	17	11	194	61	121	152	106.25	13	14	17	11	194	61	121	152
86.25	13	1/	17	11	10/	61	121	152	106 50	13	1/	17	11	10/	61	121	152
00.23	13	14	17	11	194	01	121	152	100.30	13	14	17	11	194	01	121	152
86.50	13	14	1/	11	194	61	121	152	106.75	13	14	1/	11	194	61	121	152
86.75	13	14	17	11	194	61	121	152	107.00	13	14	17	11	194	61	121	152
87.00	13	14	17	11	194	61	121	152	107.25	13	14	17	11	194	61	121	152
87.25	13	14	17	11	194	61	121	152	107.50	13	14	17	11	194	61	121	152
87.50	13	14	17	11	194	61	121	152	107.75	13	14	17	11	194	61	121	152
27 7F	10	11	17	11	10/	£1	171	150	108.00	10	1/	17	11	10/	61	101	157
07.75	13	14	1/	11	194	01	121	152	100.00	13	14	17	11	194	01	121	152
88.00	13	14	17	11	194	61	121	152	108.25	13	14	1/	11	194	61	121	152
88.25	13	14	17	11	194	61	121	152	108.50	13	14	17	11	194	61	121	152
88.50	13	14	17	11	194	61	121	152	108.75	13	14	17	11	194	61	121	152
88.75	13	14	17	11	194	61	121	152	109.00	13	14	17	11	194	61	121	152
89.00	13	14	17	11	194	61	121	152	109 25	13	14	17	11	194	61	121	152
80.25	12	14	17	11	104	61	121	152	100 50	12	1/	17	11	10/	61	121	152
09.23	13	14	17	11	194	01	121	152	109.30	13	14	17	11	194	01	121	152
89.50	13	14	1/	11	194	61	121	152	109.75	13	14	1/	11	194	61	121	152
89.75	13	14	17	11	194	61	121	152	110.00	13	14	17	11	194	61	121	152
90.00	13	14	17	11	194	61	121	152	110.25	13	14	17	11	194	61	121	152
90.25	13	14	17	11	194	61	121	152	110.50	13	14	17	11	194	61	121	152
90 50	13	14	17	11	194	61	121	152	110 75	13	14	17	11	194	61	121	152
00.50	12	1/	17	11	10/	£1	171	152	111 00	10	1/	17	11	10/	61 61	171	152
01.00	10	14	17	11	104	01	121	152	111.00	10	14	17	11	104	01	121	152
91.00	13	14	1/	11	194	61	121	152	111.25	13	14	1/	11	194	61	121	152
91.25	13	14	17	11	194	61	121	152	111.50	13	14	17	11	194	61	121	152
91.50	13	14	17	11	194	61	121	152	111.75	13	14	17	11	194	61	121	152
91.75	13	14	17	11	194	61	121	152	112.00	13	14	17	11	194	61	121	152
92.00	13	14	17	11	194	61	121	152	112 25	13	14	17	11	194	61	121	152
02.00	12	14	17	11	104	61	121	152	112.20	12	14	17	11	104	61	101	152
92.25	15	14	17	11	194	61	121	152	112.50	15	14	17	11	194	61	121	152
92.50	13	14	1/	11	194	61	121	152	112.75	13	14	17	11	194	61	121	152
92.75	13	14	17	11	194	61	121	152	113.00	13	14	17	11	194	61	121	152
93.00	13	14	17	11	194	61	121	152	113.25	13	14	17	11	194	61	121	152
93.25	13	14	17	11	194	61	121	152	113.50	13	14	17	11	194	61	121	152
93 50	13	14	17	11	194	61	121	152	113 75	13	14	17	11	194	61	121	152
02.75	12	14	17	11	104	61	121	152	114.00	12	14	17	11	104	61	101	152
33.75	13	14	1/	11	194	01	121	152	114.00	13	14	17	11	194	01	121	152
94.00	13	14	17	11	194	61	121	152	114.25	13	14	1/	11	194	61	121	152
94.25	13	14	17	11	194	61	121	152	114.50	13	14	17	11	194	61	121	152
94.50	13	14	17	11	194	61	121	152	114.75	13	14	17	11	194	61	121	152
94.75	13	14	17	11	194	61	121	152	115.00	13	14	17	11	194	61	121	152
95.00	13	14	17	11	194	61	121	152	115.25	13	14	17	11	194	61	121	152
95 25	12	14	17	11	194	61	121	152	115 50	12	14	17	11	194	61	121	152
95.25	12	1/	17	11	10/	£1	171	152	115 75	10	11	17	11	10/	61 61	171	152
33.30	13	14	1/	11	194	01	121	152	110.75	13	14	1/	11	194	01	121	152
95.75	13	14	17	11	194	61	121	152	116.00	13	14	1/	11	194	61	121	152
96.00	13	14	17	11	194	61	121	152	116.25	13	14	17	11	194	61	121	152
96.25	13	14	17	11	194	61	121	152	116.50	13	14	17	11	194	61	121	152
96.50	13	14	17	11	194	61	121	152	116.75	13	14	17	11	194	61	121	152
96.75	13	14	17	11	194	61	121	152	117.00	13	14	17	11	194	61	121	152
97.00	12	1/	17	11	10/	61	121	152	117 25	10	1/	17	11	10/	61	101	150
97.00	13	14	1/	11	194	01	121	152	117.25	13	14	1/	11	194	01	121	152
97.25	13	14	17	11	194	61	121	152	11/.50	13	14	17	11	194	61	121	152
97.50	13	14	17	11	194	61	121	152	117.75	13	14	17	11	194	61	121	152
97.75	13	14	17	11	194	61	121	152	118.00	13	14	17	11	194	61	121	152
98.00	13	14	17	11	194	61	121	152	118.25	13	14	17	11	194	61	121	152
98 25	12	14	17	11	194	61	121	152	118 50	12	14	17	11	194	61	121	152
00.20	10	14	17	11	104	61 51	121	152	110.50	10	11	17	11	104	C1	101	152
98.50	13	14	1/	11	194	10	121	152	118.75	13	14	1/	11	194	01	121	152
98.75	13	14	17	11	194	61	121	152	119.00	13	14	17	11	194	61	121	152
99.00	13	14	17	11	194	61	121	152	119.25	13	14	17	11	194	61	121	152
99.25	13	14	17	11	194	61	121	152	119.50	13	14	17	11	194	61	121	152
99.50	13	14	17	11	194	61	121	152	119.75	13	14	17	11	194	61	121	152
99.75	12	14	17	11	19/	61	171	152	120.00	12	14	17	11	194	61	121	152
100.00	10	14	17	11	104	C1	121	152	120.00	1.3	14	1/	11	1.74	01	121	102
100.00	13	14	1/	11	194	61	121	152		_				•• • • •		~ 1	
100.25	13	14	17	11	194	61	121	152		Bree	ade og lei	ngdeutvik	ting for	väte testok	ojekter ved 5	U bar	
100.50	13	14	17	11	194	61	121	152									
100.75	13	14	17	11	194	61	121	152									
101.00	13	14	17	11	194	61	121	152									
								-									

