

Degradering av flourpolymerer ved hjelp av partielle utladninger

Øystein Sæthre

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2010
Hovedveileder: Frank Mauseth, ELKRAFT

Oppgavetekst

Fluorpolymer har vist seg robust mot høye temperatur og kan motstå et hardt miljø, hovedsakelig på grunn av sterke bindinger mellom karbon- og fluoratomer. På grunn av dette er denne typen polymereisolasjon attraktiv som høyspenningsisolasjon til bruk i forskjellige komponenter i olje- og undervannsinstallasjoner.

Hovedformålet med prosjektet har vært å sammenligne kryssbundet polyetylen (PEX) og perfluoroalkoxy (PFA) med hensyn på levetid ved hjelp av partielle utladninger.

Oppgaven gitt: 15. januar 2010

Hovedveileder: Frank Mauseh, ELKRAFT

Forord

Hovedformålet med prosjektet har vært å sammenligne kryssbundet polyetylen (PEX) med perfluoroalkoxy (PFA) med hensyn på levetid.

Det er flere personer som fortjener takk for veiledningen og hjelp under hovedprosjektet.

Jeg vil takke Oddgeir Kvien for all praktisk hjelp og for den tålmodigheten dette har krevd.

For materiale og forståelse av teori vil jeg takke Sverre Hvidsten og Frank Mauseth.

Ved lagning av Matlab program for utregning av energi. Fortjener først Gunnar Berg for hjelp med å få data til et format som Matlab leser. Frank Mauseth har vært til uvurderlig hjelp under lagning av programmet. Og til slutt fortjener Ketil Stokland takk for diskusjon om og hjelp med Matlab programmering.

Trondheim, 10.06.2010

Øystein Sæthre

Sammendrag

Prosjektet har blitt utført i samarbeid med SINTEF Energi AS. Hovedformålet med prosjektet har vært å sammenligne kryssbundet polyetylen (PEX) med perfluoroalkoxy (PFA) med hensyn på levetid i elektrisk sammenheng. I dag er PEX det mest brukte isolasjons materiale, men dette isolasjons materiale er ikke veldig motstandsdyktig mot partielle utladninger. Det er derfor ønskelig og finne et materiale som er mer motstandsdyktig mot partielle utladninger og derfor kan være et alternativ til PEX som isolasjonsmateriale i applikasjoner med høye temperaturer og trykk.

Forsøkene har blitt gjort ved konstant trykk (4 bar absolutt, N₂), ved 25 °C eller 30 °C og konstant avstand fra elektrode til prøveobjekt (1 mm). Spenningen under testing har vært 16769 volt eller 18000 volt. Data som har blitt målt og logget under testing av prøveobjektene er PD, antall PD, trykk og temperatur.

Prøvedata har blitt undersøkt, for å påvise et mønster som kan forteller om levetid. Det har blitt sett på levetid for isolasjonen som funksjon av spenning, energi og motstand på belegg mellom prøveobjekt og jordingselektrode. Det kommer ikke frem noen signifikante forskjeller mellom PEX og PFA. Det er derfor ikke mulig og si noe om hvordan PFA er som isolasjon i forhold til PEX.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	ii
1. Innledning.....	1
2. Teori	2
2.1. Materiale.....	2
2.2. Prøveobjekt.....	3
2.3. Partielle utladninger (PD).....	3
2.4. Paschens kurve.....	5
2.5. Levetid	6
3. Metode	8
3.1. Tilvirkning av prøveobjekt.....	8
3.2. Prøveoppsett.....	10
3.3. ICM-system	11
3.4. Temperatur og Trykk Logging.....	12
3.5. Testkammer	12
3.6. Temperatur	13
3.7. Eksperimentelt oppsett	13
3.8. Bytting av prøveobjekt.....	14
3.9. Hydrofobi-test [13]	14
3.10. Behandling av resultater	15
4. Resultater	16
4.1. Logger	16
4.2. Hydrofobi-test	16
5. Data fra prøveobjekt	17
6. Diskusjon	21
7. Konklusjon	24
7.1. Forslag til videre arbeid	24
8. Referanser	25
Vedlegg A: ICM-parametere.....	26
Vedlegg B- dødtid [12]	27
Vedlegg C: Trykk og Temperatur.....	33

Vedlegg D: Hydrofobi test etter gjennomslag.....	49
Vedlegg E: Utladningskarakteristikker.....	57

1. Innledning

Fluorpolymer har vist seg robust mot høye temperatur, trykk og kan motstå et hardt miljø, hovedsakelig på grunn av sterke bindinger mellom karbon og fluor atomer. På grunn av dette så er denne typen polymerer attraktive som høyspenningsisolasjon og til bruk i forskjellige komponenter i olje og undervannsinstallasjoner.

Hovedformålet med prosjektet har vært å sammenligne kryssbundet polyetylen (PEX) med perfluoroalkoxy (PFA) med hensyn på levetid under samme forhold.

Hypotese før test av PFA og PEX er at PFA vil være bedre som isolasjonsmateriale når man ser på tid til gjennomslag fordi det tåler høyere temperatur og trykk.

Begrensingene i prosjektet er at testing av alle prøvene skal foregå ved samme spenning (16,8 kV eller 18kV), trykk (4 bar absolutt) og avstand fra elektrode til prøve (1 mm). Når det gjelder temperatur har prøveobjektene har blitt testet ved temperaturer 25 °C eller 30°C.

2. Teori

2.1. Materiale

Denne delen forteller om hvilket materiale prøveobjektene er laget av.

Polyetylen kryssbundet (PEX) [1]

PEX (engelsk XLPE), er polyetylen (PE) som har blitt kryssbundet. Dette gjør at isolasjon tåler mer varme, som vil si at en kan ha en høyere ledertemperatur, altså belaste kabelen høyere. PEX egner seg for temperaturer opp til 90 °C. Isolasjonen tåler også leder temperaturer opp til 250 °C for en kort tid (kortslutning). PEX er enerådende som isolasjon i kabler på mellomspenningsnivå. Den største forskjellen mellom PE og PEX er at PEX er mer motstandsdyktig mot PD og at PEX tåler høyere temperaturer enn PE. Dette kommer av at PE er termoplast og PEX er termosetende plastikk.

Tabell 1 - data for PEX ved 20 °C

Egenskap	Verdi	Enhet
Relativ permittivitet	2,3	
Tan δ	0,0004	
Resistivitet ρ	1014	ohm. cm
Varmeresistivitet	400	$\frac{^{\circ}\text{C} * \text{cm}}{\text{W}}$
Maksimal driftstemp.	90	$^{\circ}\text{C}$
Kortslutningstemp	250	$^{\circ}\text{C}$

Perfluoroalkoxy (PFA) [2]

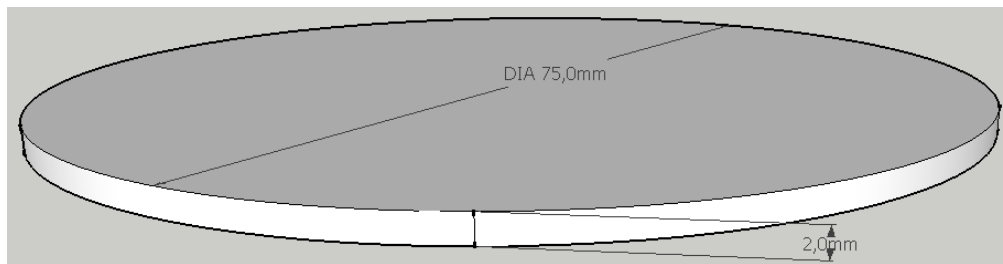
PFA tåler betydelig større temperaturer enn PEX. PFA har en drifttemperatur opp til 260 °C, ned til -196 °C, og vil ikke reagere kjemisk med de fleste industri kjemikalier og løsemidler. I tabellen under er de elektriske egenskapene til PFA oppgitt. drift

Tabell 2 - PFA egenskaper

Egenskap	Verdi	Enhet
Nominell smeltetemperatur	302-310	$^{\circ}\text{C}$
Max drifttemperatur	260	$^{\circ}\text{C}$
Vannabsorpsjon, 24 timer	<0,03	%
Dielektrisk styrke, kort tid 0,25mm	80	kV/mm

2.2. Prøveobjekt

Figur 1 viser hvordan prøveobjektene ser ut og dimensjonene til objektet, 75mm i diameter og 2mm i tykkelse.. Et prøveobjekt er enten laget av PEX eller PFA.



Figur 1: Prøveobjekt

Nummerering av prøveobjektene er type isolasjon og prøve nummer. Altså PEX 1, PEX 2 - PEX 9 og PFA 1, PFA 2 - PFA 11.

2.3. Partielle utladninger (PD)

Partielle utladninger er gassutladninger som berører en del av en isolasjonsstrekning. Det kan være utladninger som foregår i hulrom fast eller flytende isolasjon. Utladningene kan forkomme i luft hvis feltstyrken E [kV/mm] overgår holdfastheten til luft.

Indre utladninger

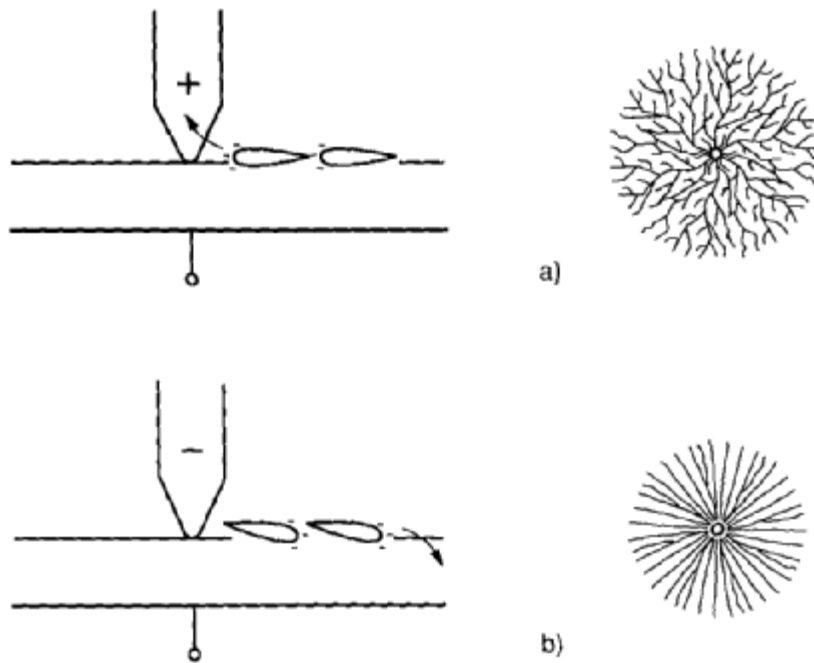
Indre utladninger er også kalt hulromsutladninger. Utladningene forekommer i hulrom (fylt med gass eller væske) inne i isolasjonen. Utladningene forekommer når det elektriske feltet E blir større enn holdfastheten til hulrommet. I et rundt gassfylt hulrom så kan det elektriske feltet over hulrommet bli

$$E_h = \frac{3\epsilon_r}{1-2\epsilon_r} E \quad (2.1)$$

der E er det elektriske feltet over isolasjonen hvis det ikke er noen hulrom i isolasjonen og ϵ_r er den relative permittiviteten for isolasjonsmaterialet. Det elektriske feltet vil være høyere i hulrommet enn i isolasjonen [1].

Overflateutladninger [3]

Overflateutladninger er som navnet sier utladninger som skjer langs en overflate, der man har et høyt elektrisk felt og det elektriske feltet har en tangensiel komponent med overflaten. Når det forgår overflateutladninger så vil man få karakteristiske mønstre, såkalte Lichtenbergfigurer. Disse figurene oppstår der man har en stang plassert mot en overflate til en leder, som vist i Figur 2.



Figur 2 – Lichtenbergfigurer, positivt øverst og negativt nederst [4]

Med en positiv elektrode så vil elektronskredet gå mot stangen og elektronene kan bevege seg fritt. Mønsteret som blir dannet av denne bevegelsen ser man i Figur 2a.

Er elektroden derimot negativ så vil elektronskredet bevege seg motsatt av positivt tilfelle, det vil si vekk fra elektroden. Der har ikke elektronene så stor plass til å bevege seg fritt som de gjorde når de bevegde seg mot elektroden. Det mønsteret som dannes nå er vist i Figur 2b, dette mønsteret er mindre i diameter enn i positivt tilfelle.

Når man har vekselspanning så vil det positive mønsteret gjøre seg gjeldene. Overflateutladninger er vanligvis formet som Lichtenbergfigurer og mønsteret viser hvor utladningene kommer fra.

Korona

I et homogent elektrisk felt vil ionisering føre til sammenbrudd, men i et ikkehomogent felt kan det føre til synlige og hørbare utladninger. Disse utladningene blir kalt korona. Dette fenomenet er ansvarlig for betydelige tap fra luftlinjer, samt utladningene kan føre til nedbryting av isolasjonen ved at utladningene bombarderer isolasjonen og ved kjemiske forbindelser som blir dannet under utladningene. Korona er også kjent for å kunne forstyrre kommunikasjon. Overslag vil som regel hende i den positive halvperioden. Det at man har koronautladninger er ikke nødvendigvis negativt, korona kan også bli brukt til noe nyttig som for eksempel i elektrostatiske lakker eller i kopieringsmaskiner [1].

2.4. Paschens kurve

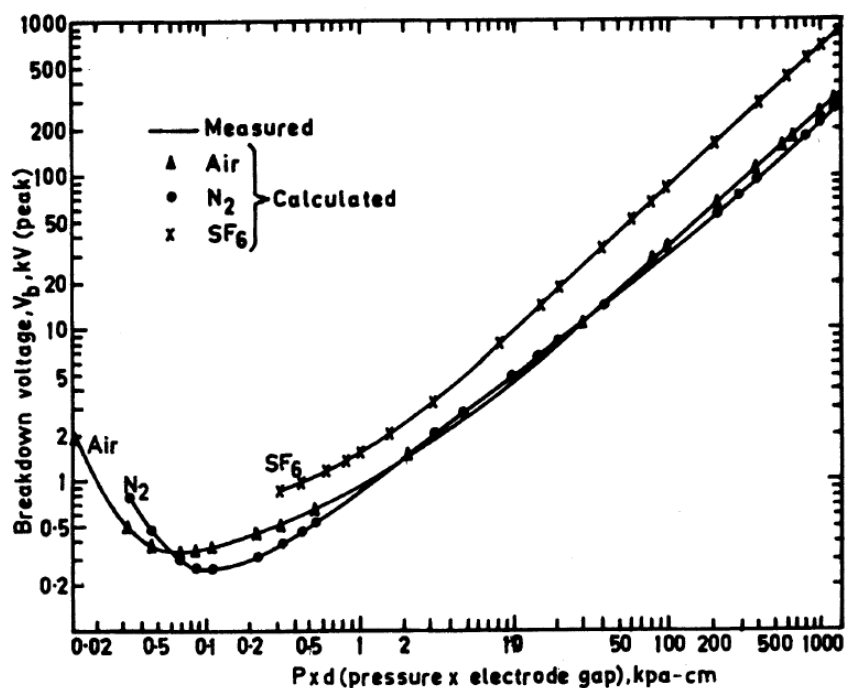
Gjennomslagsspenning er avhengig av både temperatur og trykk. Hvordan dette henger sammen er beskrevet ved hjelp av Paschens lov.

I 1889 fant Paschen ut at gjennomslagsspenning (U_{gi}) ikke bare er avhengig av avstand, men også trykk. Han oppdaget også at gjennomslagsspenningen var en funksjon (f) av trykk og avstand [5]. Paschens lov kan derfor skrives som

$$U_{gi} = f(p \cdot d) \quad (2.2)$$

Hvor p er trykk og d er gapavstand [5].

Figur 1 viser hvordan Paschens kurve ser ut hvis gassen utladningene forekommer i er luft, N_2 eller SF_6 .



Figur 3 - Målt og utregnet Paschen kurve for luft, N_2 og SF_6 [6]

Tar utgangspunkt i fast avstanden fra elektrode til prøveobjekt og det er trykket som blir forandret.

I Figur 3 ser man et minimum på de forskjellige kurvene, dette punktet kalles Paschens minimum. Det er i dette minimumet man har trykket som gjør at det kreves minst spenning for å få utladninger [1][3].

Grunnen til at man trenger større elektrisk felt på venstre siden av Paschens minimum er at det er få gassmolekyler og dermed færre molekyler et elektron kan kolliderer med for å få til en ionisering, dermed trenger man et større elektrisk felt for å få ionisering, altså høyere spenning for å få utladninger [3].

På høyre av Paschens minimum har man mange gass molekyler og derfor har man mange kollisjoner. Men elektronene oppnår ikke så høy hastighet at det forekommer mye ionisering. Hvis man da øker

det elektriske feltet så vil elektronene få høyere hastighet og dermed vil det forkomme mer ionisering. Dette er grunnen til formen på høyre side av Paschens minimum [3].

Hvis man tar med temperaturvariasjoner, så kan Paschens lov skrives som $U = f(p \cdot d)$. Der d er gapavstanden og p er gasstetthet, dette sørger for at effekten av temperatur blir tatt med. Loven har blitt bekreftet til å gjelde opp til 1100 grader celsius [1].

2.5. Levetid

Levetiden til et prøveobjekt blir påvirket av flere faktorer. Denne delen forklarer hvordan faktorene påvirker levetiden og hvordan faktorene henger sammen.

Spenning

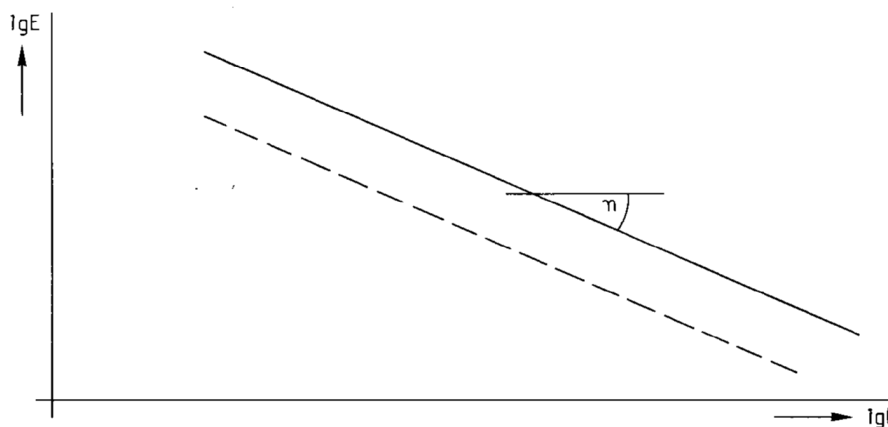
Levetiden er gitt av størrelsen på det elektriske feltet og størrelsen av feltet E er gitt av spenningen. Levetiden er gitt av

$$L = \frac{C}{E^n} \quad (2.3)$$

Kan også skrives som

$$\log L = k - n \log E \quad (2.4)$$

Der k, n og c er konstanter [3].



Figur 4 - Levetid med utladninger som funksjon av elektriskfelt. Den prikkede linjen viser at større utladninger gir kortere levetid [3].

Effekt av elektrisk felt styrke

Fallvinkelen til linjen er gitt av vinkelen η . Siden η er stor (fra 9 til 20) så er effekten av det elektriske feltet veldig stort.

Hvis man dobler feltstyrke og $\eta = 9$ som den kan være med PE, så vil levetiden reduseres med $2^9 \approx 500$ ganger [3].

Effekt av utladningsstørrelse

Effekten av utladningsstørrelse er mye mindre enn effekten av det elektriske feltet. En økning i utladningen størrelse vil senke linjen, dette er indikert med den prikkede linjen vist i Figur 4. Det kreves en endring på 1 dekade, for at utladnings størrelse skal ha en betydning for levetiden [3].

Figur 4 viser hvordan levetiden vil være med en nedbrytnings mekanisme, kurven kan ha annen form hvis man har flere nedbrytnings mekanismer.

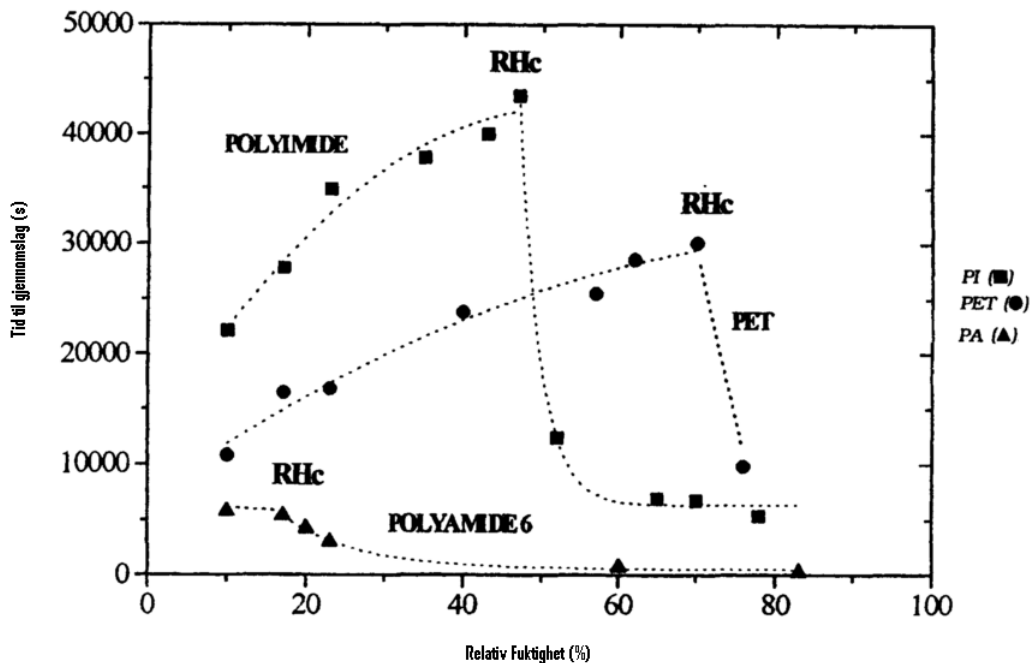
Trykk

Som forklart under kapitelet Paschens kurve så vil en økning i trykk kreve høyere spenning for å få utladninger. Og høyere spenning vil igjen på virke levetiden til prøveobjektet, dette er under punktet

Spenning.

Fuktighet

I prosjektet har det blitt brukt N_2 med fuktigheten på 10 %.



Figur 5 - Tid til gjennomslag som funksjon av relativ fuktighet [7].

Som man kan se av Figur 5 så vil tiden til gjennomslag øke med økt fuktighet, helt til man kommer til punktet RHc (Relativ Humidity Critical). Etter RHc så vil tid til gjennomslag minke med økt relativ fuktighet [7] [8].

Området skadet av PD er alltid sirkel formet og med $RH < RHc$ vil området øke litt med økende fuktighet. Men når $RH > RHc$ blir diameteren på sirkelen tydelig mindre. Grunnen til dette er at ved $RH < RHc$ har overflaten liten ledningsevne og denne lave ledningsevnen vil holde seg til gjennomslag. Derfor vil ladning fra PD legge seg på overflaten og føre til et lavere elektrisk felt i gapet mellom prøve og elektrode. Slik at etterfølgende PD vil følge en utladnings bane som er lengre unna elektroden enn hvis ladningene ikke var på overflaten [8].

Hvis $R_H > R_{Hc}$ så vil overflateledningsevnen holde seg høy. Dette fører til at elektriske ladninger fra PD utladningene vil bli ledet bort raskt. Dette gjør at det ikke blir et lavere elektrisk felt. Som igjen gjør at PD treffer området under elektroden. Området som PD treffer vil være mindre enn i foregående tilfelle. Og siden man antar PD energien er like stor så vil tid til gjennomslag være forholdsvis lavere enn i forrige tilfelle [8].

Grunnen til at ledningsevnen øker med økende fuktighet henger sammen med antall vannmolekyler som er absorbert på overflaten av polymerprøven. Når fuktigheten øker så øker antall vannmolekyler absorbert på overflaten. Når nok vannmolekyler har blitt absorbert så fører dette til at vannmolekylene blir mer mobile, det vil si ledningsevnen til overflaten øker [8].

3. Metode

3.1. Tilvirkning av prøveobjekt

Denne delen forklarer hvordan prøveobjektene blir laget. Og hva som er viktig for å få laget prøveobjektene.

Reingjøring

Det er viktig at formene og deler som er i kontakt med materiale er reint, grunnen er at man skal unngå forurensing av materialet. Forurensing av materiale vil kunne føre til prøveobjekt som ikke vil være så motstandsdyktig mot utladninger som det ville ha vært uten forurensingene. Der for blir utstyr skrapet reint med kniv og børste laget av messing. Grunnen til bruk av messing er at messing ikke riper opp det herdet stålet som former og utstyr er laget av, slik at man får prøveobjekt med jevnere overflate. Etter at gammel plastikk er skrapet vekk, vaskes utstyret med isopropanol for å få det helt rent.

Former

Formene er sirkel formet og laget av herdet stål, de er også laget slik at man oppnår ønsket tykkelse på prøveobjektene. Formene har åpninger for å få ut overskuddsmateriale. Etter at materialet legges i formen plasseres en folie med slippmiddel over formene og en plate over der igjen. Grunnen til folien med slippmiddel er for at materialet ikke skal feste seg til platen, platen er for å fordele trykket fra pressen over formene.

PFA

Materiale fra leverandør er formet som en 2,3 mm tykt plate. For å få prøveobjektene til ønsket tykkelse (2 mm), kuttet det ut sirkler med en diameter på 96 mm. Prøve objektene blir plassert i en form. Deretter blir formene plassert i pressen, prosedyren for pressen er forklart under **Presse**. Etter at prøveobjektene er ferdig i pressen har de fått ønsket tykkelse (2 mm) og blir deretter kuttet til ønsket diameter (75 mm).