# vedlegg C

# Datablad

Dette vedlegget inneholder datablad for silikonet som ble brukt og oljen Midel 7131.







# ELASTOSIL® LR 3003/60 A/B

**Product description** 

Liquid silicone rubbers of the ELASTOSIL<sup>®</sup> LR 3003 series are paste-like, easily-pigmentable twocomponent compounds with short curing times. Their vulcanizates are noted for their high transparency and excellent mechanical and electrical properties.

## **Properties**

The products can be used within a temperature range of - 55  $^{\circ}$ C to + 210  $^{\circ}$ C.

The addition of heat stabilizers at service temperatures of more than 180 °C is recommended. Further information to improve the heat stability by use of specific ELASTOSIL<sup>®</sup> FL Color Pastes can be obtained from the Technical Information Sheet "ELASTOSIL<sup>®</sup> FL Color Pastes".

## Application

These grades are particularly suitable for the economical production of large series of injection-moulded articles.

Parts made from ELASTOSIL® LR 3003/60 A/B can be used for technical applications. These articles are also suitable for use in conjunction with foodstuffs.

Postcured parts can be used for food contact applications and are suitable for use under the Recommendation "XV. Silicones" of the BfR and FDA § 177.2600 under observance of any given limitations on extractable and volatile substances.

### Processing

The A and B components are delivered ready to use in

20 and 200 litre drums. With adequate metering equipment, they can be pumped directly from the original containers into the injection molding machine and mixed by a static mixer. The mixing ratio is 1 : 1. At room temperature, mixtures of A and B components have a pot life of at least three days.