PEX

Materialet blir laget fra bunn av, det vil si man får pellets fra leverandør, pelletsene er PE med peroksider. Det brukes en ekstruder for å smelte materialet og forme det til en tynn film. Deretter kuttet filmen opp og legges i formene, deretter blir formene plassert i pressen. Det er i pressen at peroksider blir aktivert av varmen. Denne aktiveringen hender når plastikken blir varmet til over 130 °C. Og gjør at PE blir til PEX. Etter at prøveobjektene er ferdig i pressen har de fått ønsket tykkelse (2 mm) og blir deretter kuttet til ønsket diameter (75 mm).

Ekstrudering

Materiale blir levert som pellets fra leverandør. Pelletsene blir smeltet og omformet ved hjelp av en ekstruder. Grunnen til at man bruker ekstruder er for å fjerne forurensinger og for at dette imitere kable produksjon. Ekstruderen består av 6 soner. Når de forskjellige sonene har oppnådd ønsket temperatur (se Tabell 3), blir det sluppet på pellets fra en ståltrakt. Inne i ekstruderen er det en skrue som presser pelletsene fram samtidig som de blir varmet opp slik at de smelter. Materialet får ny form når det blir presset frem gjennom en form i enden av ekstruderen. Materialet får form som en tynn film. De første 30 centimeterne som kommer ut fra ekstruderen blir kuttet vekk, dette gjøres for det kan være noen forurensinger av annet materiale som ligger inne i maskinen. Og de forurensingene blir dyttet ut sammen med materiale i de første 30cm. Når man har laget nok materiale, legges det et rensmiddel i trakten. Dette middelet dytter materialet som befinner seg inne i ekstruderen ut. Rense middelet er lettere og fjerne fra ekstruderen, slik at den blir lettere og reingjøre.

Tabell 3 - Ekstruder innstilling

	PEX
Sone 1 (Varmeelement)	117 °C
Sone 2 (Varmeelement)	117 °C
Sone 3 (Varmeelement)	117 °C
Sone 4 (Varmeelement)	117 °C
Sone 5 (Varmeelement)	117 °C
Sone 6 (Kjøling)	16 °C
Hastighet på ekstruderingszone	10 rpm
Hastighet på samlerull	3 rpm

Presse

Pressen blir brukt for å smelte og forme materialet til ønsket form. Pressen blir varmet opp til ønsket temperatur (se Tabell 4) og deretter blir formene satt inn. Materialet ligger i former som er laget slik at man oppnår ønsket tykkelse og form på materialet. Pressen begynner på lavt trykk, deretter bytter man til høyt trykk for å forme materialet, grunnen til dette er at materialet skal varmes opp, før det blir presset til ønsket form. Uten trykk vil det bli luftbobler i materialet. Boblene vil påvirke hvor motstandsdyktig materialet blir mot PD. Etter forming av materialet blir et satt på kjøling for å senke temperaturen. Som et siste steg kutter man prøvene til ønsket diameter. Temperatur, trykk, avkjøling og hvor lang tid hvert av disse forekommer er beskrevet i Tabell 4.

Tabell 4 - Innstillinger Presse, avspenning og avgassing

	PEX	PFA	Enhet
Temperatur (°C)	120	320	°C
Lavt Trykk (Tonn)	2	3	Tonn
Tid Lavt Trykk (Min)	8	1	minutter
Høy Trykk (Tonn)	12	25	Tonn
Høy Trykk Tid (Min)	45	12	minutter
Luftavkjøling	Ja	Ja	
Luftavkjøling Tid (Min)	1	5	minutter
Vannavkjøling	Ja	Ja	
Tid Vannavkjøling (Min)	15	50	minutter
Avspennings Temp (°C)	130		°C
Avspennings Tid (Døgn)	20		døgn
Avgassing Temp (°C)	90		°C
Avgassing Tid (Døgn)	3		døgn

Grunnen til at man ikke avspenner eller avgasser PFA er man må opp i en så høy temperatur at man vil smelte prøvene. Og dermed vil prøvene ikke bli slik man ønsker. Med PEX så vil kryssbindingen holde prøven sammen slik at prøveobjektene ikke mister den ønskede formen.

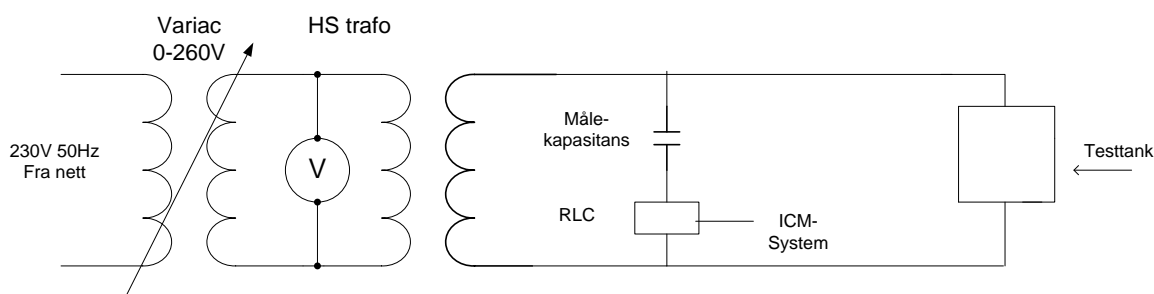
Forberedelse av prøveobjekt

Hver prøve har blitt rubbet med et fint sandpapir på en side. Dette blir gjort for å sikre at den ledende lakken (NSC skærmlacksspray) fester seg til prøvene. Grunnen til bruk av lakken er for å hindre at det forekommer utladninger mellom prøven og jordelektroden. Dette er ikke ønskelig siden dette vil påvirke levetiden. Og disse utladningene vil kunne variere fra prøveobjekt til prøveobjekt. Motstand på lakken har blitt målt for å finne ut om det er noen sammenheng mellom motstanden på lakken og tid til gjennomslag.

Sprayen har blitt påført i et lakkeringskammer. I kammeret er det avtrekk i slik at innånding av unngås.

3.2.Prøveoppsett

Denne delen forteller om hvilket utstyr måleoppsettet er satt sammen av og hvordan det fungerer.



Figur 6 – Målekrets for partielle utladninger [1]

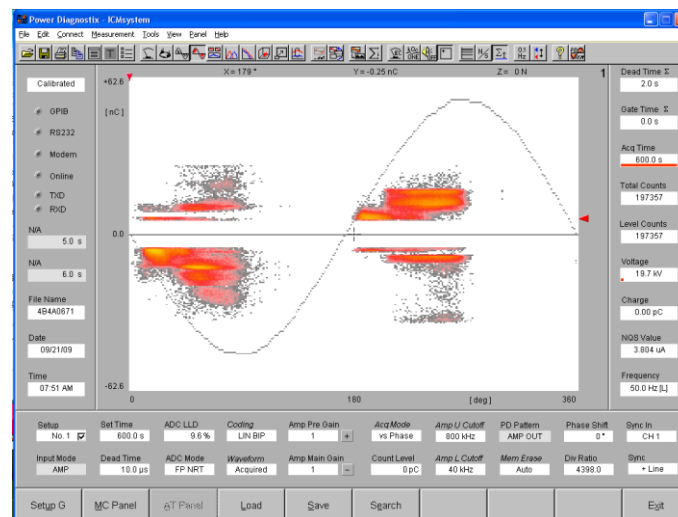
Som vist i Figur 6 blir kretsen forsynt med spenning fra nettet via en variac og en transformator. På variacen er det en teller, telleren viser antall timer variac'en har forsynt kretsen med spenning. Det er denne telleren som brukes for å måle tid til gjennomslag. Spenningen over prøveobjektet blir regnet ut ved å måle spenningen ut av variacen og deretter gange med omsetningsforholdet i transformatoren. Omsetningsforholdet for transformatoren er 220V til 45 KV altså 1 til 204,5.

Virkemåte

Når spenningen blir høyere enn holdfastheten til gapet mellom stang og prøve, vil det forekomme partielle utladninger. Når det forekommer utladninger vil spenningen over prøveobjektet synke litt (ΔU). For å få opp spenningen igjen vil det gå en strøm fra målekapasitansen. Denne strømmen vil gå til spenningen over målekapasitansen og prøveobjektet er den samme. RLC-enheten måler strømmen og sender et signal til ICM-systemet [9][10]. Strømmen som måles integreres slik at man får verdien på ladningen (Columb) [11].

3.3. ICM-system

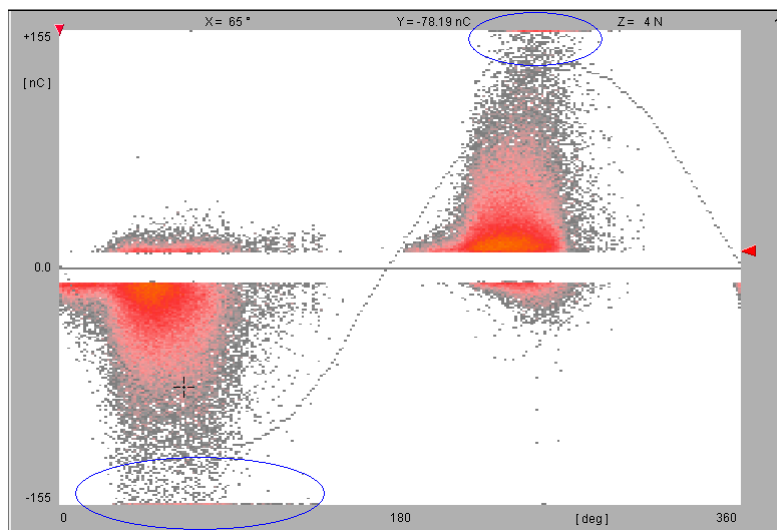
ICM systemet er et datastyrt system laget av Power Diagnostix i Tyskland for å måle partielle utladninger. Utladningene blir plottet inn i et tredimensjonalt plott vist i Figur 7. Utladningene blir sortert med hensyn på fasevinkel (x-aksen) og amplitudeverdi (y-aksen). Den tredje dimensjonen blir vist med farger og viser hvor ofte det forekommer utladninger på det samme stedet. Diagrammet viser også sinusbølgen på spenningen [12]. I vedlegg A forklares noen parametere i ICM systemet. ICM-systemet er innstilt slik at det lages 6 datafiler pr time. Datafilene inneholder alle data fra ICM-systemet. Data fra disse filene blir brukt for å regne ut hvor mye energi et prøveobjekt blir utsatt for i løpet av levetiden, dette er forklart nærmere under Behandling av resultater.



Figur 7 - Bilde av ICM datagassystemet

Under prosjektet er det brukt forforsterker, hovedforsterker og analog til digital omformer (ADC) og en datamaskin. Det er også blitt brukt en demper på 20 dB sånn at utstyret ikke skal gå i metning. Når utstyret går i metning så vil det ikke registrere hvor stor den partielle utladningen er. Men bare legge utladningen på maks verdi i plottet. Dette er vist i Figur 8, der det har gått i metning er ringet rundt. I Figur 7 ser man et område over og under null linjen som det ikke er noen utladninger i. Grunnen til at det ikke er utladninger i området er på grunn av LLD (se vedlegg A for forklaring). Det er viktig at

dødtiden er innstilt riktig forklaring på hva dødtid er i vedlegg A, riktig innstilling av dødtid er vist i vedlegg B. Det er for å unngå at ringing blir registret som utladning. Ringing er etter dønninger av en utladningen og da ikke en ny utladning. Dermed vil man få et feil bilde av hvor mange utladninger og verdien på disse utladningene som har forekommet under testing [12].



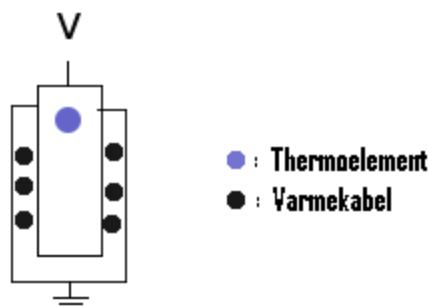
Figur 8 - Metning

3.4. Temperatur og Trykk Logging

Temperatur og trykk blir målt med en logger. Denne loggeren måler temperatur og trykk hvert minutt og lagrer disse verdiene ved hjelp av et dataprogram. Programmet heter Agilent BenchLinn Data Logger. Målingene kan deretter eksporteres ut som en txt-fil, for deretter å bli behandlet i Excel. Grafene i vedlegg C viser hvordan trykk og temperatur har forandret seg over levetiden til prøveobjektene.

3.5. Testkammer

Grunnen til at man har testkammeret er for å kunne heve trykket. Som vist i Pachens kurven så må man da heve spenningen for å få utladninger. Høyere spenning fører til at utladningene vil bli større. Og som vist i Figur 4 vil høyere elektrisk felt og større utladning føre til kortere tid til gjennomslag for prøveobjektene.



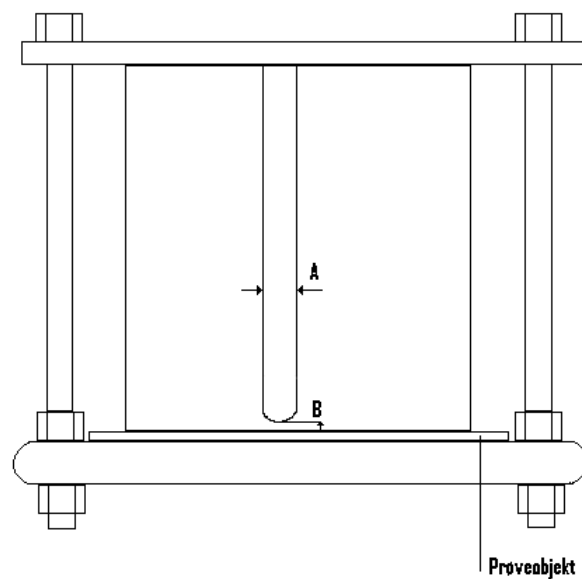
Figur 9 - Testkammer

Testkammeret består av to sylindere med lokk. Den ytre sylinderen har varmekabler i seg som gjør det mulig å heve temperaturen i den indre sylinderen. En PID-kontroller styrer temperaturen inne i testkammeret. Den indre sylinderen er den som kan motstå trykk (100 bar) og den har en høyspenningsforsyning via en kabel fra toppen. Kabelen går via en pakkbox for å kunne holde på trykket i kammeret under prøving. Kabelen blir holdt på plass av pakkboxen. Lokket på sylinderen holdes på plass av 12 bolter og har pakninger slik at det holder på trykket inne i testkammeret.

3.6. Temperatur

Som nevnt tidligere blir temperaturen styrt av en PID-kontroller. Kontrolleren fungerer som en avansert termostat. Det vil si at den sammenligner ønsket temperatur med reell temperatur, for deretter og bestemme om den skal slå på eller av varmekablene. Det som gjør kontrolleren bedre enn en termostat er at kontrolleren kan lære seg hvor lang tid systemet bruker på å kjøle seg ned. Slik at den vet når den skal sette på varmen og hvor lenge for å hindre at temperaturen faller. Dette gjør at kontrolleren vil holde temperaturen i testkammeret mer stabilt enn med en termostat. Temperaturen under testing av prøveobjekt blir logget.

3.7. Eksperimentelt oppsett



Figur 10 – Prøveoppsett

Tabell 5 - Avstander prøveoppsett

Bokstav	Beskrivelse	Avstand [mm]
A	Diameter electrode	6
B	Avstand prøve- elektrode	1

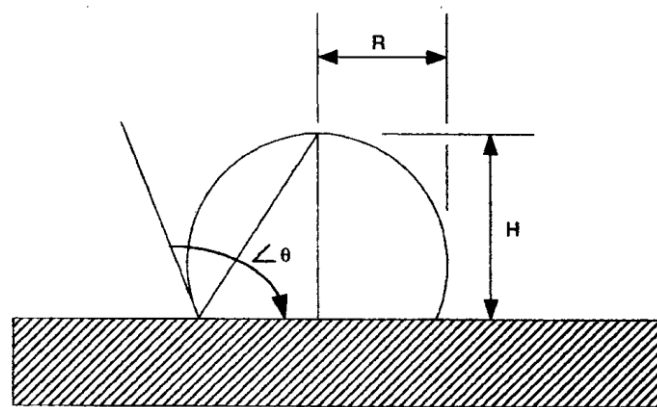
Oppsettet er vist i Figur 10. Oppsettet eliminerer sjansen for at avstanden fra elektroden til prøve forandrer seg hvor når man bytter prøve. Oppsettet består av en jordingselektrode laget av messing, et rundt lokk der elektroden er festet og et avstandstykket i form av en sylinder. Avstandstykket er laget slik at avstanden fra elektroden til prøven alltid blir 1mm.

3.8. Bytting av prøveobjekt

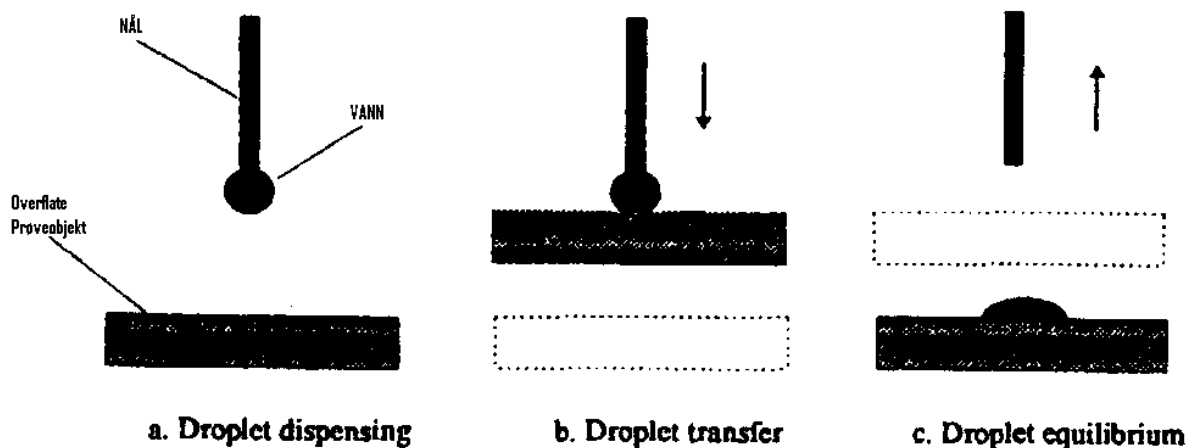
Når prøveobjektene blir byttet er det viktig at alle forhold blir så like som mulig. Når man skruer prøveoppsettet fra hverandre holder det og løsne de 3 øverste mutrene. Før man setter inn nytt prøveobjekt blir jordingselektroden rengjort med isopropanol. Elektroden blir først polert ved hjelp av en polerings skive og deretter rengjort med isopropanol. Når man skruer sammen prøveoppsettet igjen, blir muttrene skrudd til for hånd. Deretter brukes det en fastnøkkel for å vri en kvart omdreining slik at man er sikker på at muttrene er skrudd fast.

3.9. Hydrofobi-test [13]

Testprosedyre



Figur 11- Dråpe på materiale [13]



Figur 12 - Dråpepåføring [13]

Det man trenger for testen er deionisert vann, sprøyte og et mikroskop. Tar en vann dråpe (størrelse 5-8 μ l) som henger fra en sprøyte. Dråpen blir ført ned på prøven, slik at dråpen legger seg på overflaten, dette er vist i Figur 12. Det er viktig å ikke spruter vann, men at dråpen blir ført ned på overflaten. Hvis vann blir sprutet ned på overflaten, så vil vinkelen man måler ikke representere overflatejevnhet. Deretter tar man bilde av vandrdråpen. I Figur 11 vises hvordan man måler høyden og diameteren til dråpen, for deretter å beregne vinkel θ med formel (3.1). Målingene blir gjort digitalt med mikroskopet.

$$\theta = 2 * \tan^{-1}(H / R) \quad (3.1)$$

Listen under viser hvor jevn en overflate er ved målt vinkel θ .

Tabell 6 - Behandlings grad

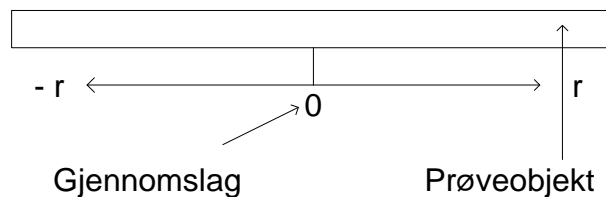
Behandlingsgrad	θ
Marginal eller ingen behandling	>90°
Lav behandling	85 til 90°
Medium behandling	78 til 84°
Høy behandling	71 til 77°
Veldig høy behandling	<71°

Før PD

Under gjennomføring av testen så har det blitt brukt 10 dråper pr prøve. Det vil si at det har blitt regnet ut 10 vinkler pr prøve, deretter har det blitt regnet ut et gjennomsnitt fra hver prøve og standardavvik, resultatene er vist i Tabell 7 og Tabell 8.

Etter PD

Figurene i vedlegg D er tatt etter at prøvene har hatt blitt utsatt for PD. Der prøveobjektet har fått gjennomslag regnes som 0. Dråper ble plassert fra 0 og til kanten av prøveobjektet. Dråper ble plassert på hver side av 0 og vinkel regnet ut.



Figur 13 - Plassering av dråper på prøveobjekt

3.10. Behandling av resultater

Et Matlab program har blitt laget for å regne ut hvor mye energi et prøveobjekt har blitt utsatt for i løpet av levetiden for prøveobjektet.

Fra ICM-datafilen får man data på antall utladninger og plassering av disse. Gunnar Berg har laget et program som gir antall utladninger i en matrise i en txt fil. Verdiene er 16-bits, det vil si største tall kan være $2^{16} - 1 = 65535$. Datamatriksen er skrevet slik:

```
1,1 1,2 1,3 .... 1,256
2,1 2,2 2,3 .... 2,256
.
.
256,1 256,2 .... 256,256
```

(1,1) er øvre venstre hjørne i dataplottet, dvs. (256,1) er origo.

Utrekning av energi. Tar for eksempel spenningen i punkt (1,1) og ganger den med utladningsverdien i dette punktet. Energien som har blitt regnet ut i dette punktet er nå for 1 utladning. Tar deretter og ganger energien i punktet med antall utladninger i punktet. Dette blir gjort for alle punktene i matrisen. For deretter og summerer all energien i de forskjellige punktene. Denne operasjonen blir gjort for alle ICM filene som har blitt laget under testing av prøveobjektet. Til slutt legger man sammen energien fra hver av datafilene. Dette gir total energi et prøveobjekt har blitt utsatt for.

4. Resultater

Resultatene fra testing av prøveobjekter er vist i denne delen. Resultatene er vist både i tabell og grafer. Resultatene som er presentert i samme vedlegg har samme skala på y-aksen for at det skal være lettere å sammenligne resultatene.

4.1. Logger

Temperatur og trykk utviklingen over levetiden til prøveobjektene er vist i vedlegg C.

4.2. Hydrofobi-test

Målingene vist i Tabell 7 og Tabell 8 er gjort før prøveobjektet har blitt utsatt for PD. Grunnen til at PEX 1 og PFA 11 ikke er tatt med i tabellen er at utstyret som krevdes for prøven ikke var tilgjengelig. Og det ble besluttet og sette i gang forsøk før utstyret var tilgjengelig. PEX 1 regnes å ha samme vinkel som gjennomsnittet altså 91,39. PFA 11 regnes å ha samme vinkel som gjennomsnittet altså 110,3.

Tabell 7 - Pex hydrofobi test før testing

Prøve	Gjennomsnitt θ	Standard avvik
PEX 2	92,28	5,38
PEX 3	92,57	4,72
PEX 4	87,47	4,67
PEX 5	90,98	3,84
PEX 6	89,84	22,38
PEX 7	85,14	3,16
PEX 8	92,43	6,29
PEX 9	94,68	5,82
PEX 10	97,09	5,5
Totalt Gjennomsnitt	91,39	6,86

Tabell 8 - PFA hydrofobi test før testing

Prøve	Gjennomsnitt θ	Standard avvik
PFA 1	112,20	2,92
PFA2	109,52	3,62
PFA 3	112,75	3,90
PFA 4	106,12	4,26
PFA 5	110,10	3,62
PFA 6	109,82	7,91
PFA 7	109,82	7,91
PFA 8	112,04	2,33
Totalt Gjennomsnitt	110,30	4,56

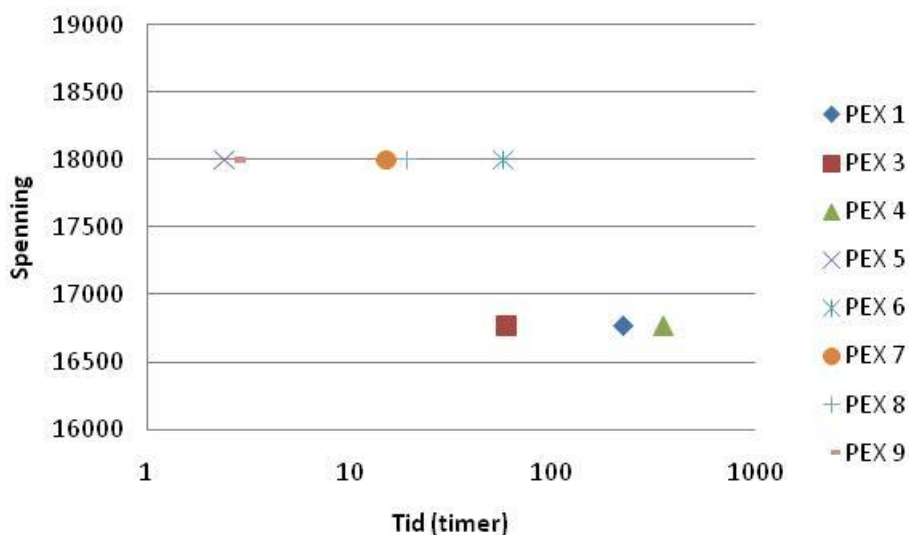
5. Data fra prøveobjekt

Tabell 9 viser resultater fra prøveobjektene.

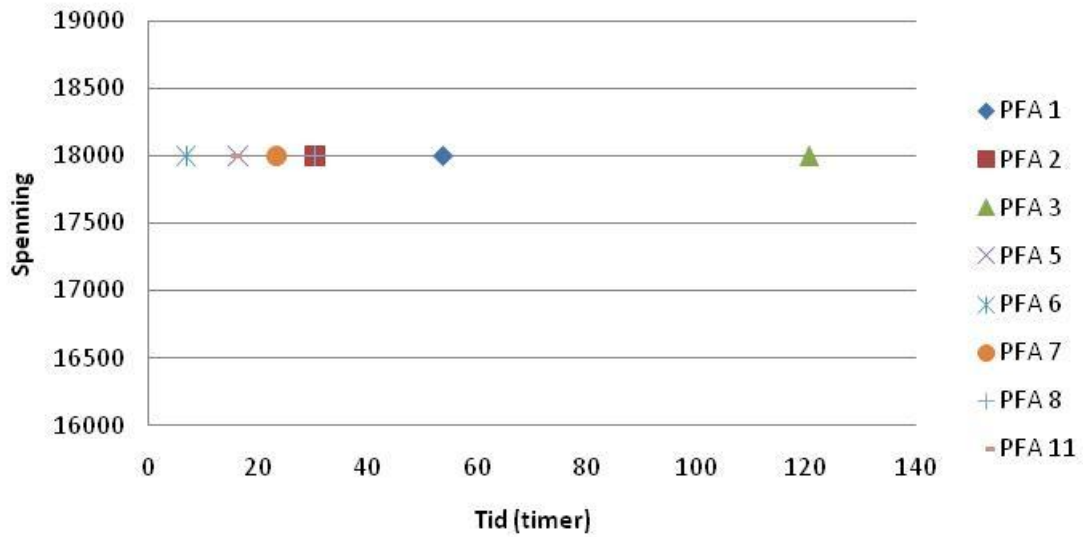
Tabell 9 - Data fra prøveobjekt

Prøve Nr	Spenning (V)	Tid (timer)	Motstand (Ω)	Energi (J)
PEX 1	16769	222,6	43	7302,60
PEX 3	16769	59,4	21,6	2502,00
PEX 4	16769	350	22,4	5158,60
PEX 5	18000	2,4	30	192,29
PEX 6	18000	56,7	4,4	4042,00
PEX 7	18000	15	2,6	1146,00
PEX 8	18000	19,14	23	1996,90
PEX 9	18000	2,74	23	131,50
PFA 1	18000	53,6	2	1186,00
PFA 2	18000	30,3	2,2	1386,50
PFA 3	18000	120,5	3,7	2578,57
PFA 5	18000	16,3	5,6	498,83
PFA 6	18000	6,8		425,22
PFA 7	18000	23,3	∞	590,42
PFA 8	18000	30,24	17,4	489,93
PFA 11	18000	15,2	15	853,25

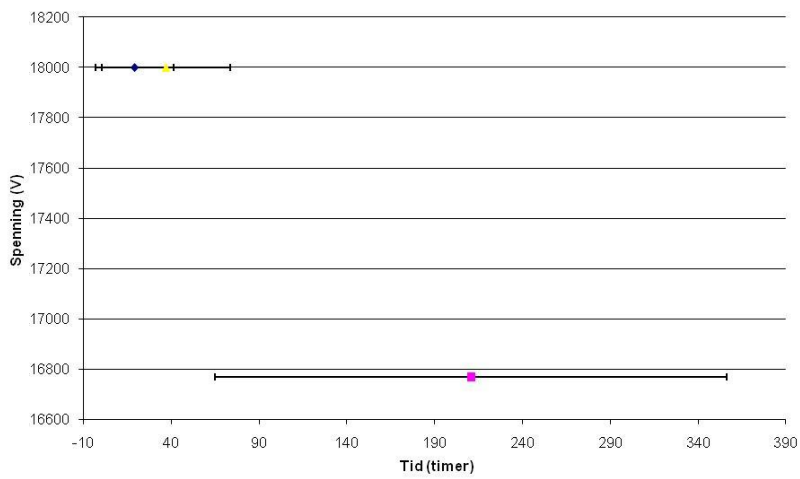
Her blir dataene fra Tabell 9 vist i grafer, som gjør det lettere og sammenligne data for PEX og PFA.



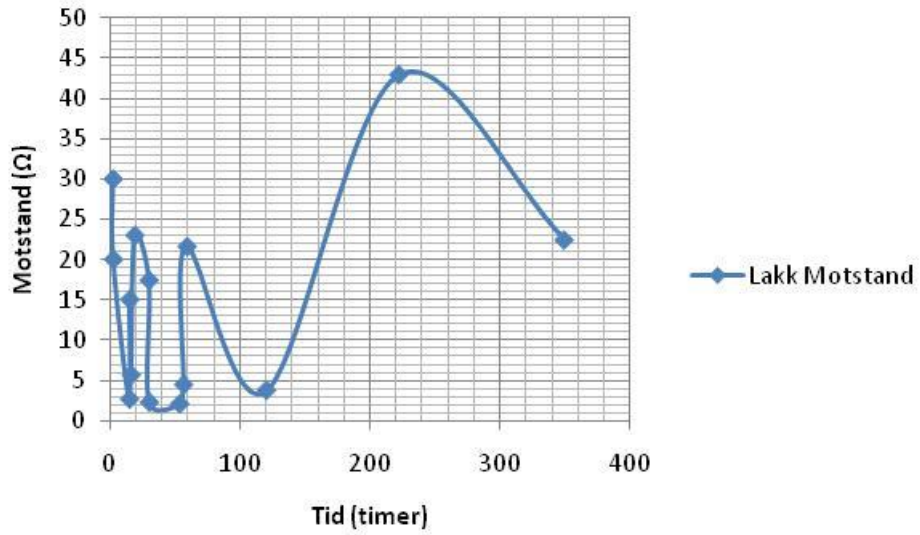
Figur 14 - Spredning PEX for tid-spenningsmålinger



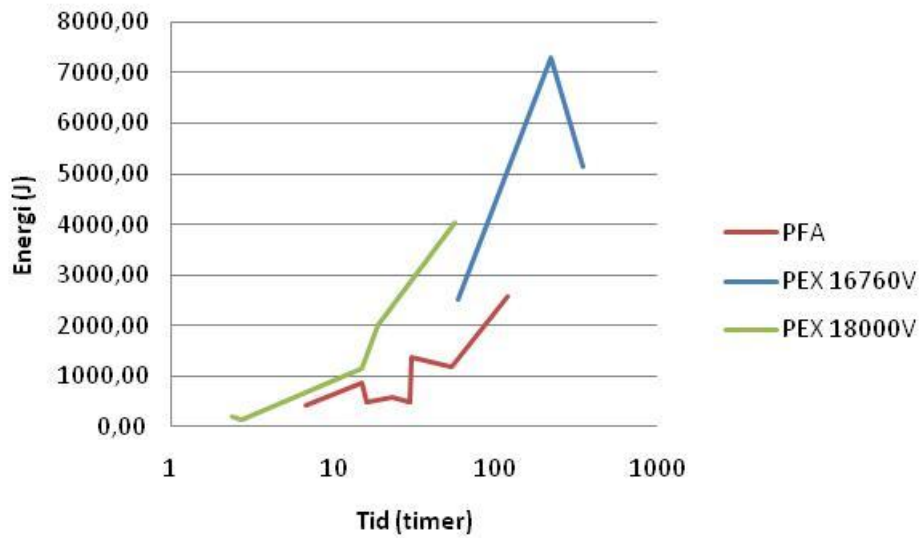
Figur 15 - Spredning PFA for tid-spenningsmålinger



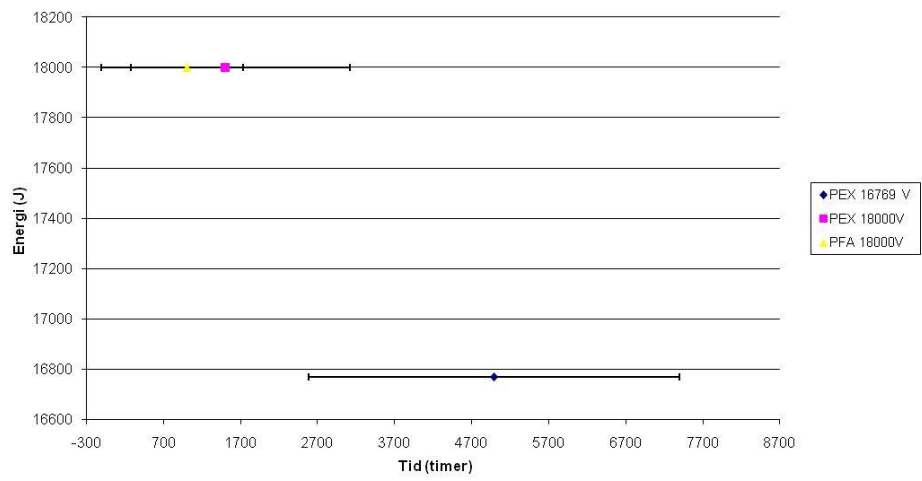
Figur 16 - Gjennomsnittlig tid til gjennomslag med standardavvik for spenningsnivå 16760 V og 18000 V



Figur 17 – Gjennomsnitt motstand med standardavvik for spenningsnivå 16760 V og 18000 V



Figur 18 - Energi som prøveobjekt har blitt utsatt for i løpet av levetid



Figur 19 - Gjennomsnittlig Energi med standardavvik for spenningsnivå 16760 V og 18000 V

6. Diskusjon

Spenning

Testspenning har vært 16,8 kV eller 18kV. Begynte med 16,8 kV for 3 prøveobjekter laget av PEX. Etter 3 PEX prøver, ble det besluttet og bytte til den andre isolasjonstypen (PFA). Når spenning ble slått på etter bytting av prøveobjekt, ble det ikke registrert noen utladninger. Derfor ble spenningen økt til det ble registrert utladninger. Dette er grunnen til de to forskjellige spenningene under testing.

Som vist i Tabell 9 og grafisk i Figur 13 og Figur 14. Det er stor variasjon i tid til gjennomslag.

For PEX vil levetiden ved 16769 Volt varierer fra 59,4 timer til 350 timer. Dette er en variasjon på 290,6 timer, altså en faktor på 5,9. Ved 18000 Volt varierer PEX fra 2,4 timer til 56,7 timer. Altså en variasjon på 54,3 timer, altså en faktor på 23,6. Alle PFA har blitt testet ved 18 kV. Her varierer levetiden fra 6,8 timer til 120,5 timer, det vil si en variasjon på 113,7 timer, det vil si en faktor på 17,7. Som for PEX varierer levetiden for mye til at det er mulig og si noe om levetiden til PFA, når man ser på spenning og levetid.

I Figur 13 vises at høyere spenning betyr mindre levetid, dette stemmer med teori fortalt tidligere. I Figur 15 viser gjennomsnitt verdi av tid til gjennomslag med standardavvik, for 18000V er det stort overlapp og det er derfor signifikant forskjell på levetiden til PEX og PFA. Dette tyder på at hypotesen om at PFA tåler mer enn PEX er feil.

Temperatur

Som nevnt i innledningen så har forsøkene blitt utført ved 25 °C eller 30 °C. Det er bare prøve PEX 1 som har hatt 25 °C under forsøkene. Grunnen til dette er vist i vedlegg C Figur C2, der man ser at temperaturen blir høyere enn 25 °C under testing. På grunn av dette ble test temperaturen økt til 30 °C. Sånn at temperaturen i rommet ikke har innflytelse på temperaturen i testkammeret. Etter økning av testtemperatur har temperaturen på vært stabil mellom 29 eller 30 °C. Dette er vist i vedlegg C. Derfor er ikke temperaturen en faktor når man ser på tid til gjennomslag før testing.

Trykk

Testtanken har blitt etter trykket med N₂ slik at trykket skal holde seg mer stabilt enn uten ettertrykking.

Utviklingen av trykket over levetiden til prøveobjektet er vist i vedlegg C. En generell tendens er at trykket begynner høyere og minker etter tiden går. Grunnen til dette kan være at prøveobjektet absorberer gassen og dette fører til at trykket minker. Trykket variere varierer med maks med 0,15 bar fra start til slutt. Og som beskrevet under Paschens kurve vil utladninger øke når trykket synker.

Maks PD og antall utladninger

Max PD og antall utladninger er vist i vedlegg E.

Som vist i vedlegget holder antall utladninger seg mellom 0 og 200 000 utladninger for alle prøveobjekt. I vedlegg E Figur E14 er det en periode som er betydelig høyere men dette er den

eneste prøve som har hatt så høye utladninger og da bare for en kort periode. En generell tendens er at antall utladninger går ned, når levetiden nærmer seg slutten. Grunnen til dette er ukjent.

Når man ser på Max PD er det stor variasjon i hvordan grafene har blitt. Grunnen til at Figur E1 i vedlegg E er så jevn er at utladningene har vært så store at de har blitt registrert som på maks PD i plottet, grunnen til dette har blitt forklart under 3.3 ICM-system. Selv om det er forskjeller på grafene for maks utladning er det en generell tendens at utladningene begynner høyt for deretter å minke over levetiden. Grunnen til denne tendensen er ukjent.

Motstand

Motstand på lakken mellom jordings elektrode og prøveobjekt har blitt målt. Resultatet er vist i Tabell 9 og Figur 16. For PFA 6 var lakken mellom prøveobjekt og jordelektrode så ødelagt at det ikke var mulig og måle motstanden. For PFA ble motstanden målt til uendelig. I Figur 16 viser at motstand til prøveobjekt og tid til gjennomslag. Det er stor variasjon i motstand og tid til gjennomslag. Liten motstand betyr ikke lang levetid (PFA 1). Stor motstand betyr heller ikke lang levetid (PFA 7). Hvis man ser på PEX 4 og PEX 9. Ser man at to prøveobjekter kan ha nesten lik motstand og ha veldig forskjellig levetid. PEX 4 motstand 22,4 Ω og levetid på 250 timer, PEX 9 motstand 30 Ω og levetid på 2,74 timer. Dette tyder på at det ikke er mulig og måle motstand på lakken for å kunne fortelle noe om tid til gjennomslag.

Energi

Energien som et prøveobjekt har blitt utsatt for i løpet av levetiden er vist i Figur 17. Her kommer det frem et mønster for begge testmaterialene. Dette mønsteret viser at lengre levetid betyr mer mottatt energi for prøveobjektet. Dette er logisk siden lengre levetid betyr at prøveobjektet blir utsatt for flere partielle utladninger, altså mer energi. Samme figur viser at PFA har blitt utsatt for mindre energi før gjennomslag. Dette forteller at PFA tåler mindre mottatt energi før det får gjennomslag. Figuren viser også at lavere spenning betyr mindre levetid, dette kommer frem hvis man sammenligner PEX 16769 V og PFA 18000 V i samme punkt.

I Figur 18 vises gjennomsnitt energi med standard avvik for PEX og PFA for 16760V og 18000V. For 18000V er det stort overlapp, dette tyder på at det ikke er noe signifikant forskjell på PEX og PFA ved 18000V når man ser på energi mottatt over levetiden til et prøveobjekt.

Figur 17 viser at det er forskjell på isolasjonsmaterialene, men Figur 18 viser at det ikke er noen signifikant forskjell på de to isolasjonsmaterialene. Det er ingen signifikant forskjell på mottatt energi mellom PFA og PEX.

Hydrofobi-test

Før testing

Resultatene fra hydrofobi test før prøveobjektene blir utsatt for PD er vist i Tabell 7 og Tabell 8. Det er forskjell på isolasjonsmaterialene. Dette er forventet siden det er to forskjellige materialer.

Etter testing

Grafene i vedlegg D er laget etter at prøvene har fått gjennomslag. Det var forventet lavere vinkel inn mot 0. Siden dette området har blitt utsatt for PD og PD ville gjøre området jevnere. Det er noen prøveobjekt som har fått forventet form, grunnen til at alle ikke har denne formen er ukjent.

Generelt så har PFA en høyere vinkel enn PEX. Dette er som forventet, side PEX hadde mindre vinkel enn PFA før testing.

Feilkilder

For PFA 4, 9 og 10 var det ingen utladninger ved 18kV. Prøveobjektet ble byttet til et som hadde utladninger ved 18kV slik at man unngikk flere testspenninger. Dette tyder på at spenningen er i initierings sonen, det vil si spenningen burde ha vært høyere for å få utladninger på for alle prøveobjekt.

7. Konklusjon

Prøvedata har blitt undersøkt, for å påvise et mønster som kan forteller om levetid. Det har blitt sett på levetid for isolasjonen som funksjon av spenning, energi og motstand på belegg mellom prøveobjekt og jordingselektrode. Det kommer ikke frem noen signifikante forskjeller mellom PEX og PFA. Det er derfor ikke mulig og si noe om hvordan PFA er som isolasjon i forhold til PEX.

7.1.Forslag til videre arbeid

Beregne mottatt energi over levetiden til prøveobjektet

I Figur 17 er det den totale energien som er brukt. Men dette forteller ikke noe om hvordan energien har utviklet seg over tid. Mottatt energi kan begynne lavt for deretter og bli høyere når prøveobjektet nærmer seg slutten av levetiden. Eller energien kan være jevn over hele levetiden til prøveobjektet. Eller energien kan også begynne høyt for deretter og bli lavere over levetiden til prøveobjektet. Hvordan energiutviklingen er over levetiden til prøveobjektene har vært vites ikke, fordi det ikke har vært tid til å plote energi over levetiden til prøveobjektene i dette prosjektet.

8. Referanser

- [1] Erling Ildstad, *Electric Power Engineering, TET 4160 High Voltage Insulation Materials.*, Fall 2008.
- [2] DuPont, *DuPont Teflon PFA 450 HP, Extrusion and Molding Resin.*
- [3] F.H. Kreuger, *Industrial High Voltage Del 1-3.*, 1991.
- [4] F.H. Kreuger, *Industrial High Voltage del 4-6.*: Delfit Iniversity Press, 1992.
- [5] Svein Thore Hagen, *Kompendium i høgspenningsanlegg.* Porsgrunn, 04.012007.
- [6] E. Husain og R. S. Nema, *ANALYSIS OF PASCHEN CURVES FOR AIR, N2 AND SF6 USING THE TOWNSEND BREAKDOWN EQUATION.*: IEEE, 1982.
- [7] F. Guastavino og P.Tiemblo, *Effect og Humidity on the time to breakdown of polymers subject to partial discharges.*: IEEE.
- [8] G. Coletti, F. Guastavino og E. Torello L. Centurioni, . Arlington, Virginia: Conference record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 1998.
- [9] Erling Ildstad, *Ikke-destruktiv tilstandskontroll Partielle utladninger.*
- [10] Lars Lundgaard, *PARTIELLE UTLADNINGER: Begreper, måleteknikk og mulige anvendelser for tilstandskontroll.*
- [11] F.H. KREUGER, *Industrial High Voltage, del 4-6.*
- [12] Power Diagnostix, *The ICM system: Digital partial discharge recordings - User manual.*
- [13] ASTM International, *Standard Test Method for Corona-treated Pplumer Films Using Water Contact Angle Measurements.*

Vedlegg A: ICM-parametere

Denne delen tar for seg noen parametere i ICM programmet og forklarer hva de brukes til. For mer informasjon se ICM bruker manual.

Set Time

Tiden programmet plottet utladninger i et plott, den tiden måles i sekunder. I prosjektet så har denne tiden vært 600 sekunder (10 minutter).

Dead time og dead time Σ

Dødtid er tiden etter en utladning går over LLD til ICM-systemet plottet en ny utladning. Grunnen til at man har denne dødtiden er at programmet ikke skal plottet en utladning flere ganger på grunn av over og under skytinger. Dette er vist i vedlegg B.

Acq time

Dette er hvor lang tid som har godt av Set time, måles i sekunder. Eks: hvis Set time=600 og Acq=100 så har det gått 100 sekunder av 600 sekunder i dette plottet og dermed er tiden som er igjen av plottet 500 sekunder.

Level counts

Teller antall utladninger som er over et vist nivå, i prosjektet så er dette nivået satt så lavt at alle utladninger blir telt.

Total counts

Teller antall utladninger uansett utladningsnivå, i prosjektet så er level counts og total counts like på grunn av den lave verdien som er satt på nivået i level counts.

Voltage

Spenningen som vises her er ikke den samme som blir påtrykt prøveobjektet, hvordan man måler spenning er forklart tidligere i rapporten.

Charge

Denne forteller hvor stor en utladning er i Columb.

Frequency

Dette er frekvensen som alt systemet opererer med. Siden testsystemet er forsynt fra nett så er frekvensen 50 Hz.

Amp pre gain og amp main gain

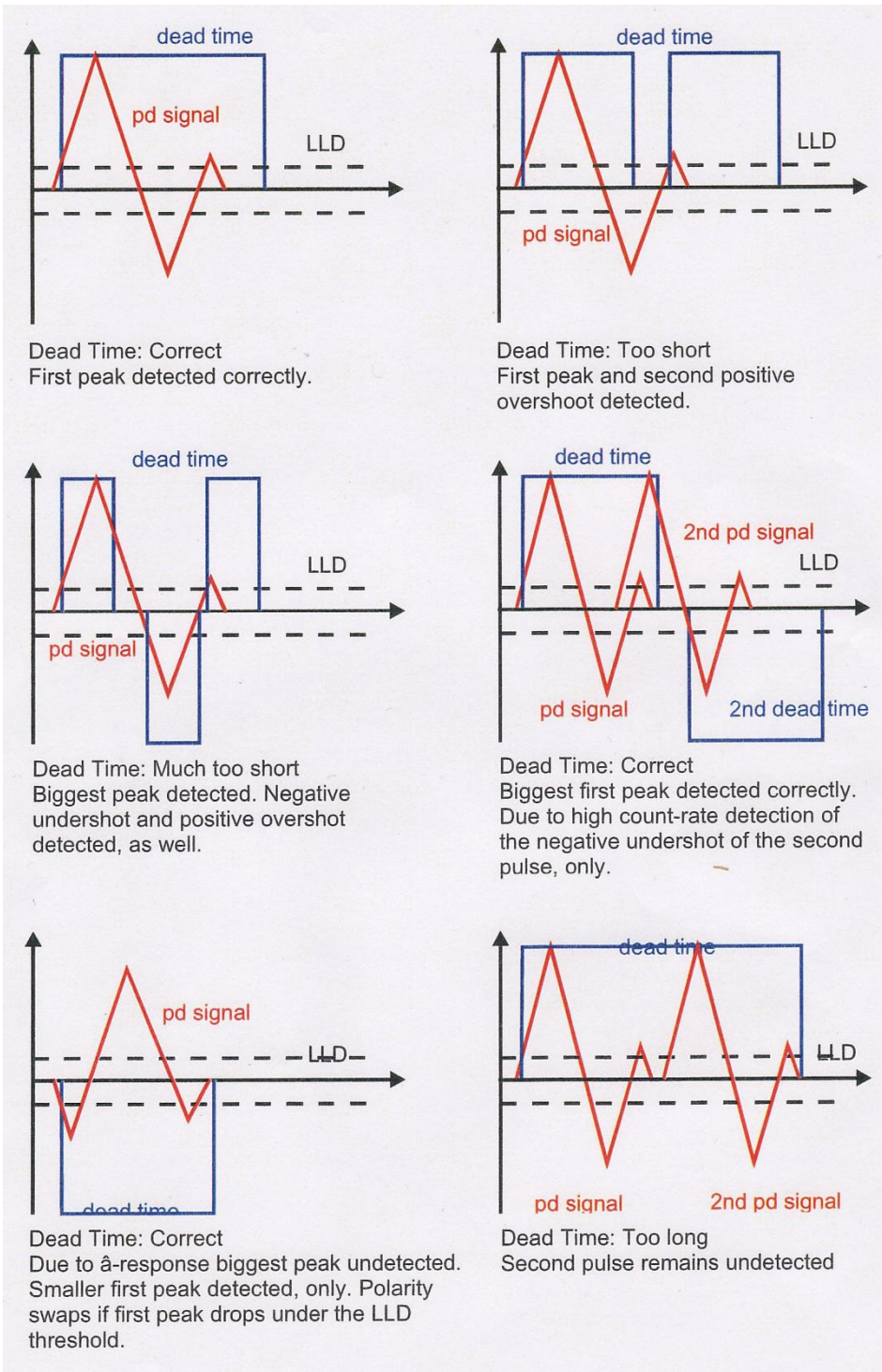
Disse parameterne forteller hvor stor forsterkning de to forsterkerne har. Før det ble satt inn et demperledd så var forsterkningen satt til 1 på begge forsterkerne. Etter innsetting av demper så står forsterkningen på forforsterker på 1 og hovedforsterkeren på 10. For deretter og bli satt ned til 1 på forforsterker og 8 på hovedforsterker for å unngå metning.

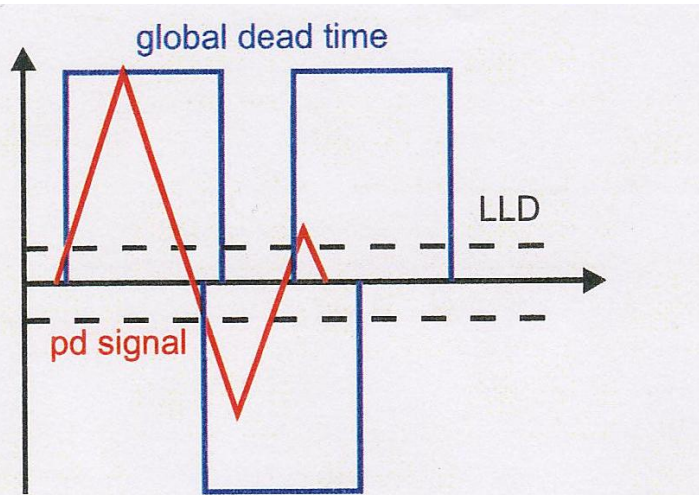
LLD (Low Level Discriminator)

LLD er nivået som en utlading må være høyere enn for at ICM-systemet skal registrere utladningen. Når denne verdien er riktig innstilt vil systemet bare registrere utladninger og ikke støy. Hvis denne verdien er for lav så vil systemet registrere støy som utladninger og man får et feil bilde av antall utladninger og verdien for disse.