For detailed information refer to our brochure "SOLID AND LIQUID SILICONE RUBBER -MATERIAL AND PROCESSING GUIDELINES".

## Storage

The 'Best use before end' date of each batch is shown on the product label.

Storage beyond the date specified on the label does not necessarily mean that the product is no longer usable. In this case however, the properties required for the intended use must be checked for quality assurance reasons.

## Safety notes

Comprehensive instructions are given in the corresponding Material Safety Data Sheets. They are available on request from WACKER subsidiaries or may be printed via WACKER web site http://www.wacker.com.



#### Product data

Typical general characteristics	Inspection Method	Value
Hardness Shore A	DIN 53505	60
Appearance		transparent
Density	ISO 1183-1 A	1,13 g/cm³
Viscosity (shear rate 0.9 s <sup>-1</sup> )	DIN 53019	1100000 mPa s
Viscosity (shear rate 10 s <sup>-1</sup> )	DIN 53019	420000 mPa s
Tensile strength	DIN 53504 S 1	9,40 N/mm <sup>2</sup>
Elongation at break	DIN 53504 S 1	340 %
Tear strength	ASTM D 624 B	27 N/mm
Rebound resilience	DIN 53512	67 %
Compression set *	DIN ISO 815-B	11 %
	(22 h / 175 °C)	
Dielectric strength (1-mm-sheet)	DIN IEC 243-2	23 kV/mm
Volume resistivity	DIN IEC 93	5 x 10 <sup>15</sup> Ω cm
Dielectric constant at 50 Hz	DIN VDE 0303	2,8 ɛr
Dissipation Factor (50 Hz)	DIN VDE 0303	20 x 10 <sup>-4</sup> tan δ

Cure conditions: 5 min / 165 °C in press; postcuring for 4 h / 200 °C in ventilated air \* Postcuring for CS: 6 h / 200 °C

These figures are only intended as a guide and should not be used in preparing specifications.

The data presented in this leaflet are in accordance with the present state of our knowledge, but do not absolve the user from carefully checking all supplies immediately on receipt. We reserve the right to alter product constants within the scope of technical progress or new developments. The recommendations made in this leaflet should be checked by preliminary trials because of conditions during processing over which we have no control, especially where other companies' raw materials are also being used. The recommendations do not absolve the user from the obligation of investigating the possibility of infringement of third parties' rights and, if necessary, clarifying the position. Recommendations for use do not constitute a warranty, either express or implied, of the fitness or suitability of the products for a particular purpose. The management system has been certified according to DIN EN ISO 9001 and DIN EN ISO 14001

WACKER is a trademark of Wacker Chemie AG. ELASTOSIL® is a trademark of Wacker Chemie AG. For technical, quality, or product safety questions, please contact:

Wacker Chemie AG Hanns-Seidel-Platz 4 81737 München, Germany info.silicones@wacker.com

www.wacker.com



## MIDEL<sup>®</sup> 7131

## **Dielectric Insulating Fluid Overview**

December 2010 Page 1 of 2

#### MIDEL 7131 Product Overview

MIDEL 7131 is a synthetic ester-based dielectric fluid that has been serving the global transformer market for over 30 years. MIDEL 7131 has been specifically formulated to provide a safe, superior alternative to traditional fluid and dry-type transformers and can be used in indoor or outdoor locations.

MIDEL 7131 is a high performance fluid that offers increased fire safety, greater environmental protection and superior moisture tolerance. Testing has also proven that MIDEL 7131 has excellent dielectric properties.

#### IEC 61099 Conformity

MIDEL 7131 conforms to IEC 61099 "Specifications for Unused Synthetic Organic Esters for Electrical Purposes". It is classified as type T1, a halogen-free pentaerythritol ester.

#### **Areas of Application**

MIDEL 7131 filled transformers are available from all major transformer manufacturers. MIDEL 7131 is suitable for a wide range of transformer applications, including sealed and breathing.

- Distribution transformers
- Power transformers
- Traction transformers
- Rectifier transformers
- Pole-type transformers
- Tapchangers
- Thyristor cooling

### Retrofilling

MIDEL 7131 has been used to retrofill thousands of distribution transformers to improve service life, reduce environmental hazards or increase fire safety.

### **Corrosive Sulphur**

MIDEL 7131 has been tested by independent laboratories to ASTM D1275 B and IEC 62535, it was found to be non-corrosive.

#### **Increased Fire Safety**

MIDEL 7131 has a high fire point and a low net calorific value (<32 MJ/kg) and is therefore classified as a K3 class liquid.