Vedlegg B- dødtid [12]

Vedlegget viser hvorfor man vil ha dødtid riktig innstilt slik at man unngår ringing.





Multiple reading inhibited
 Dead time increased to global dead time

Fig. IV.7 Trigger on first peak, re-triggerable

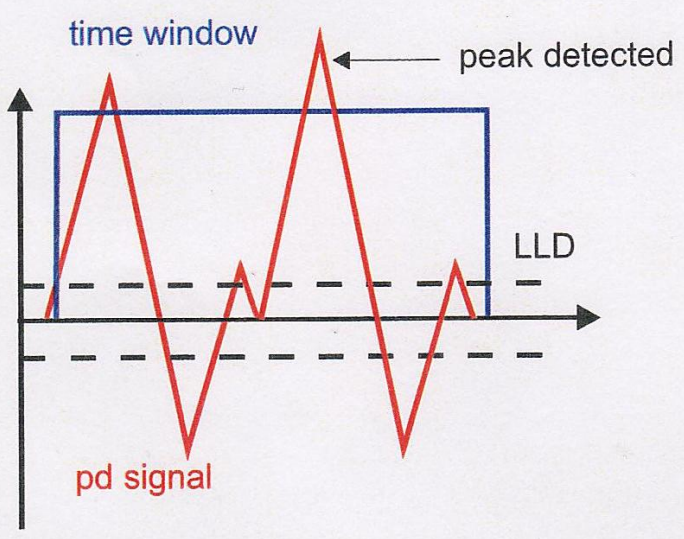
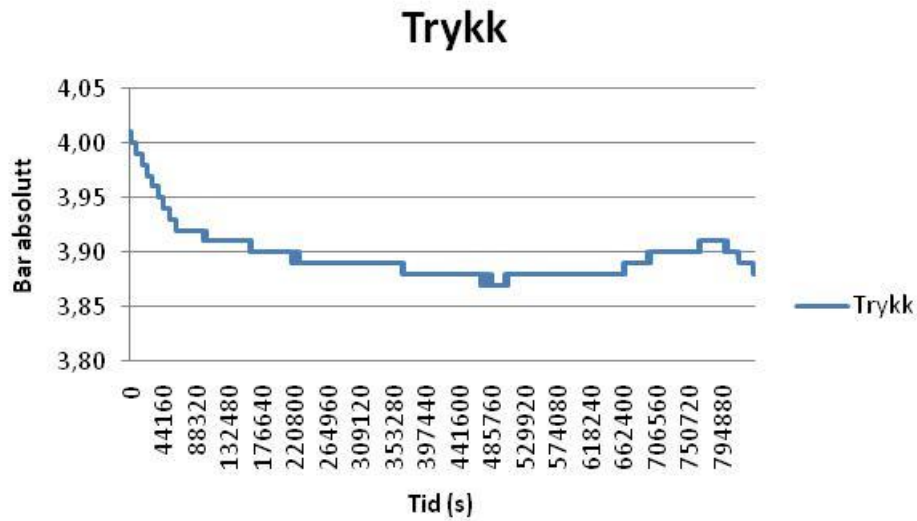


Fig. IV.8 Trigger in time window

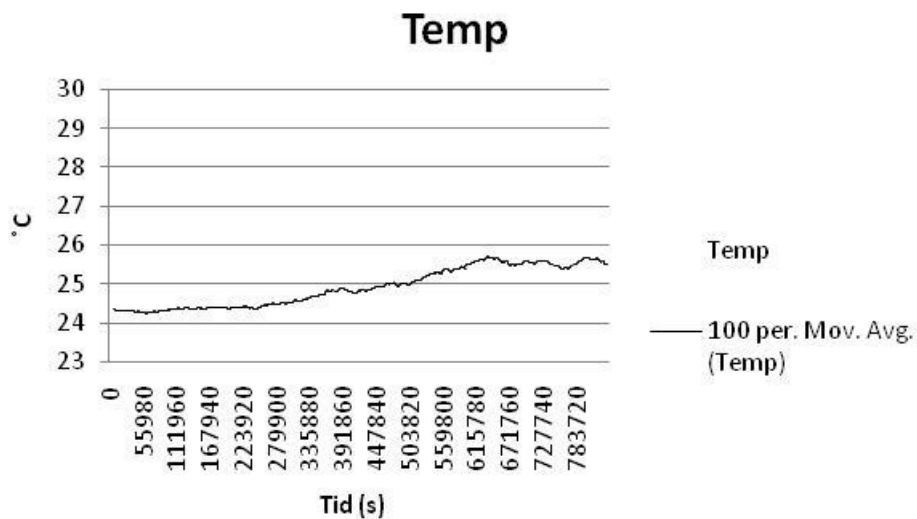
Vedlegg C: Trykk og Temperatur

Grafene viser hvordan trykk og temperatur utvikler seg over levetiden til prøveobjektet. Alle grafene har samme y-akse slik at de er lettere og sammenligne.

PEX 1

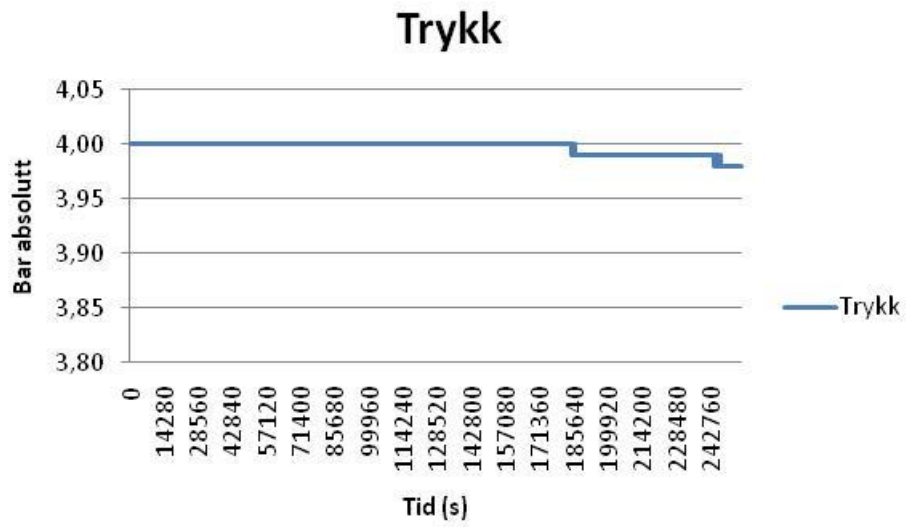


Figur C1 - Trykk PEX 1

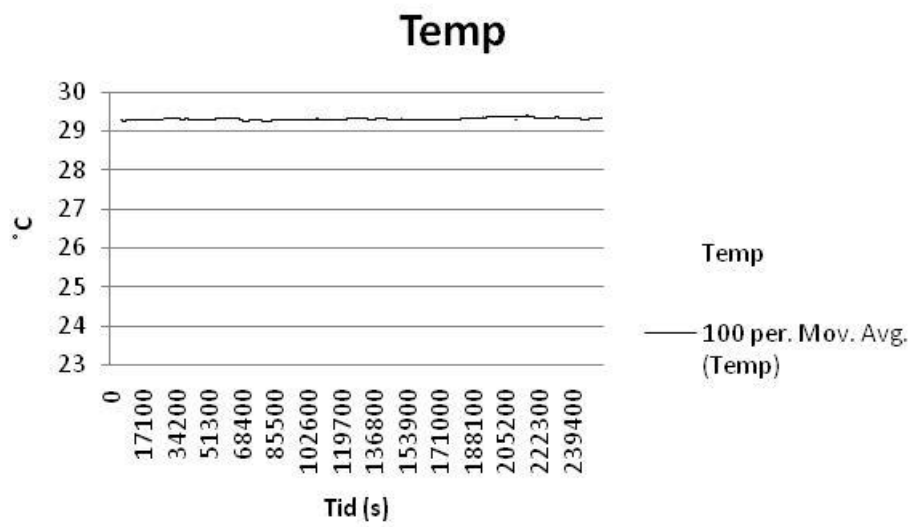


Figur C2 - Temperatur PEX 1

PEX 3

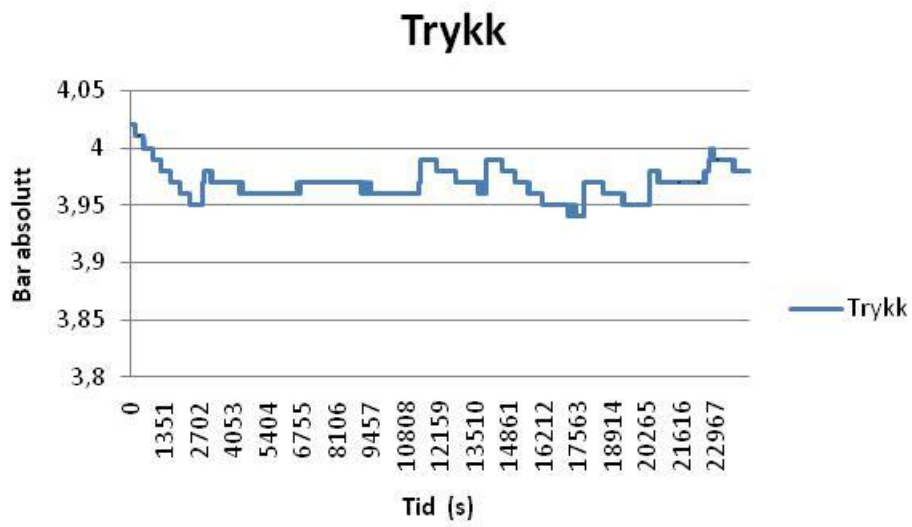


Figur C3 - Trykk PEX 3

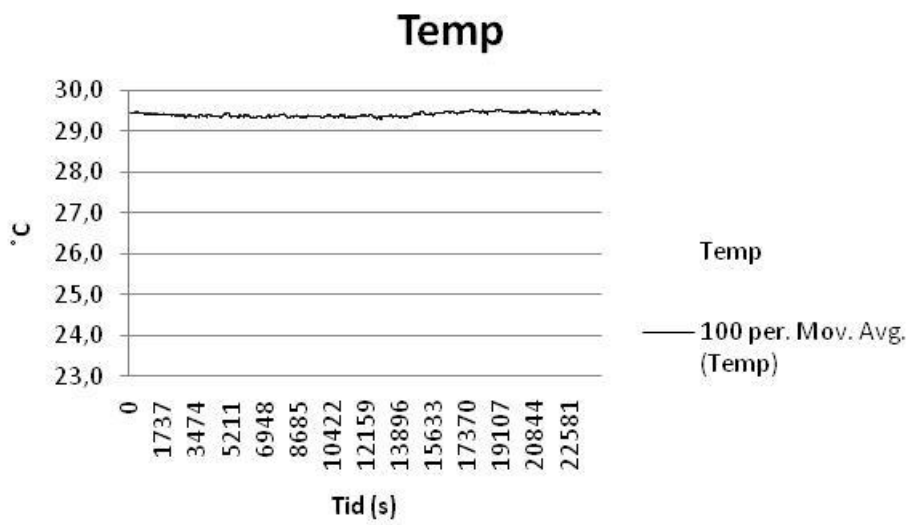


Figur C4 - Temperatur PEX 3

PEX 4

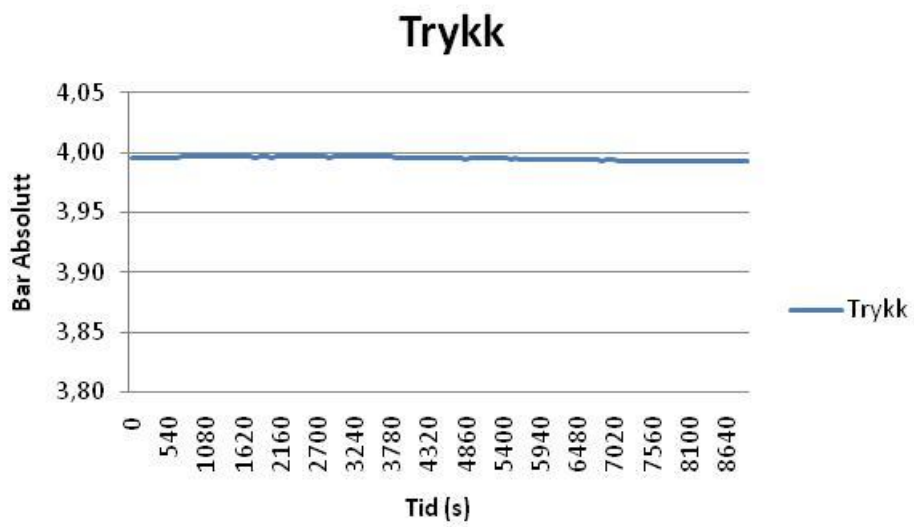


Figur C5 - Trykk PEX 4

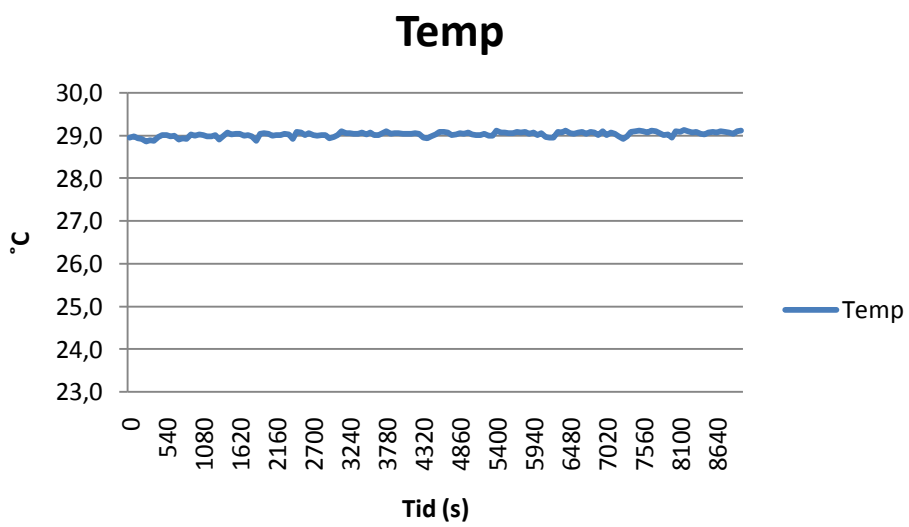


Figur C6 - Temperatur PEX 4

PEX 5

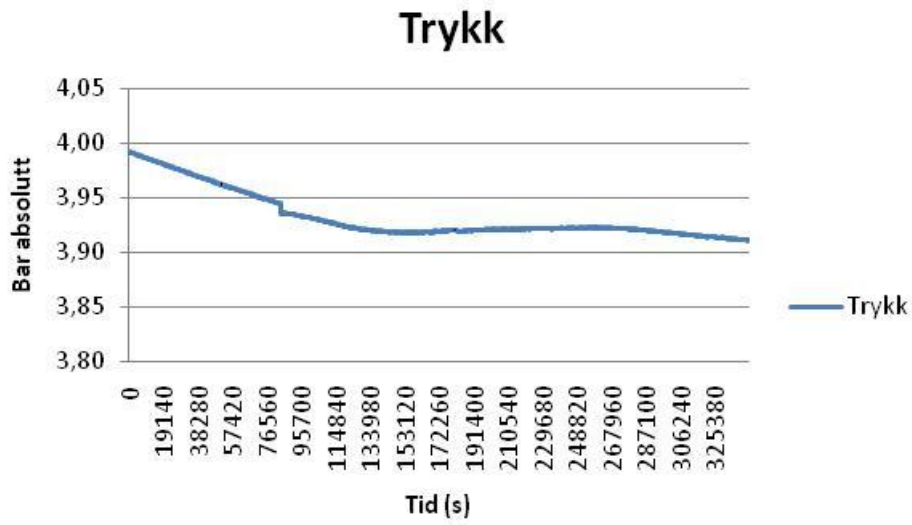


Figur C7 - Trykk PEX 5

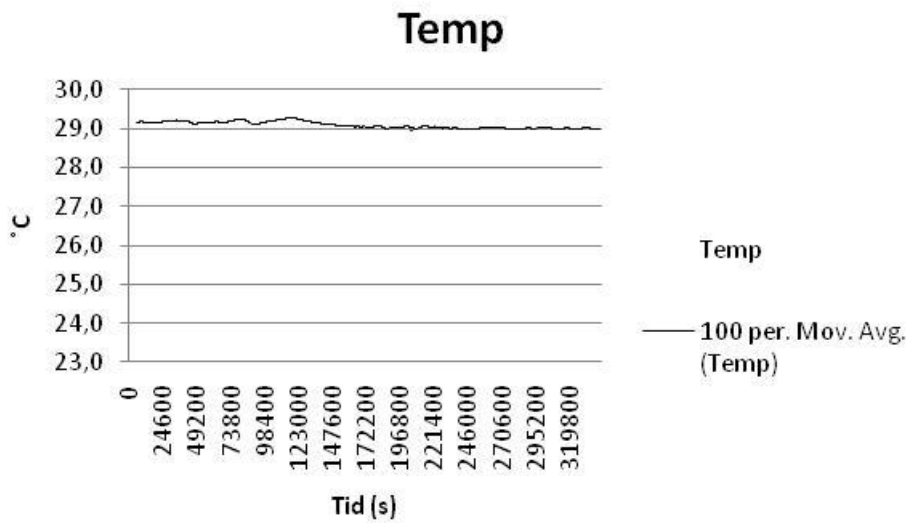


Figur C8 - Temperatur PEX 5

PEX 6

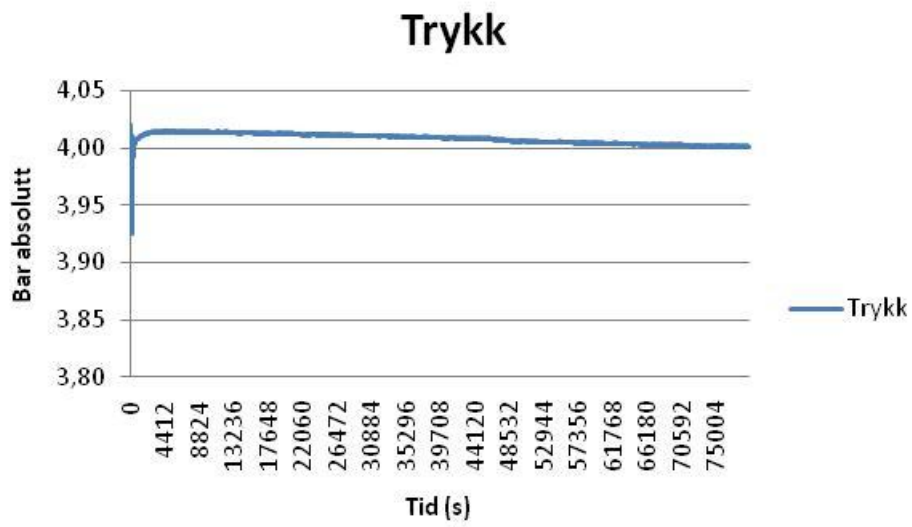


Figur C9 - Trykk PEX 6. Under testing ble spenningen slått av over natten, dette er grunnen til droppet i trykk. Grunnen til avslåing av spenning var vedlikehold av strømanlegg

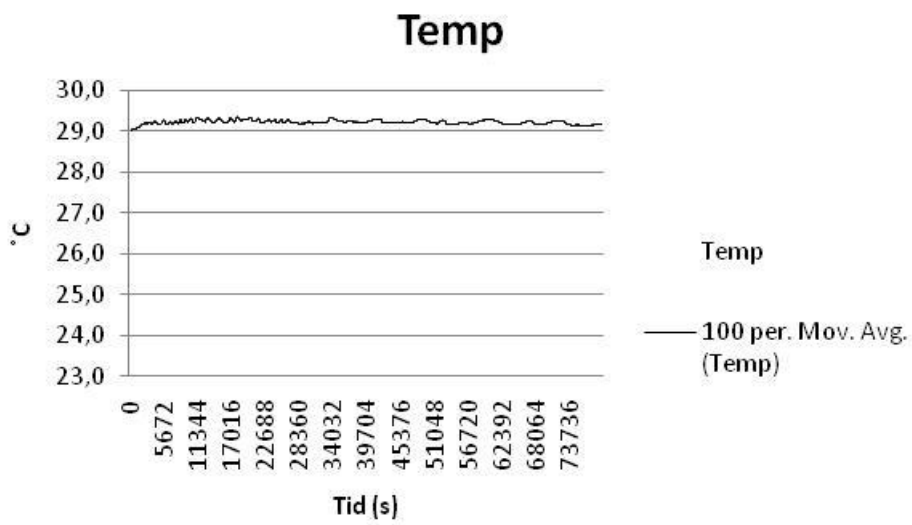


Figur C10 - Temperatur PEX 6

PEX 7

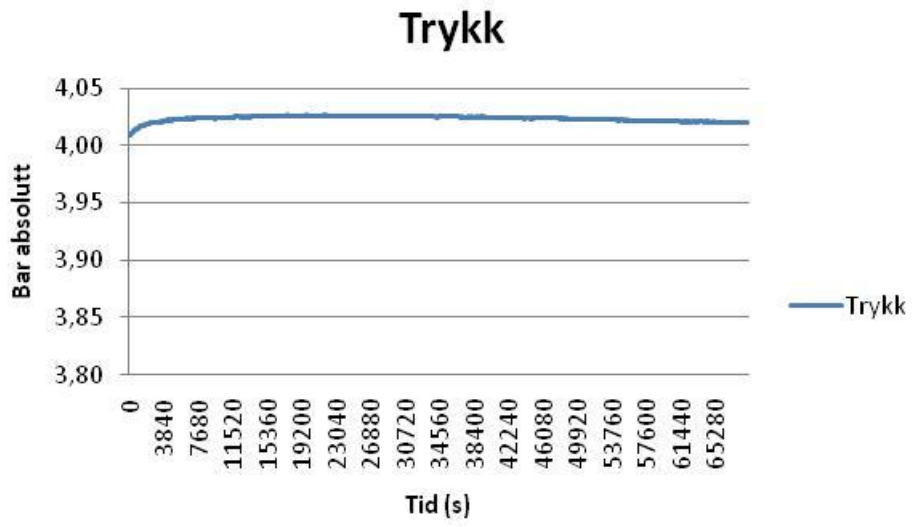


Figur C11 - Trykk PEX 7

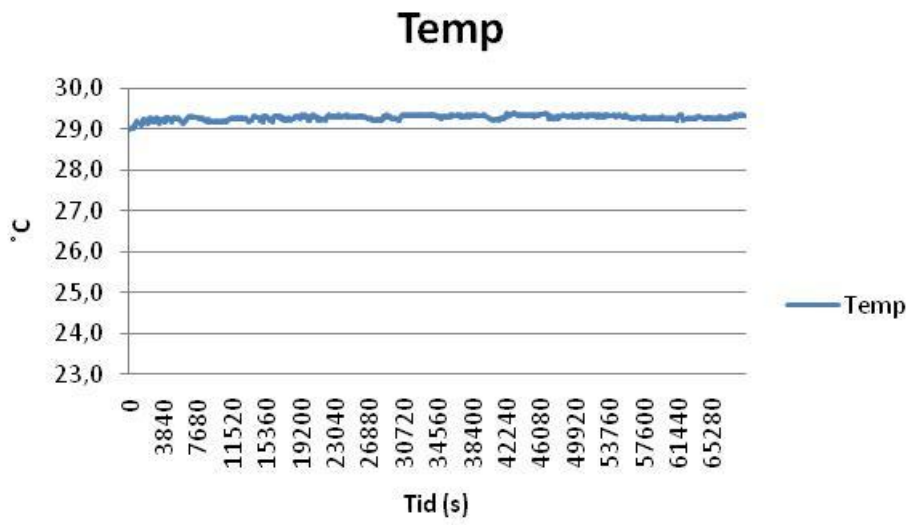


Figur C12 - Temperatur PEX 7

PEX 8

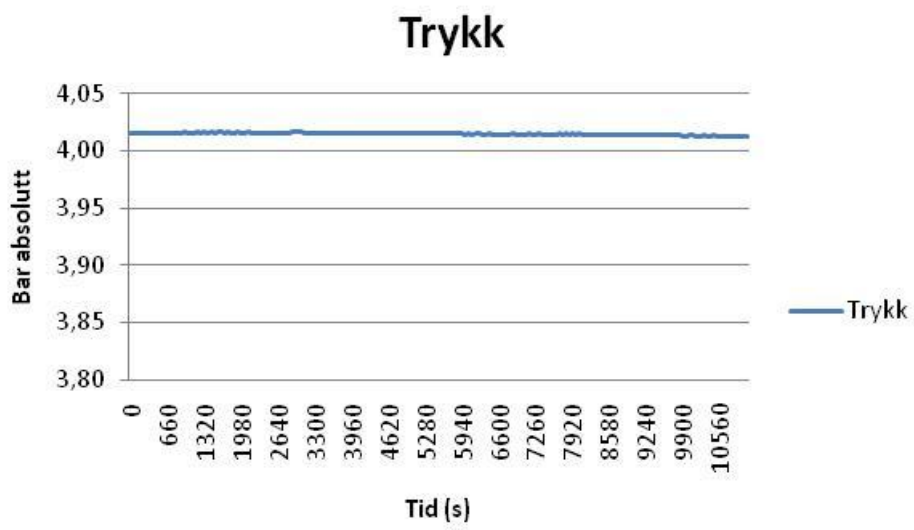


Figur C13 - Trykk PEX 8

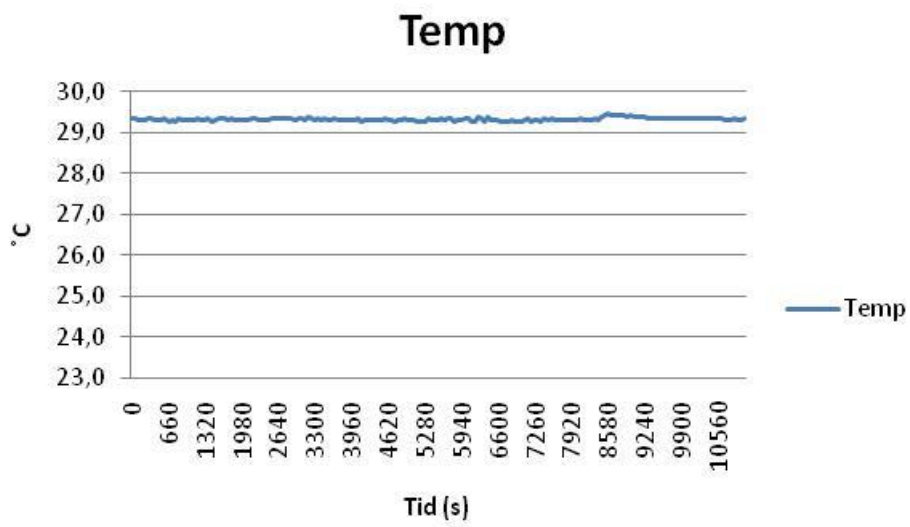


Figur C14 - Temperatur PEX 8

PEX 9

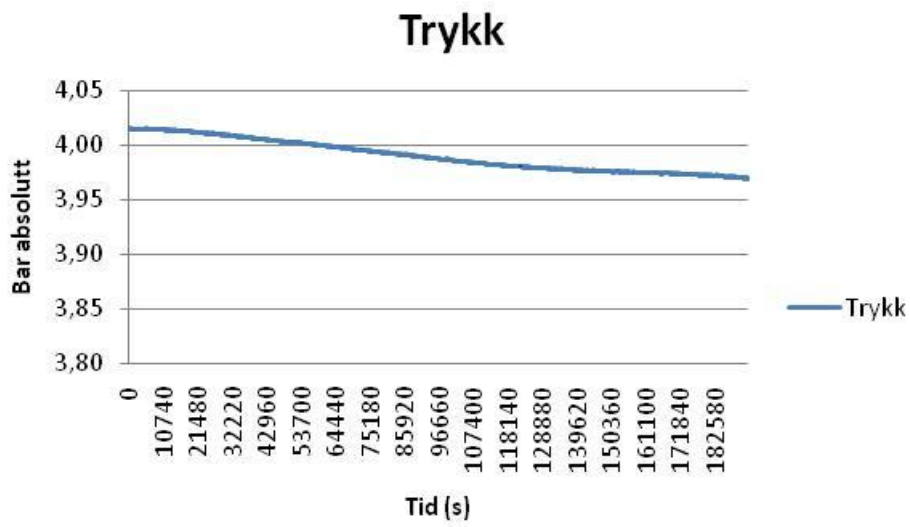


Figur C15 – Trykk PEX 9

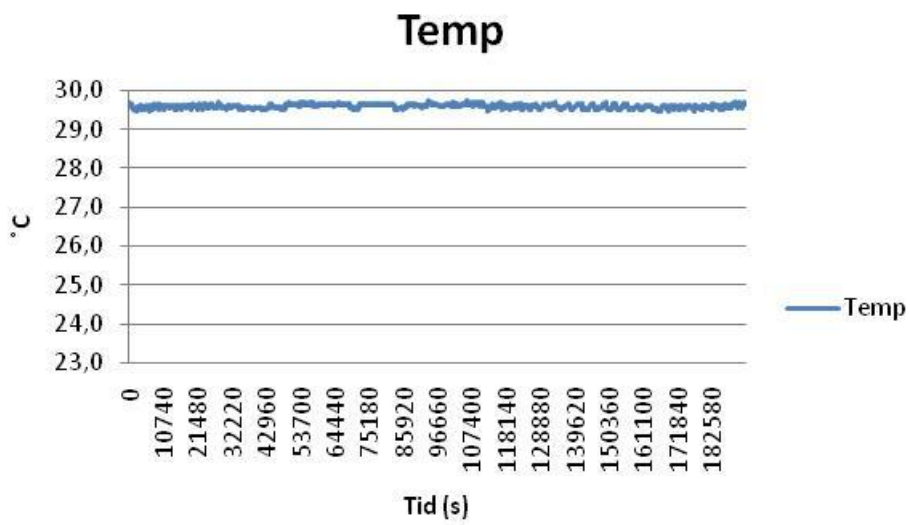


Figur C16 - Temperatur PEX 9

PFA 1

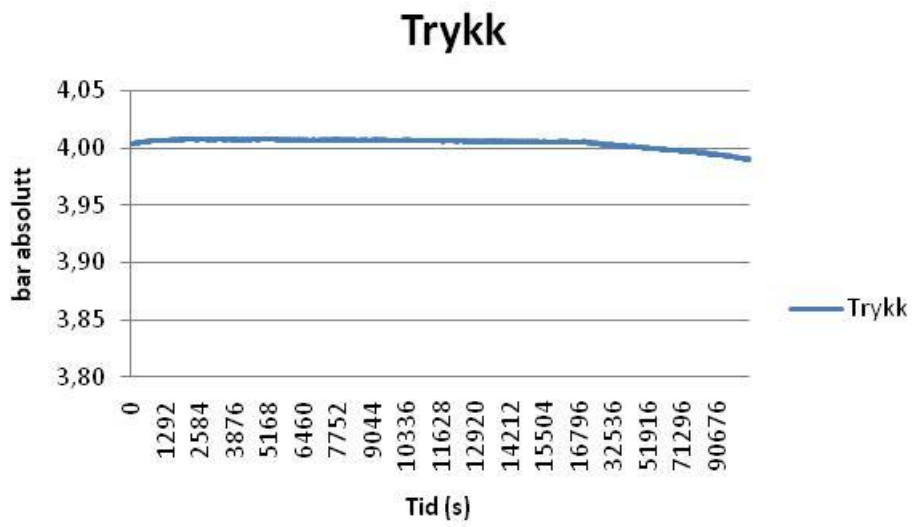


Figur C17 - Trykk PFA 1

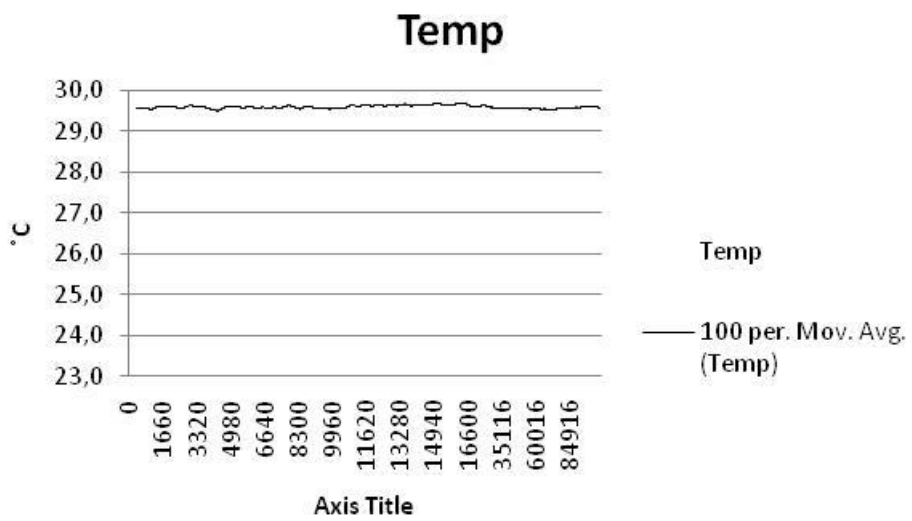


Figur C18 - Temperatur PFA 1

PFA 2

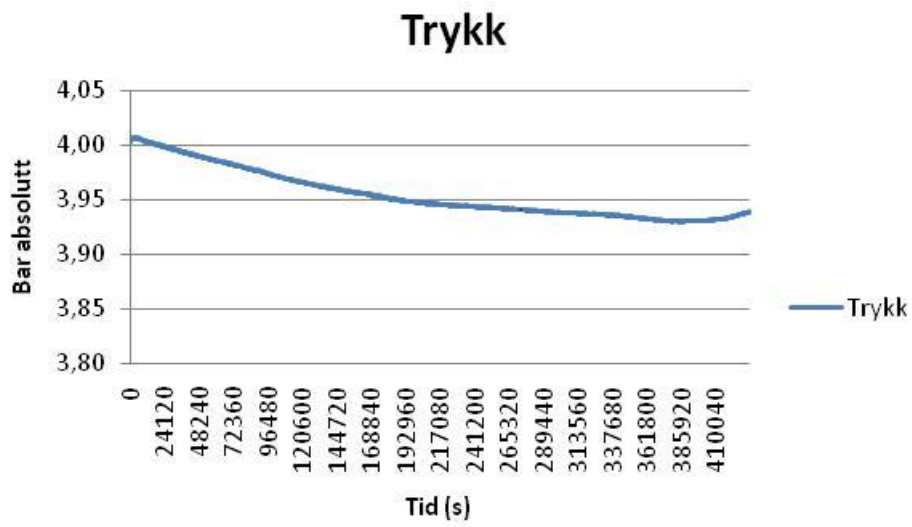


Figur C19 - Trykk PFA 2

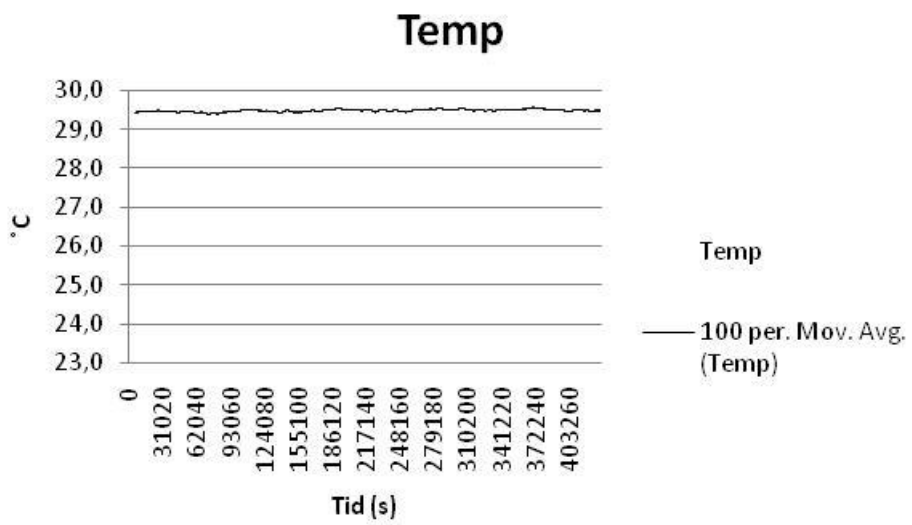


Figur C20 - Temperatur PFA 2

PFA 3

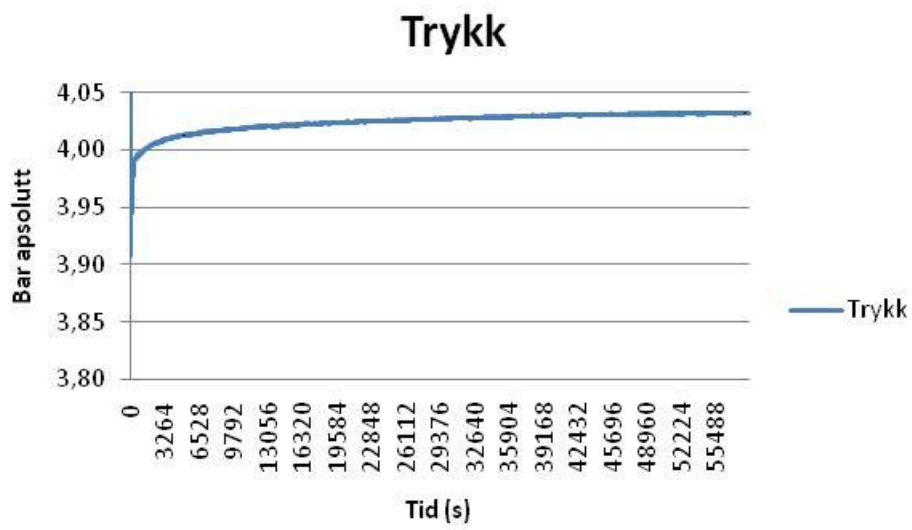


Figur C21 - Trykk PFA 3

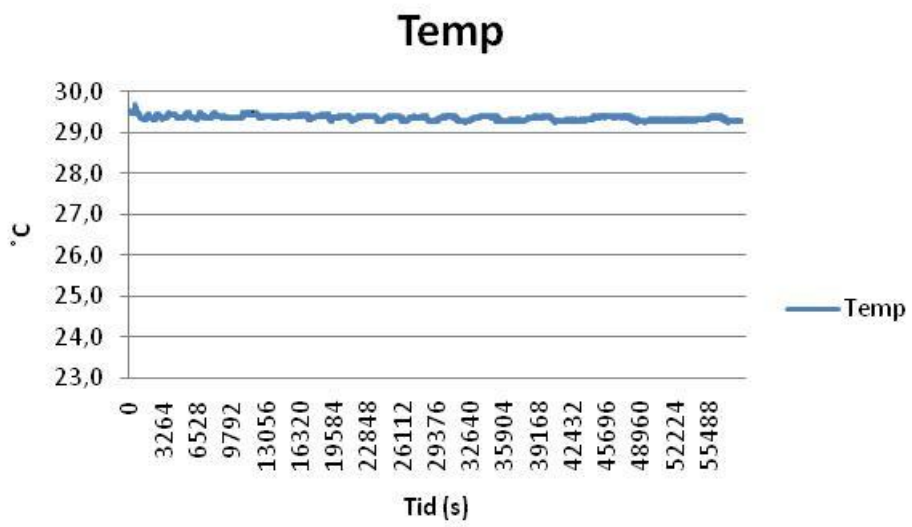


Figur C22 - Temperatur PFA 3

PFA 5

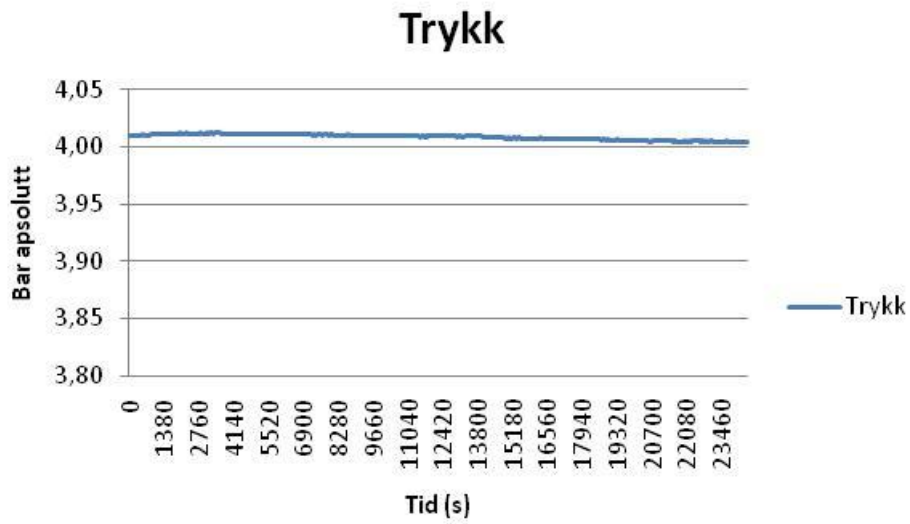


Figur C23 - Trykk PFA 5

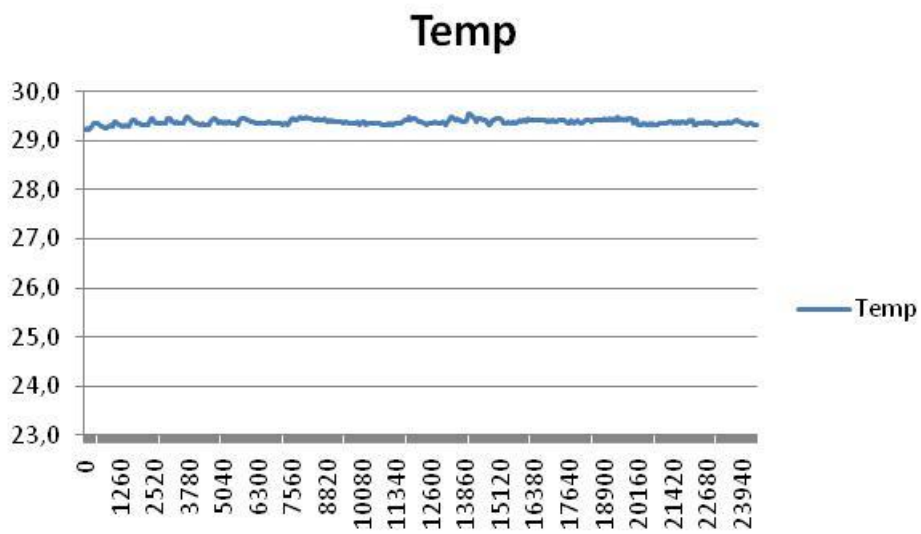


Figur C24 - Temperatur PFA 5

PFA 6

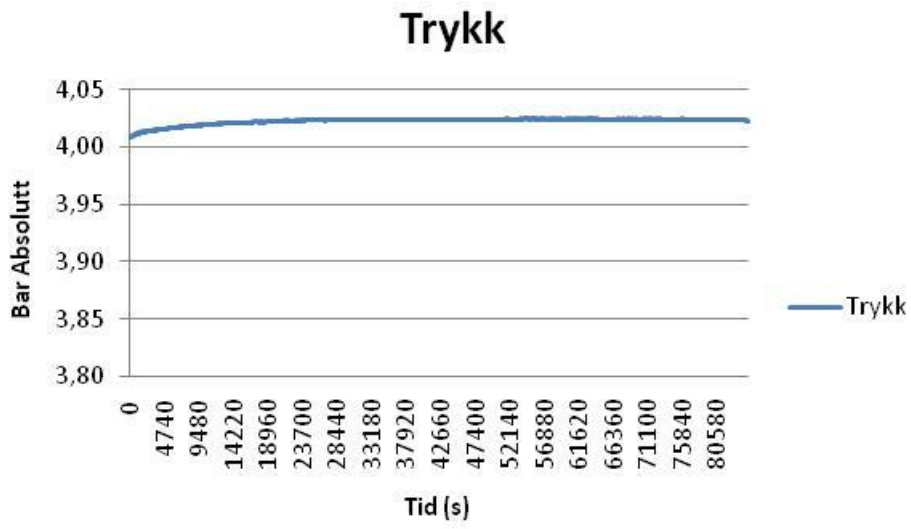


Figur C25 - Trykk PFA 6

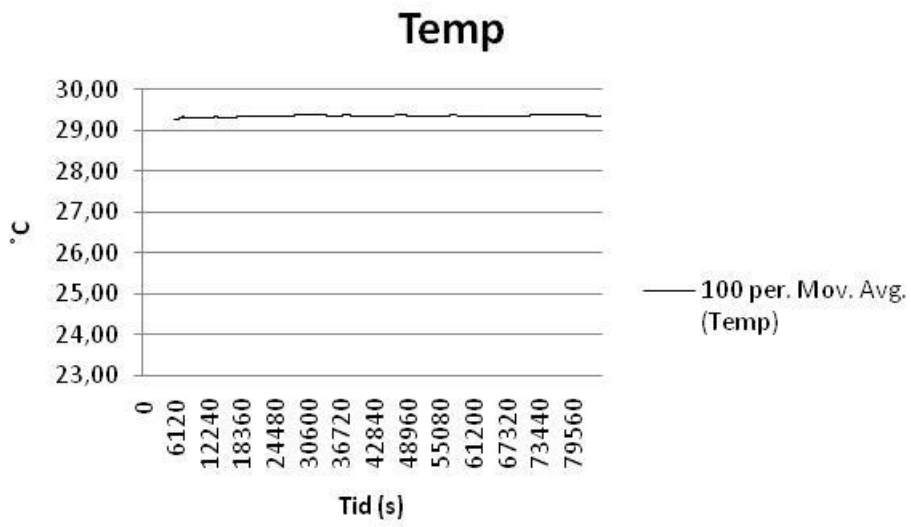


Figur C26 - Temperatur PFA 6

PFA 7

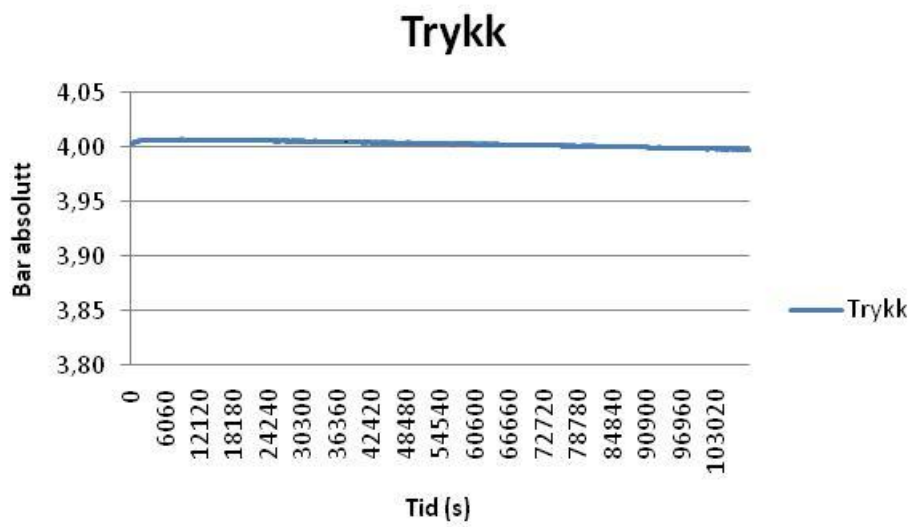


Figur C27 - Temperatur PFA 7

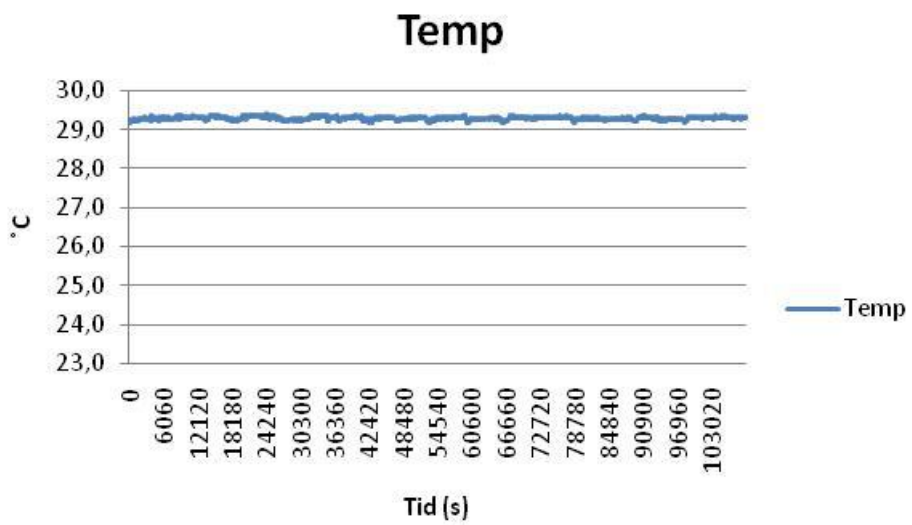


Figur C28 - Temperatur PFA 7

PFA 8

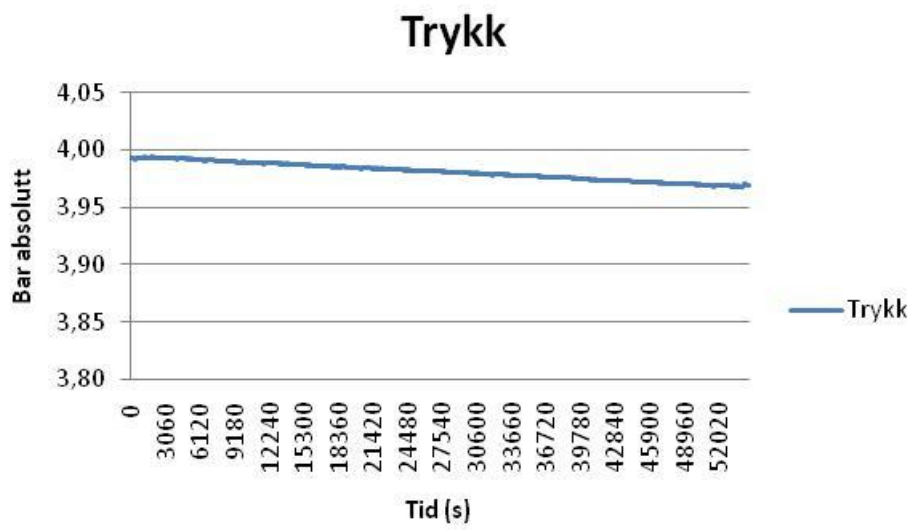


Figur C29 - Trykk PFA 8

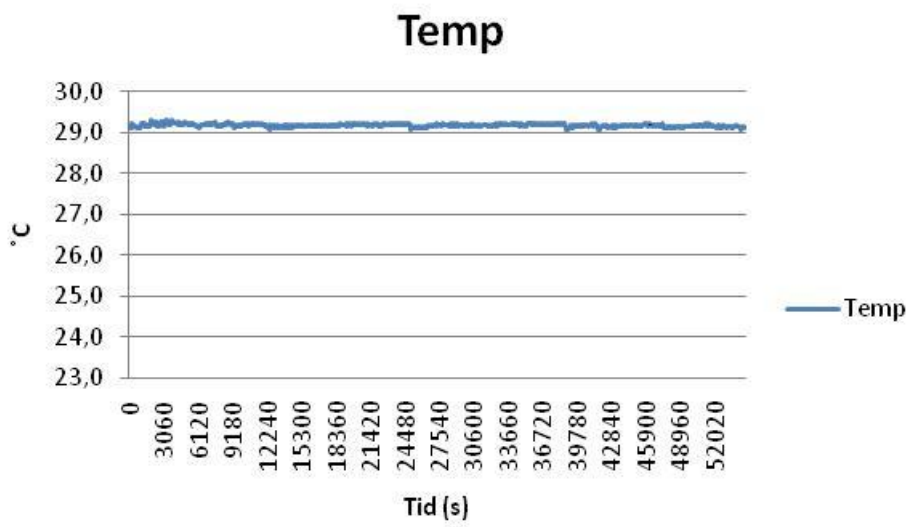


Figur C30 - Temperatur PFA 8

PFA 11



Figur C31 - Trykk PFA 11

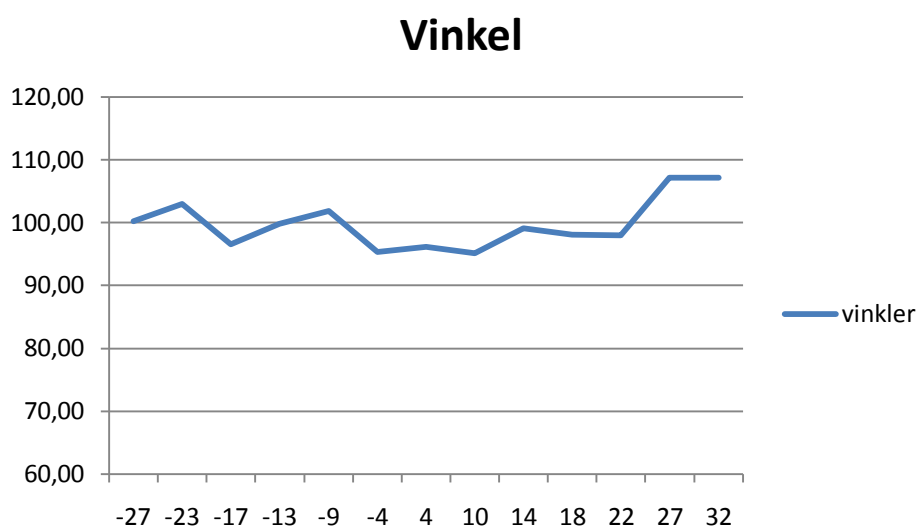


Figur C32 - Temperatur PFA 11

Vedlegg D – Hydrofobi test etter gjennomslag

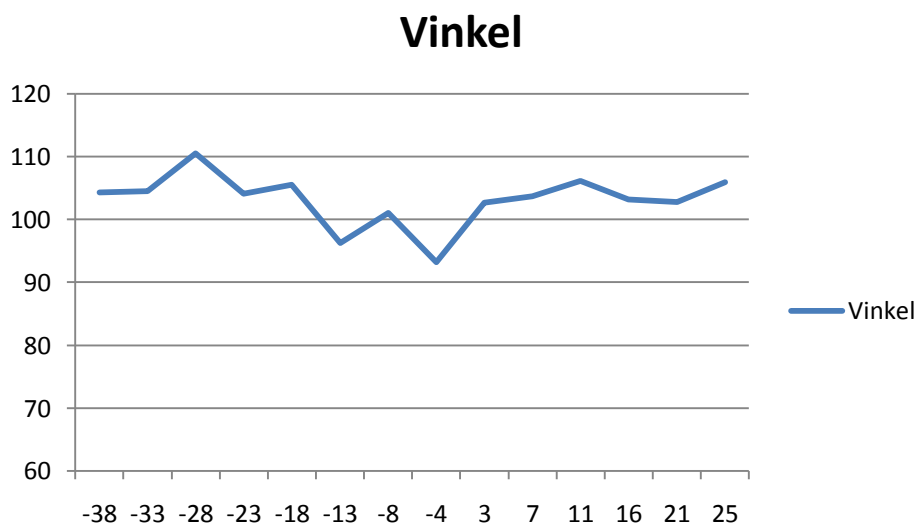
Figurene vist under er tatt etter at prøvene har hatt blitt utsatt for PD. Der prøveobjektet har fått gjennomslag regnes som 0. Dråper ble plassert fra 0 og til kanten av prøveobjektet. Dråpene ble plassert på hver side av 0. Og vinkelen som blir målt er et mål på hvor jevn overflaten er.