- 100% fire safety record
- ▶ High fire point (>300 °C)
- K-class to IEC 61100 / 61039
- ▶ FM Global<sup>®</sup> approved transformer fluid
- Reduced fire safeguarding costs

#### **Greater Environmental Protection**

MIDEL 7131 is an environmentally friendly alternative to conventional transformer fluids because it is classified as readily biodegradable and non-water hazardous.

- Readily biodegradable (OECD 301)
- Fully biodegradable (IEC 61039)
- Classified as non-water hazardous by (UBA)
- Non-toxic
- > Will not evaporate into the environment
- Not detrimental to activated sludge in biological treatment plants
- RoHS compliant

## **High Performance**

MIDEL 7131 is an extremely robust fluid that delivers long-term stability even when exposed to extreme temperature variations. MIDEL 7131 also has excellent oxygen stability allowing it to be used in breathing transformers.

- Robust and stable at high
- temperatures over long periods Suitable for compact transformer design
- Superior oxygen stability
- Excellent lubricant
- No sludge formation

#### **Moisture Tolerance**

MIDEL 7131 is moisture tolerant and can absorb far more water than alternative fluids, without compromising the breakdown voltage.

- No reduction of breakdown voltage (up to 600ppm / 20°C)
- Allows moisture to migrate from cellulose into the fluid
- Potentially keeps the cellulose drier and slows the rate of ageing
- Very high saturation limit making condensation virtually impossible
- Reduced risk of bubble formation

### Delivery

MIDEL 7131 can be delivered in 24.5kg, 195kg or 1000kg sealed containers; bulk tanker deliveries available for >20 tonnes.

#### Disposal

For disposal, it is recommended that used MIDEL 7131 or remains of the insulating fluid be burnt in a suitable installation.

## www.midel.com

Any recommendation or suggestion relating to the use, storage, handling or properties of the products supplied by M&I Materials Ltd either in sales and technical literature or in response to a specific enquiry or otherwise is given in good faith, but it is for the customer to satisfy itself of the suitability of the product for its own particular purposes. Trade Mark.



MIDEL<sup>®</sup> 7131

## **Dielectric Insulating Fluid Overview**

December 2010 Page 2 of 2

	Unit	Test Method	Requirement	MIDEL 7131
Physical Properties According to IEC 61099				
Colour	HU	ISO 2211	max. 200	125
Appearance	-	IEC 61099 7.1.2	clear, free from suspended matter and sediment	clear, free from suspended matter and sediment
Density at 20℃	kg/dm <sup>3</sup>	ISO 3675	max. 1.00	0.97
Kinematic Viscosity at 40 °C	mm²/s	ISO 3104	max. 35.0	28
Kinematic Viscosity at -20 °C	mm²/s		max. 3000	1400
Flash Point	°C	ISO 2719	min. 250	260
Fire Point	C	ISO 2592	min. 300	316
Pour Point	C	ISO 3016	max45	-60
Crystallisation	-	IEC 61099 (2010) Annex A	No crystals	No crystals
Chemical Properties According to IEC 61099				
Water Content	mg/kg	IEC 60814	max. 200	50
Neutralisation Value	mg KOH/g	IEC 62021-2	max. 0.03	<0.03
Oxidation Stability - Total Acid Content - Total Sludge Content	mg KOH/g % mass	IEC 61125	max. 0.3 max. 0.01	0.01 <0.01
Net Calorific Value	MJ/kg	ASTM D 240-02	<32	31.6
Dielectric Properties According to IEC 61099				
Breakdown Voltage	kV	IEC 60156	min. 45	>75
Dielectric Dissipation Factor Tan $\delta$ at 90 $^\circ\!\!C$ and 50 Hz	-	IEC 60247	max. 0.03	<0.008
Volume Resistivity DC at 90℃	Gohm-m	IEC 60247	min. 2	>30

## Table 1 - Characterisation of Type T1 Transformer Ester According to IEC 61099 and DIN VDE 0375

Data quoted above are typical values, may be altered without notice and do not constitute a specification

## www.midel.com

Any recommendation or suggestion relating to the use, storage, handling or properties of the products supplied by M&I Materials Ltd either in sales and technical literature or in response to a specific enquiry or otherwise is given in good faith, but it is for the customer to satisfy itself of the suitability of the product for its own particular purposes. Trade Mark.