PEX 1



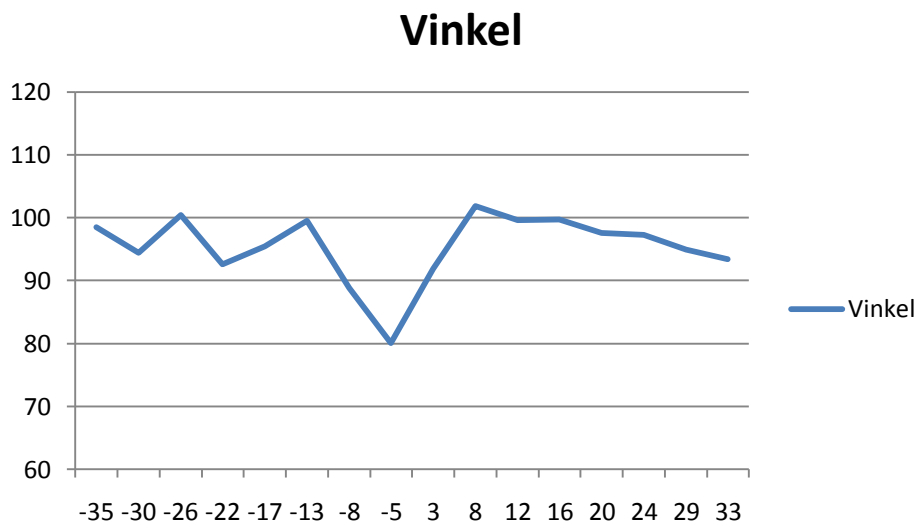
Figur D1 - Overflate jevnhet PEX 1

PEX 3



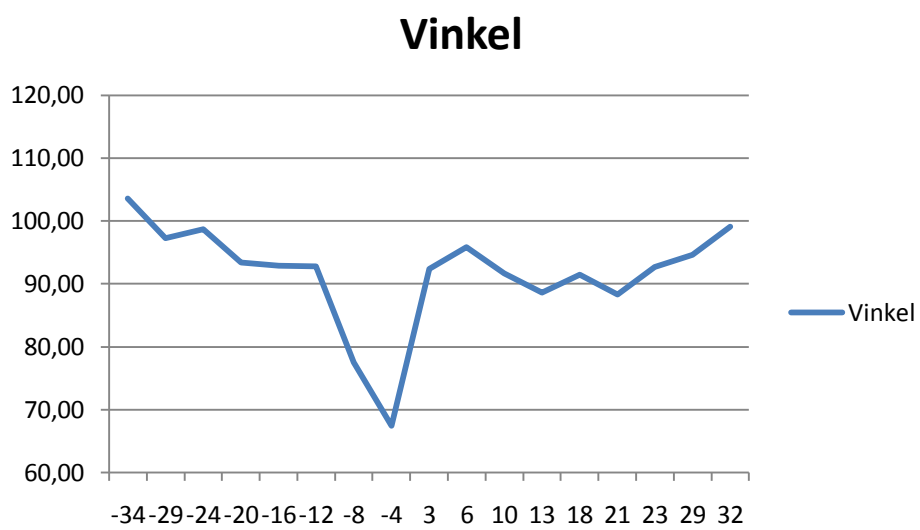
Figur D2 - Overflate jevnhet PEX 3

PEX 4



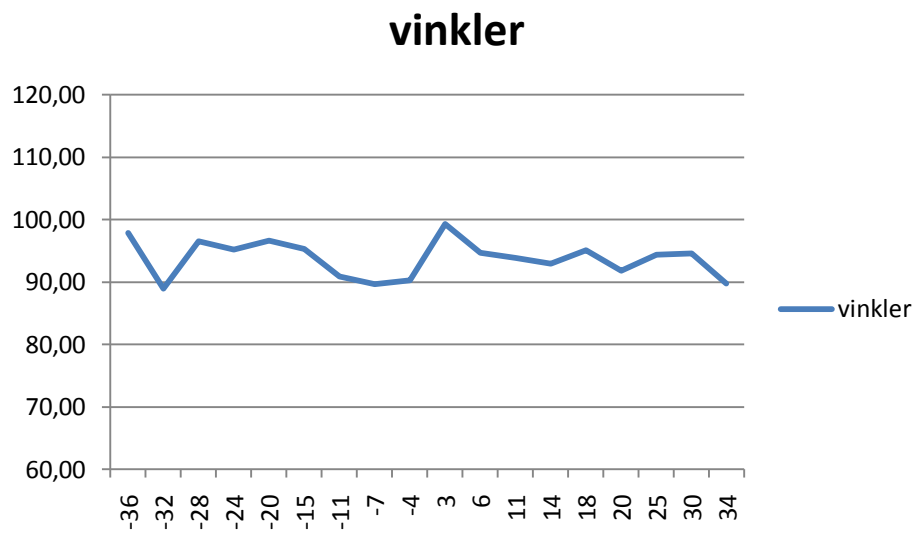
Figur D3 - Overflate jevnhet PEX 4

PEX 5



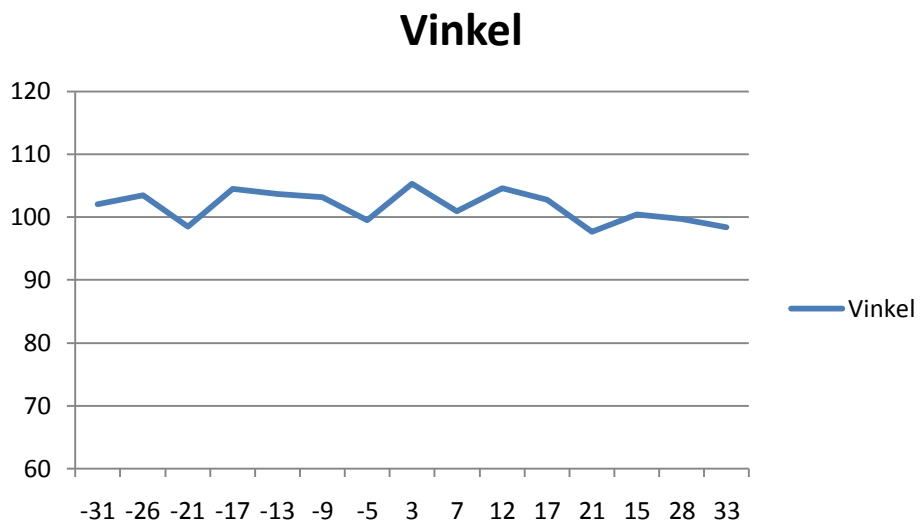
Figur D4 - Overflate jevnhet PEX 5

PEX 6



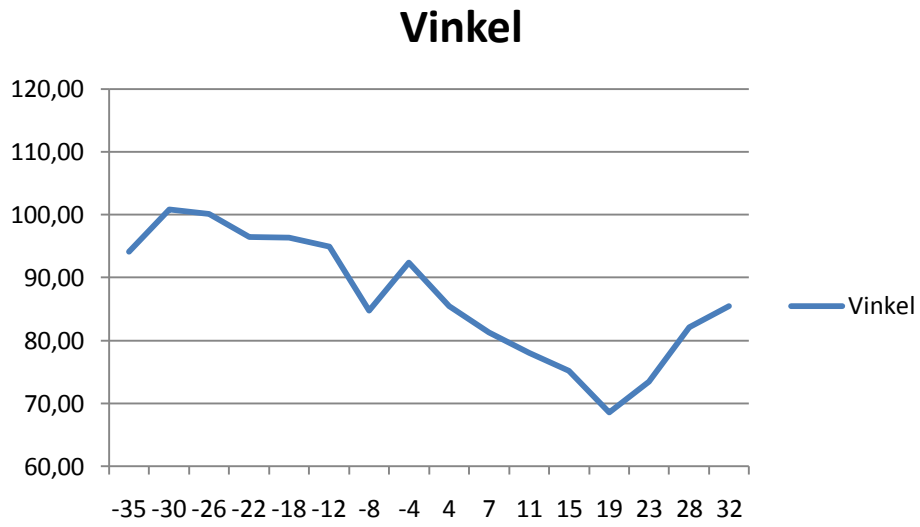
Figur D5 - Overflate jevnhet PEX 6

PEX 7



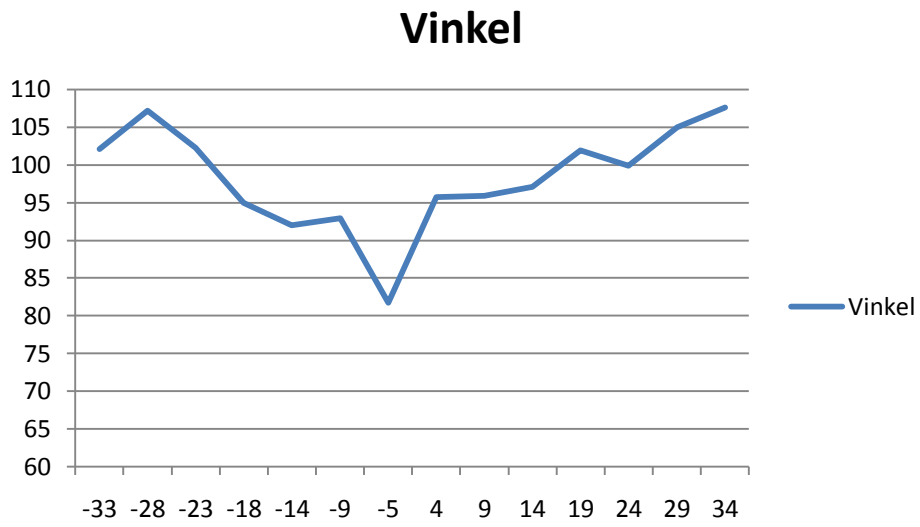
Figur D6 - Overflate jevnhet PEX 7

PEX 8



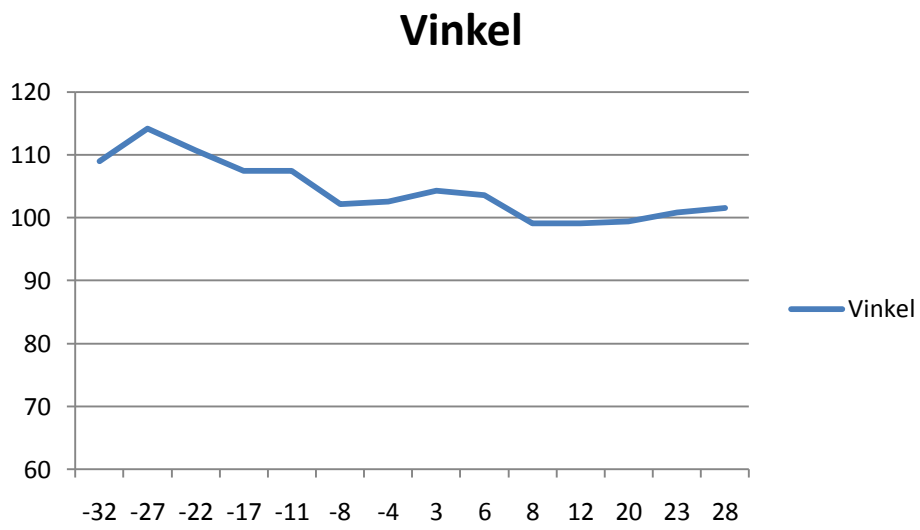
Figur D7 - Overflate jevnet PEX 7

PEX 9



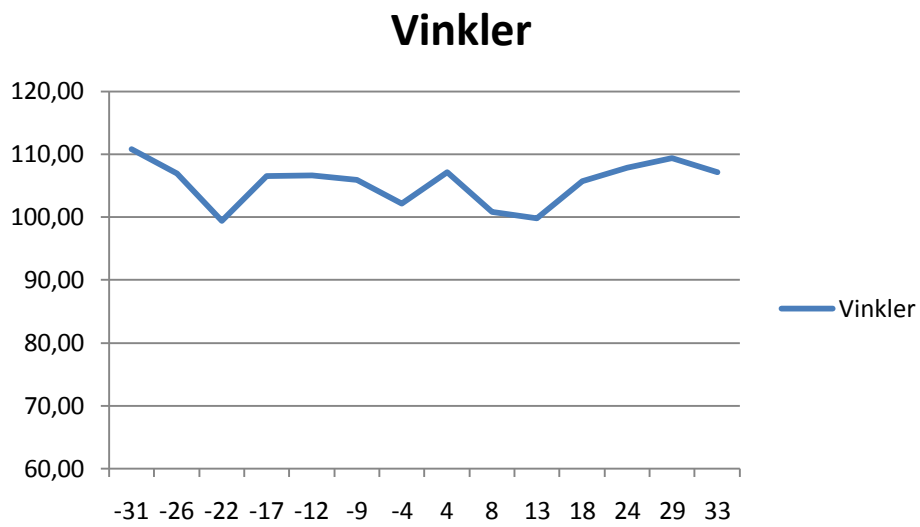
Figur D8 - Overflate jevnhet PEX 8

PFA 1



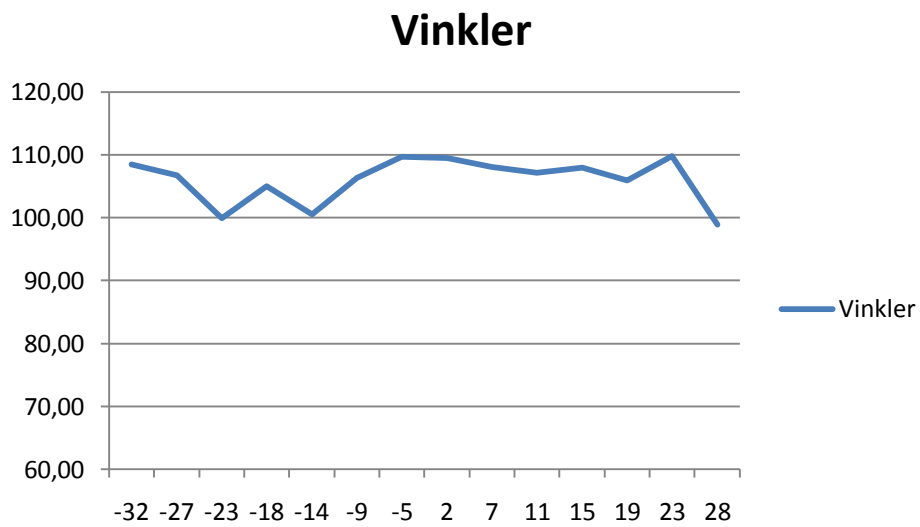
Figur D9 - Overflate jevnhet PFA 1

PFA 2



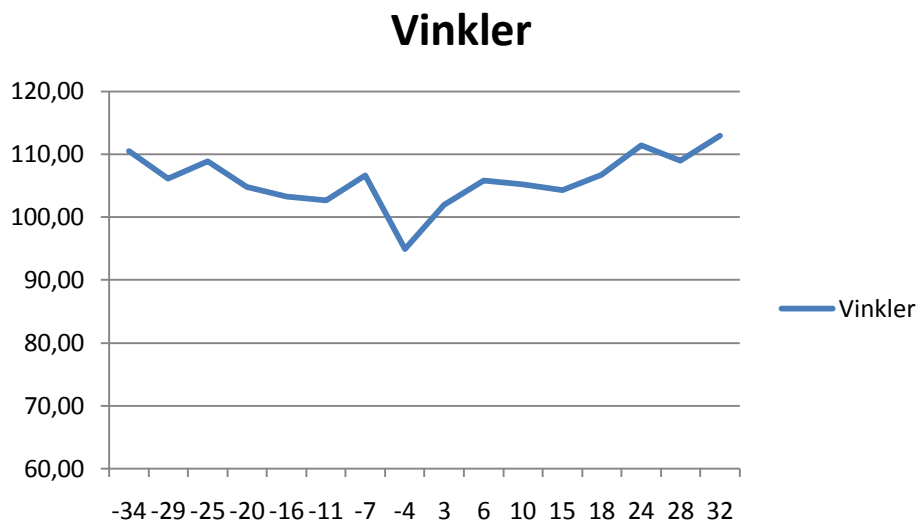
Figur D10 - Overflate jevnhet PFA 2

PFA 3



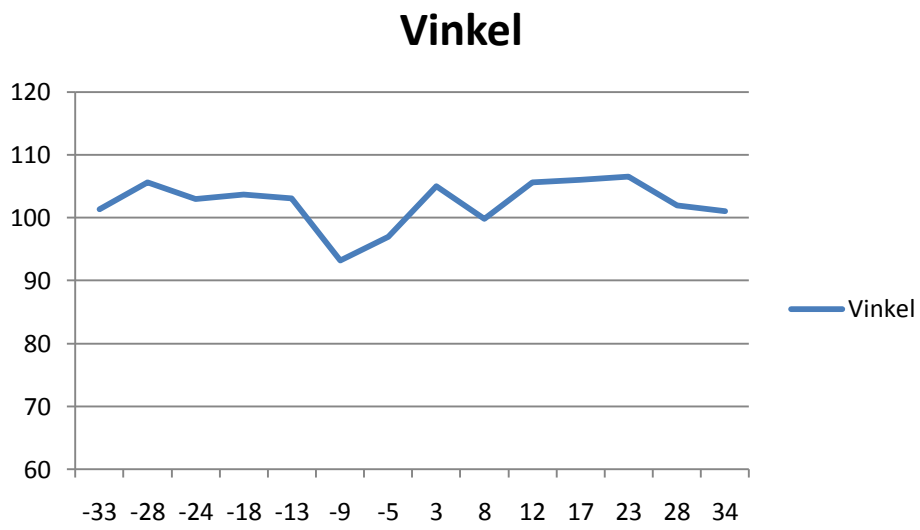
Figur D11 - Overflate jevnhet PFA 3

PFA 5



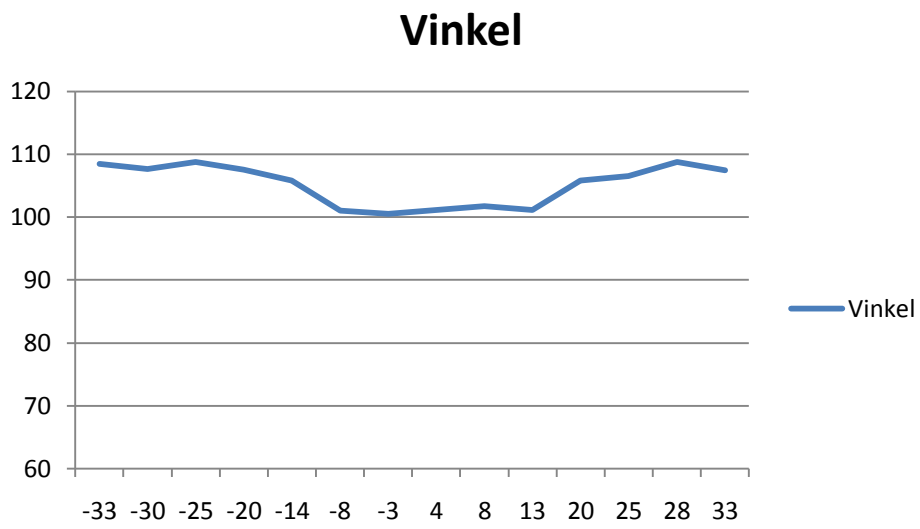
Figur D12 - Overflate jevnhet PFA 5

PFA 6



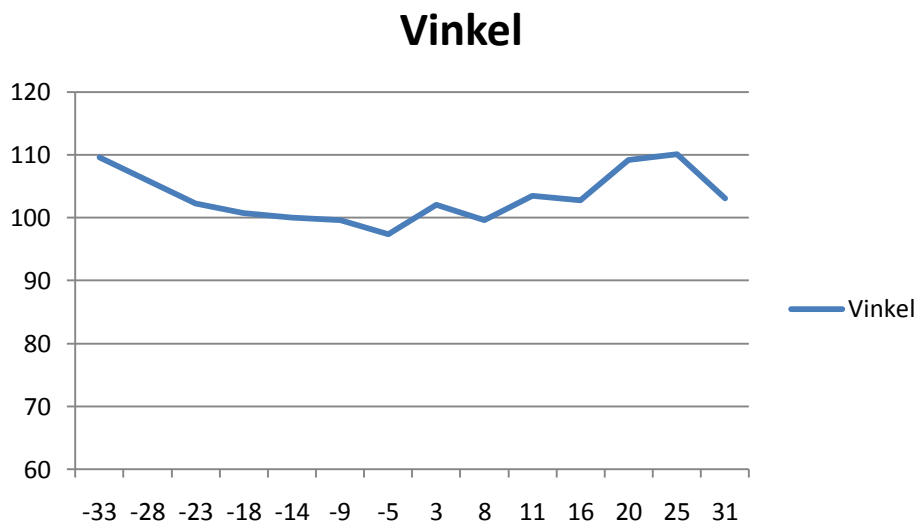
Figur D13 - Overflate jevnhet PFA 6

PFA 7



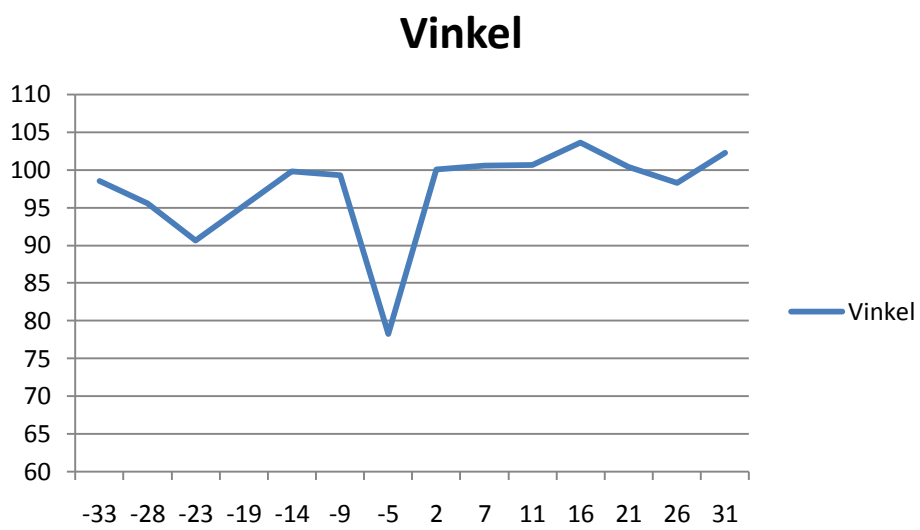
Figur D14 - Overflate jevnhet PFA7

PFA 8



Figur D15 - Overflate jevnhet PFA 11

PFA 11



Figur D16 - Overflate jevnhet PFA 11

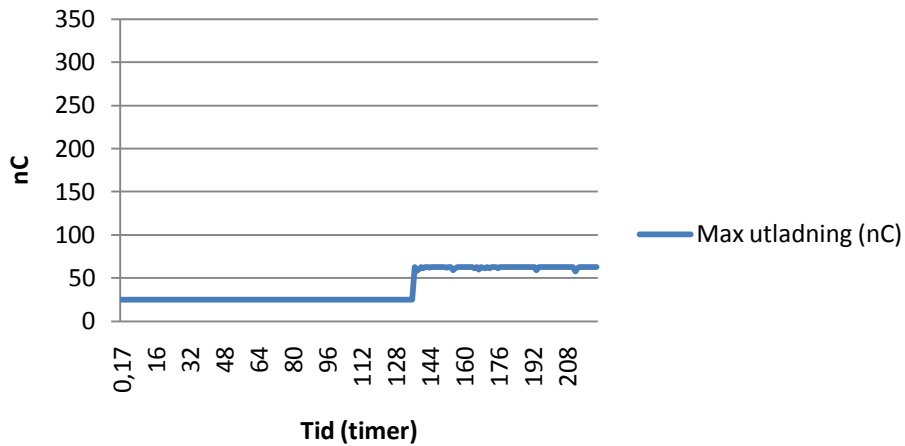
Vedlegg E: Utladningskarakteristikker

I vedlegget er det grafer laget fra plottene som har blitt tatt under prøving. Grafene viser Max pd [nC] som funksjon av tid og antall pd [N] som funksjon av tid. Dataene til grafene er hentet fra det første plottet, deretter et plott hver time og alltid fra det siste plottet for prøveobjektet. Grafene er delt inn etter isolasjonstype.

Prøve Pex 1

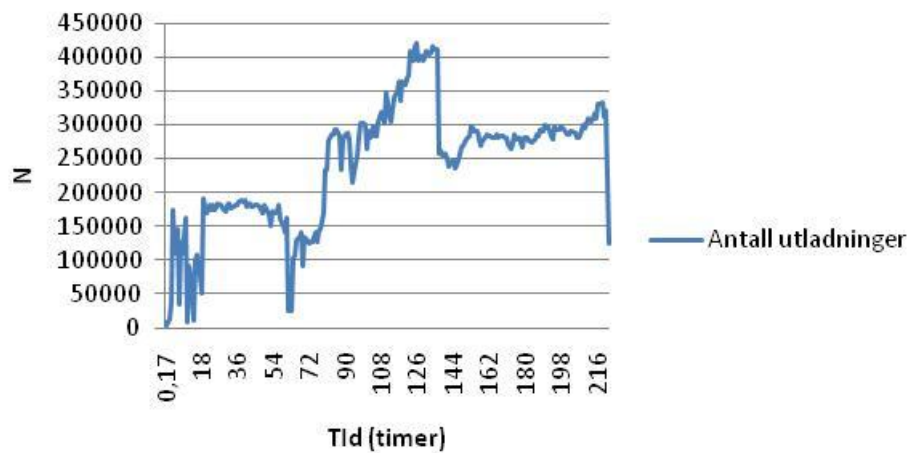
ICM – systemet stoppet en time før gjennomslag. Grunnen til dette at systemet stoppet er ukjent. Grunnen til at Figur E1 er så flat var at forsterkningen var så høy at de målte verdiene la seg på maks verdi i plottet. Forsterkningen ble skrudd ned, slik at den reelle verdien på utladningen vises. Men utladningene la seg fremdeles på maks i plottet. Etter gjennomslag ble forsterkningen skrudd ned slik at den reelle verdien på utladningene for resten av prøveobjektene ble registrert.

Max utladning (nC)



Figur E1 - Max utladning PEX 1

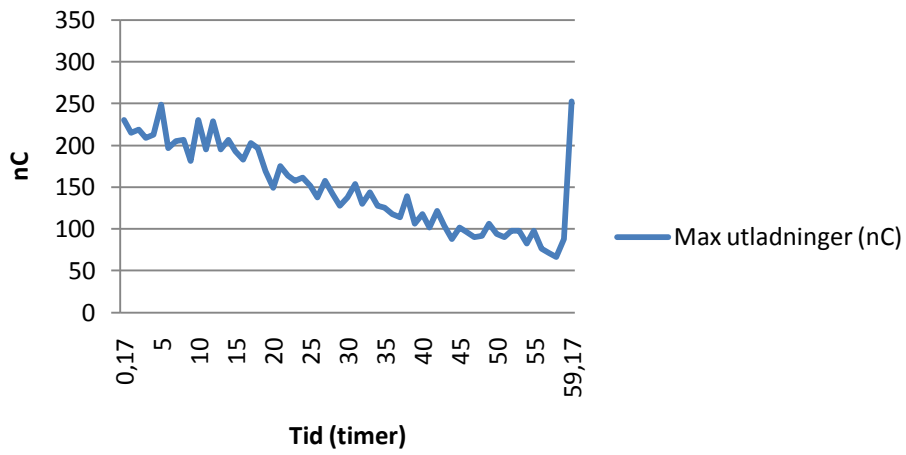
Antall utladninger (N)



Figur E2 - Antall utladninger PEX 1

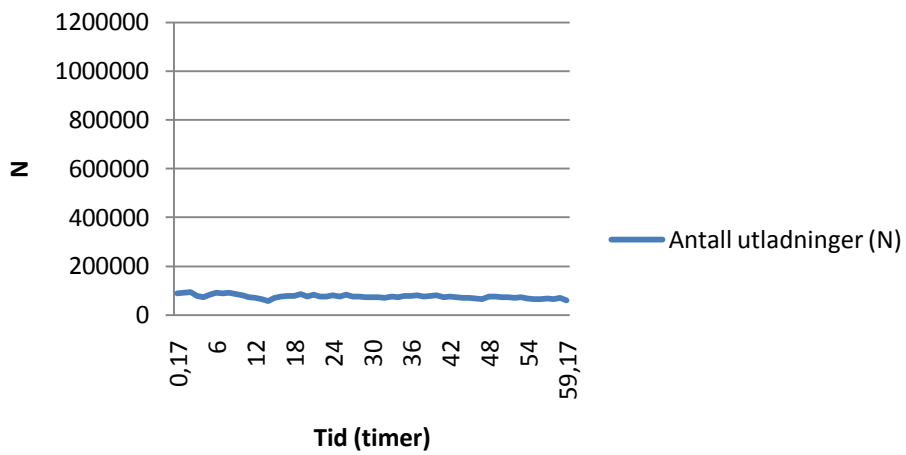
Pex 3

Max utladninger (nC)



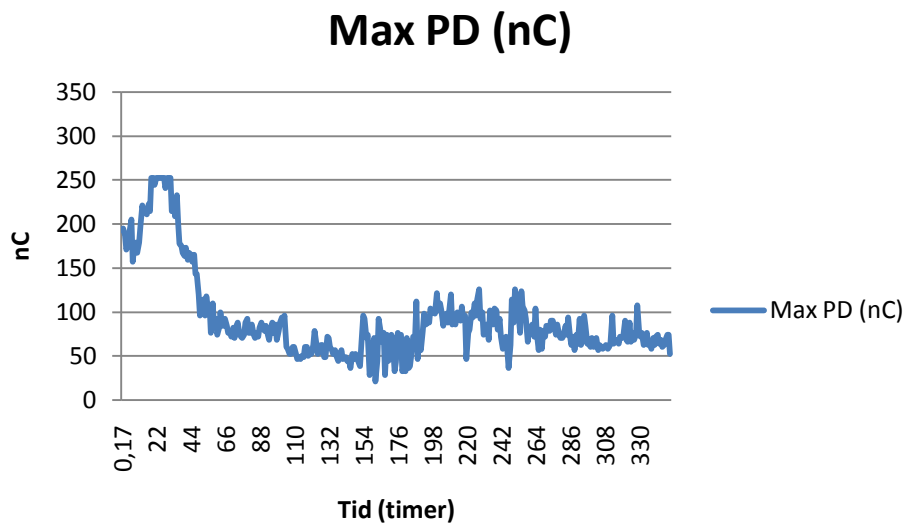
Figur E3 - Max utladninger PEX 3

Antall utladninger (N)

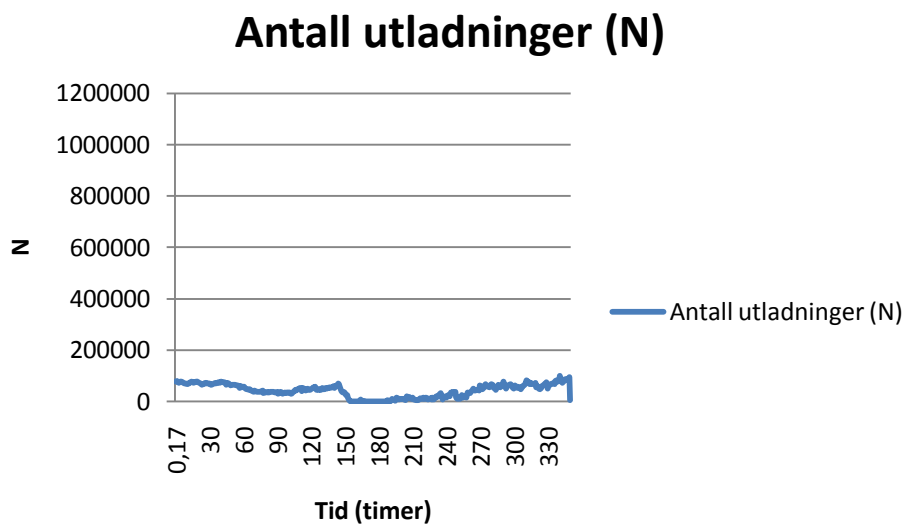


Figur E4 - Antall utladninger PEX 3

Pex 4



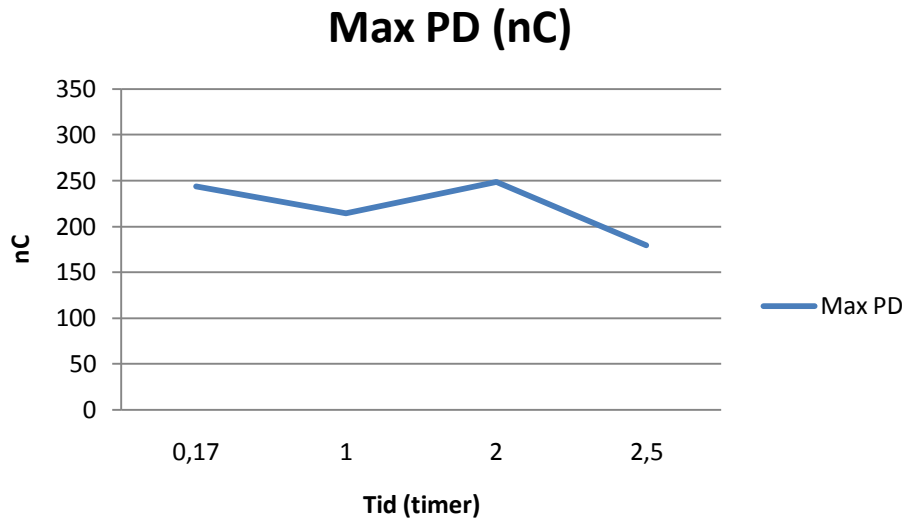
Figur E5 - Max PD PEX 4



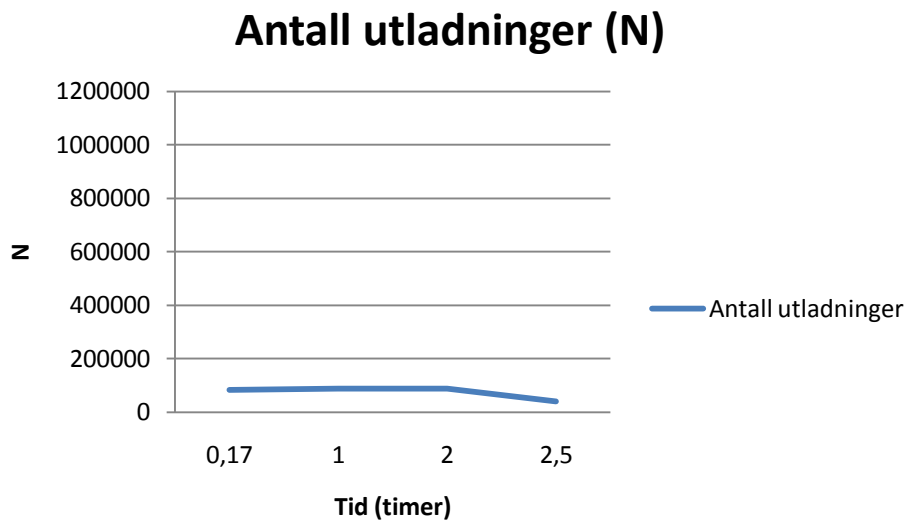
Figur E6 - Antall utladninger PEX 4

I antall utladninger for PEX 4 går ikke grafen helt ned til null utladninger. Hvis man ser på utladningsverdien Figur E5 så er den ikke null og man må ha utladninger for å ha en utladningsverdi, så derfor kan ikke antall utladninger være null.

Pex 5

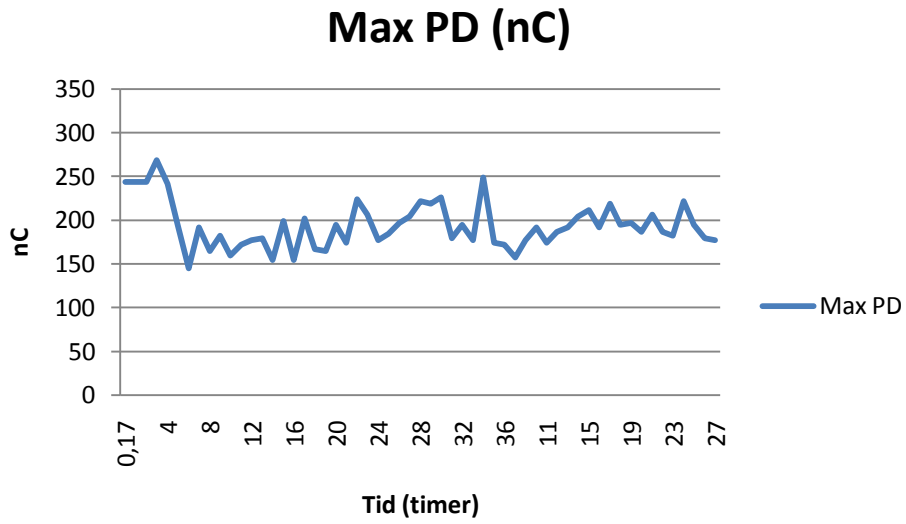


Figur E7 - Max PD PEX 5

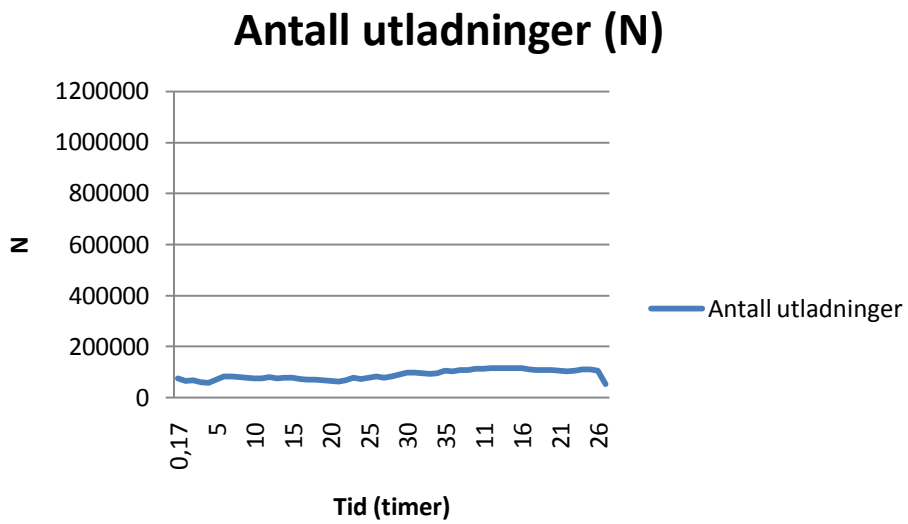


Figur E8 - Antall utladninger PEX 5

Pex 6

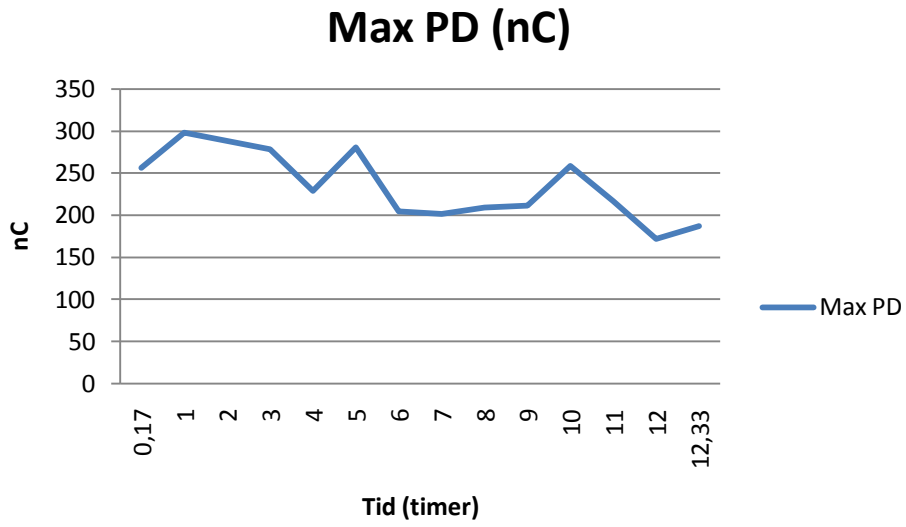


Figur E9 - Max PD PEX 6

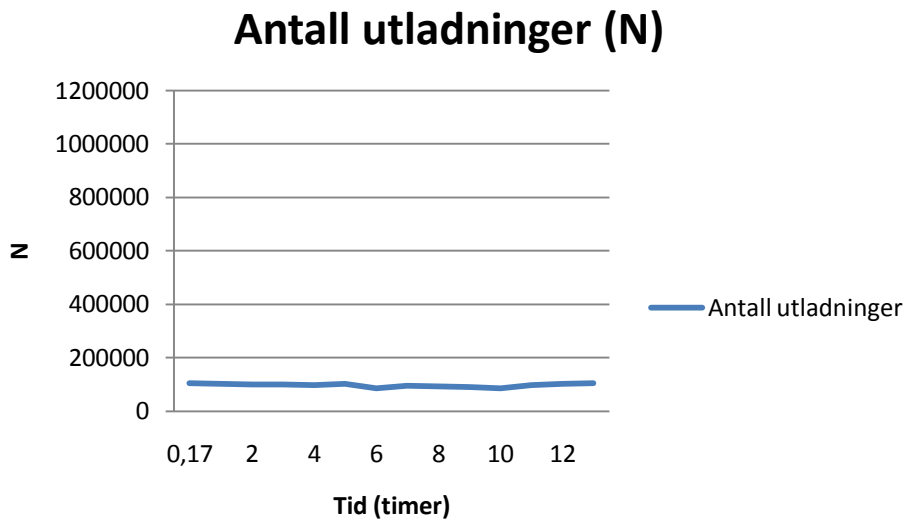


Figur E10 - Antall utladninger PEX 6

Pex 7

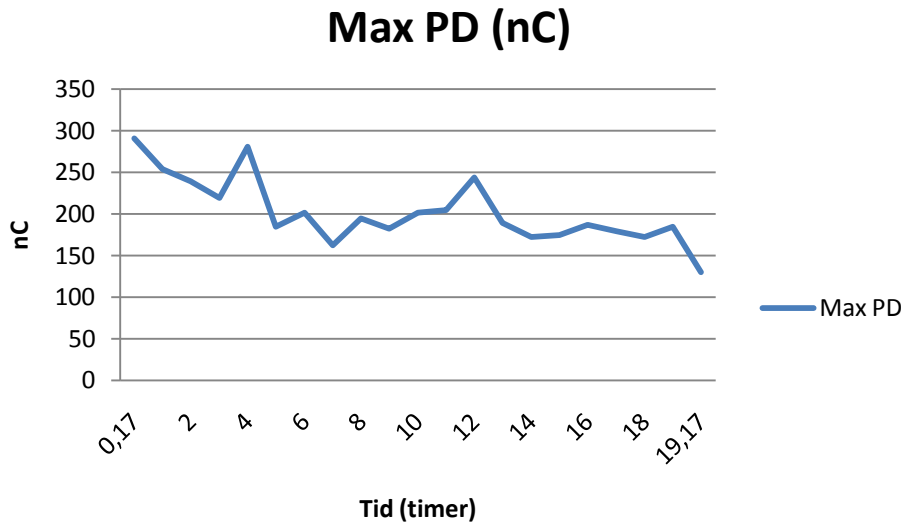


Figur E11 - Max PD PEX 7

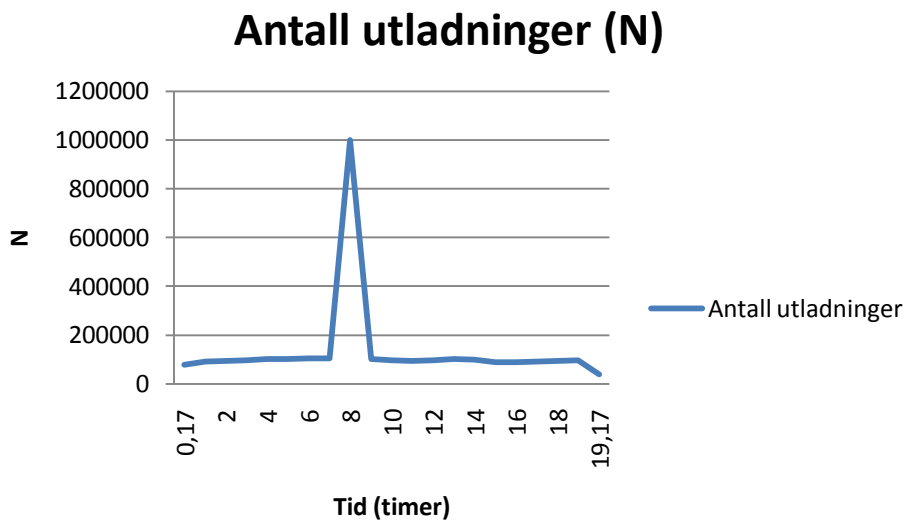


Figur E12 - Antall utladninger PEX 7

Pex 8

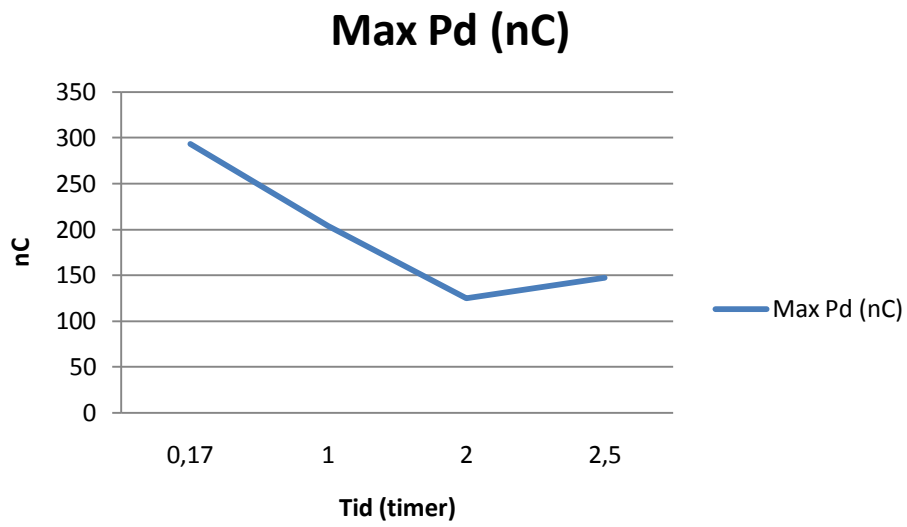


Figur E13 - Max PD PEX 8

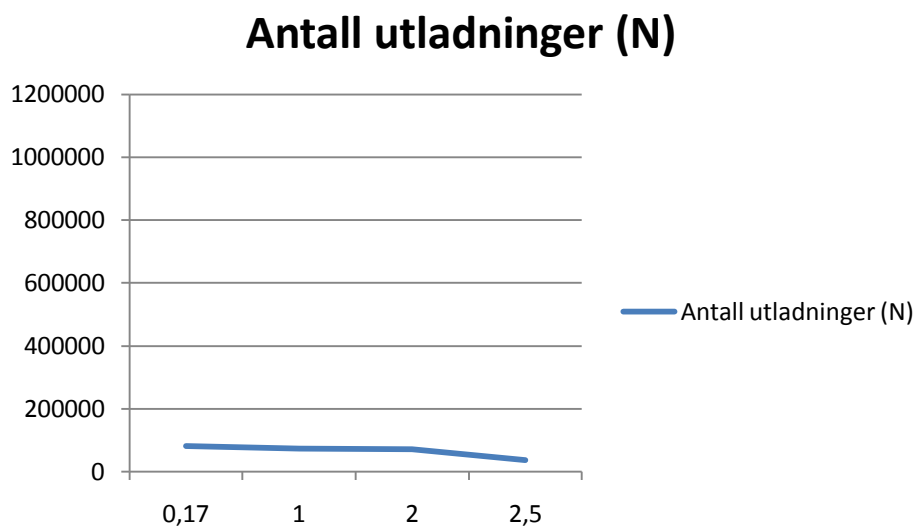


Figur E14 - Antall utladninger PEX 8

Pex 9

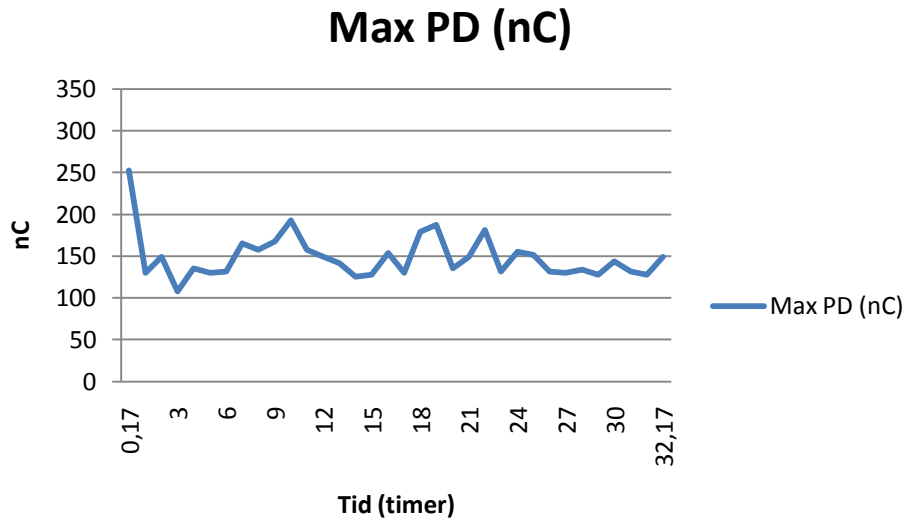


Figur E15 - Max PD PEX 9

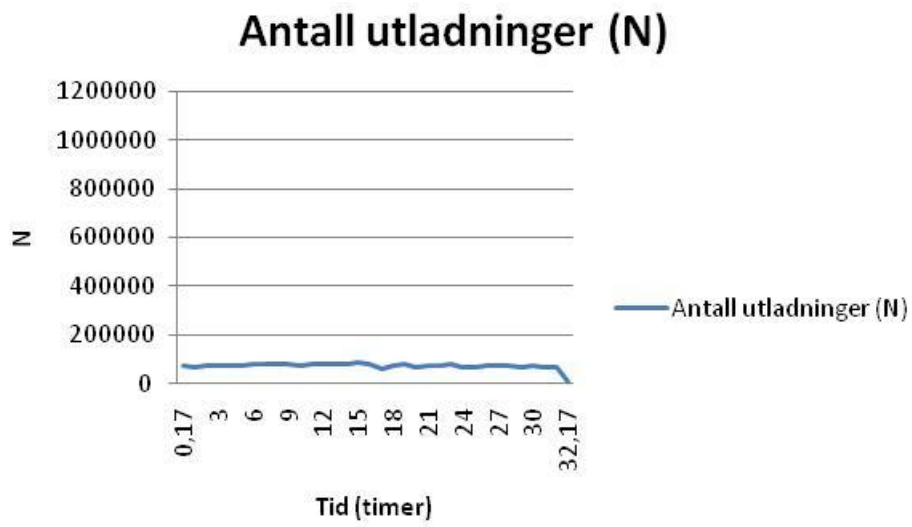


Figur E16 - Antall utladninger PEX 9

PFA 1

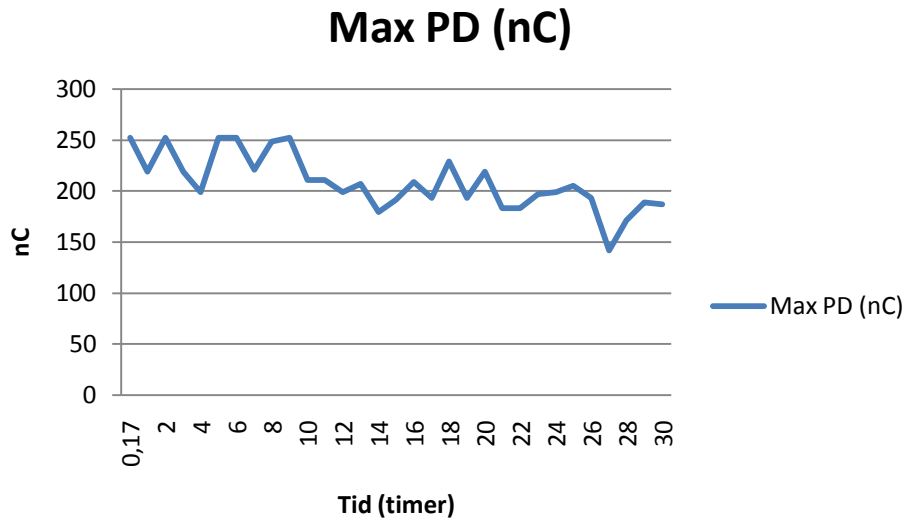


Figur E17 - Max PD PFA 1

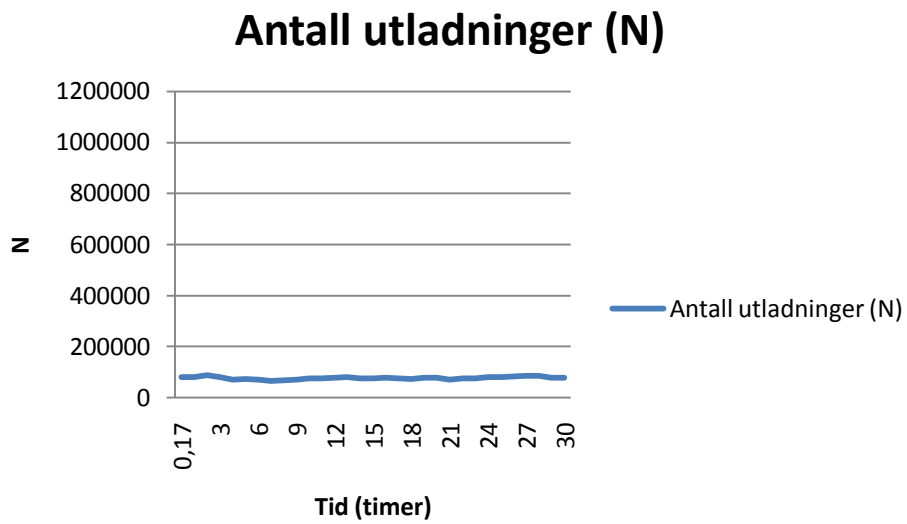


Figur E18 - Antall utladninger PFA 1

PFA 2

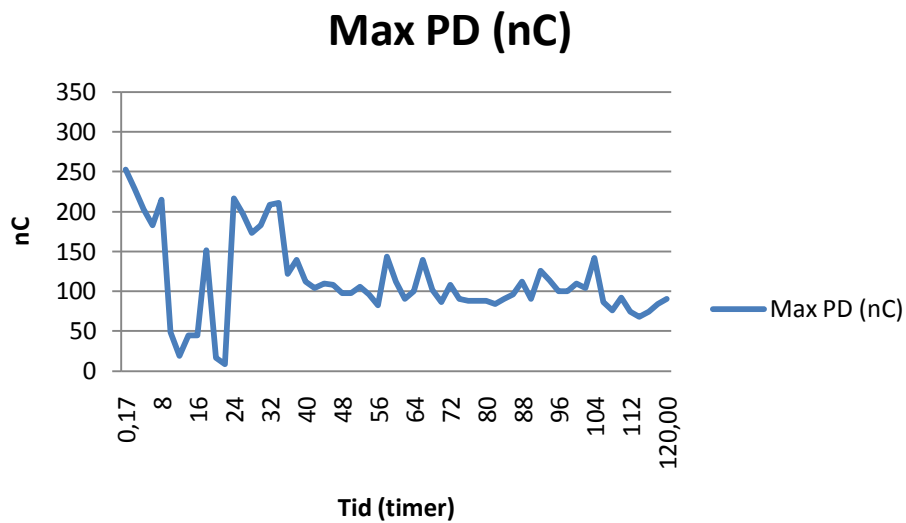


Figur E19 - Max PD PFA 2

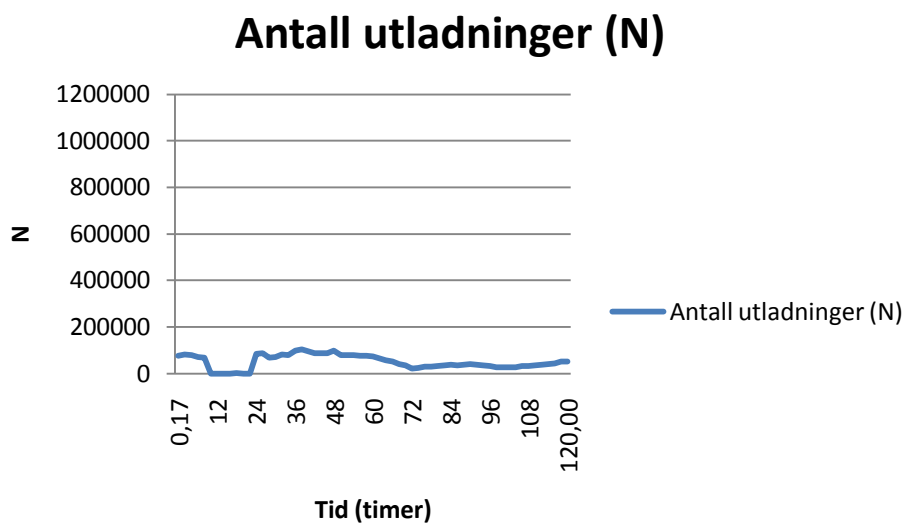


Figur E20 - Antall utladninger PFA 2

PFA 3



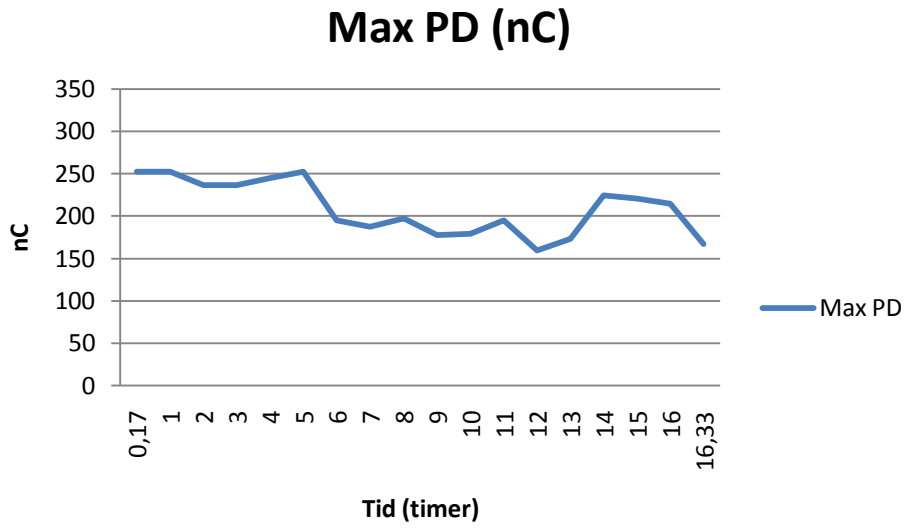
Figur E21 - Max PD PFA 3



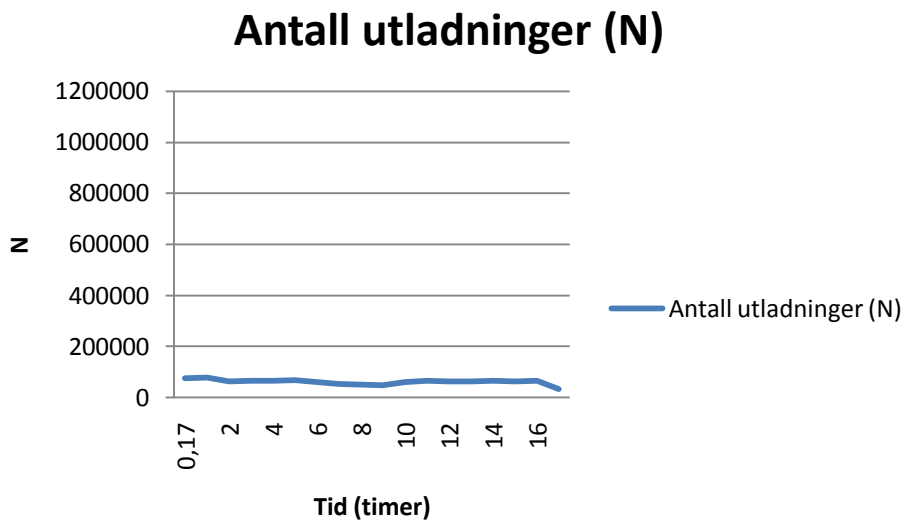
Figur 22 - EAntall utladninger PFA 3

I antall utladninger for PEX 4 går ikke grafen helt ned til null utladninger. Hvis man ser på utladnings verdien Figur E21 så er den ikke null og man må ha utladninger for å ha en utladningsverdi, så derfor kan ikke antall utladninger være null.

PFA 5

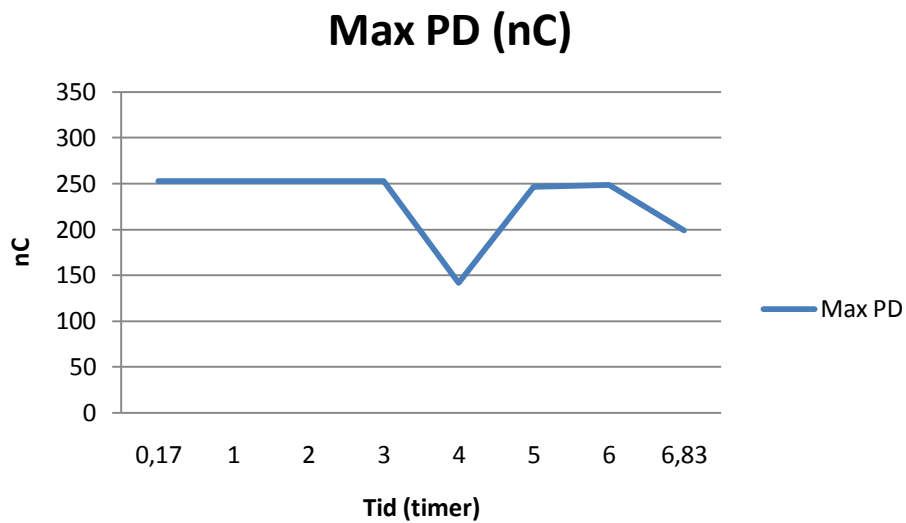


Figur E23 - Max PD PFA 5

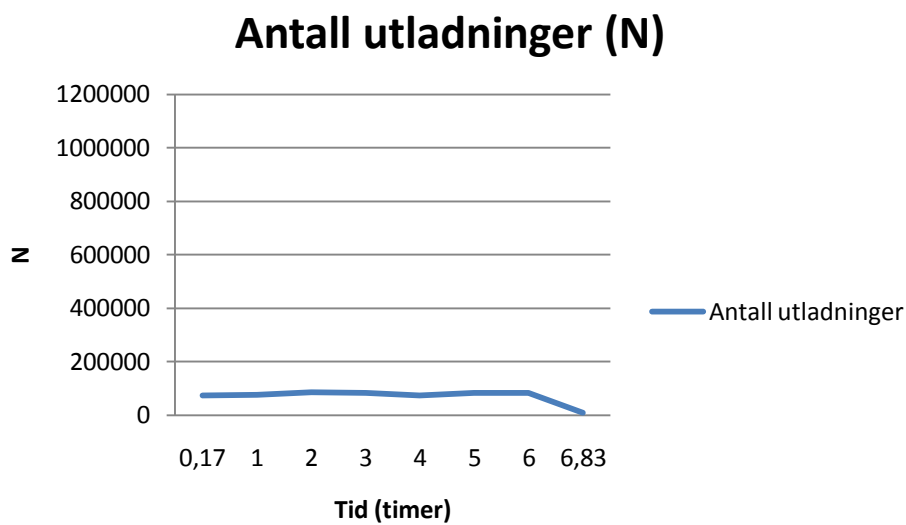


Figur E24 - Antall utladninger PFA 5

PFA 6



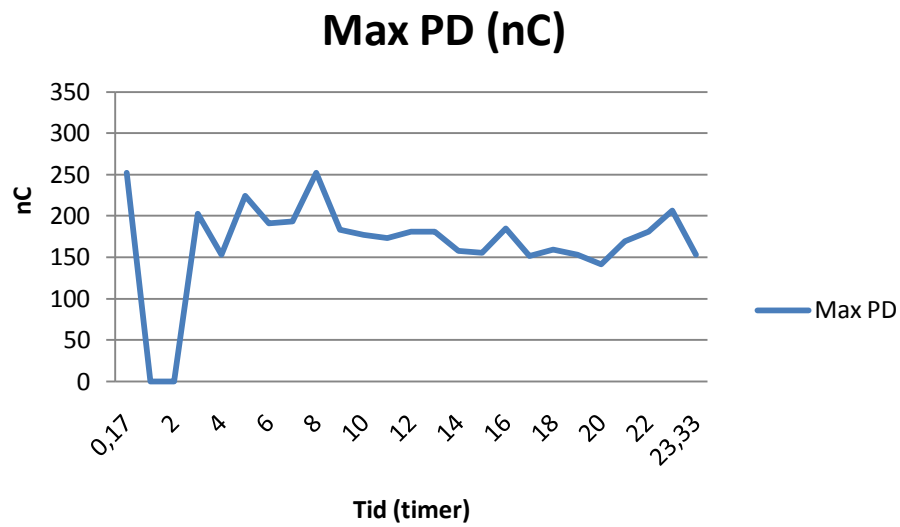
Figur E25 - Max PD PFA 6



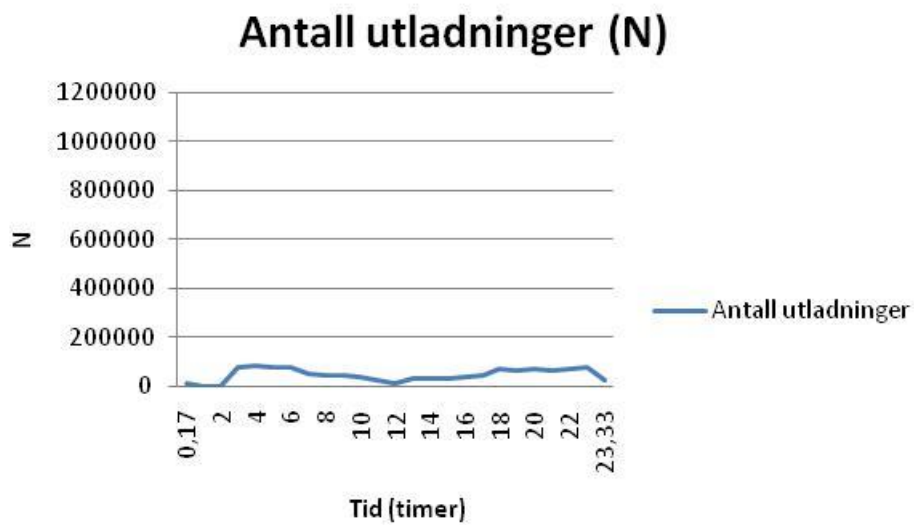
Figur E26 - Antall utladninger PFA 6

I antall utladninger for PFA 6 går ikke grafen helt ned til null utladninger. Hvis man ser på utladningsverdien i Figur E25 så er den ikke null og man må ha utladninger for å ha en utladningsverdi, så derfor kan ikke antall utladninger være null.

PFA 7



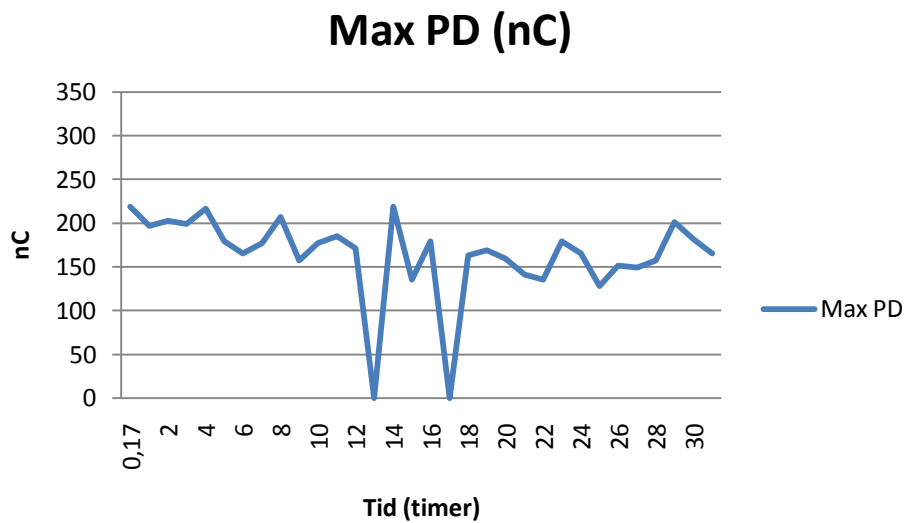
Figur E27 - Max PD PFA 7



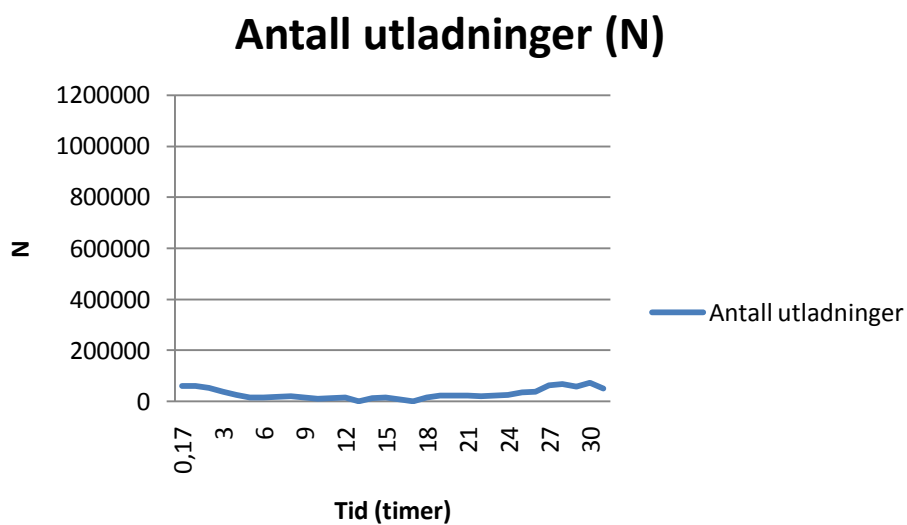
Figur E28 - Antall utladninger PFA 7

I Figur E27 ser man at utladnings verdien er null for en periode og dermed må også antall utladninger i Figur E28 være null for samme periode. I resten av Figur E28 er det flere enn null utladninger.

PFA 8



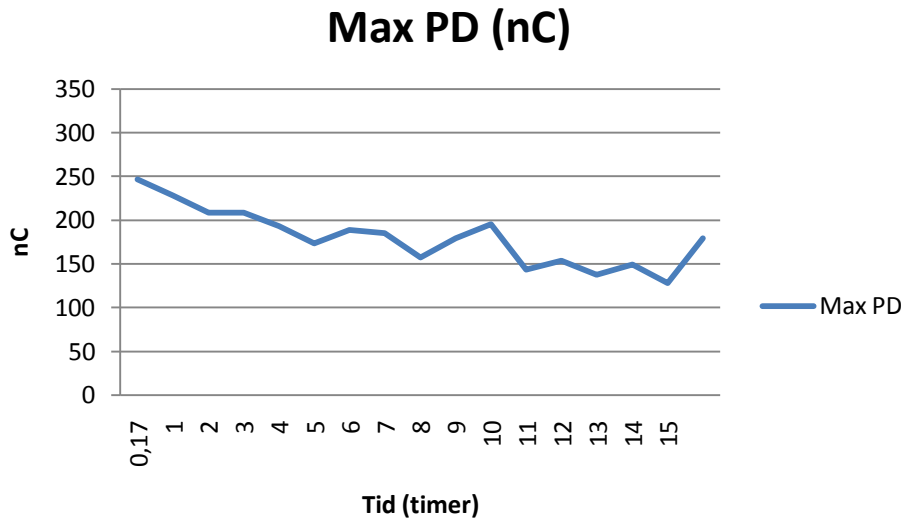
Figur E29 - Max PD PFA 8



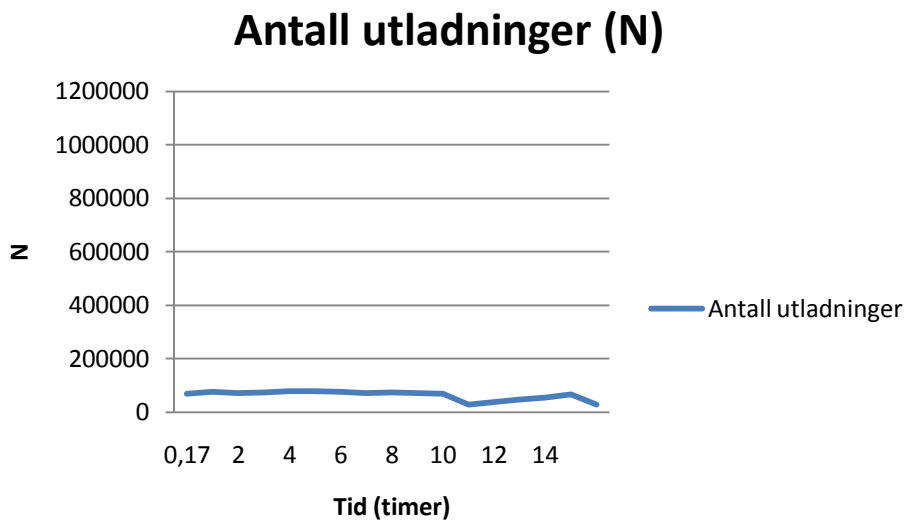
Figur E30 - Antall utladninger PFA 8

I Figur E29 er det to steder der utladnings verdi er null. Da vil også antall utladninger i Figur E30 være null på samme sted.

PFA 11



Figur E31 - Max PD PFA 11



Figur E32 - Antall utladninger PFA 11