

Alvar Guddingsmo
Eirik Lund
Georg Bøni Hofstad
Iver Leirvik

Vanninntreningsmonitor til undervanns-kontrollsystemer

Bacheloroppgave i Elektroingeniør - BIELEKTRO
Veileder: Terje Mathiesen
Mai 2024

Alvar Guddingsmo
Eirik Lund
Georg Bøni Hofstad
Iver Leirvik

Vanninntreningsmonitor til undervanns-kontrollsystemer

Bacheloroppgave i Elektroingeniør - BIELEKTRO
Veileder: Terje Mathiesen
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elektroniske systemer



Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave BIELEKTRO

Oppgavetittel: Vanninntrengningsmonitor til undervanns-kontrollsystemer (Water Ingress Monitor for subsea control modules)		
Forfattere: Georg Bøni Hofstad Iver Leirvik Eirik Lund Alvar Guddingsmo	Prosjektnummer:	E2421
	Innleveringsdato:	21.05.2024
	Gradering:	<input checked="" type="checkbox"/> åpen <input type="checkbox"/> lukket
Studium:	Elektroingeniør - BIELEKTRO	
Studieretning:	Elektronikk og sensorsystemer	
Veileder internt:	Terje Mathiesen	
Institutt:	Institutt for Elektroniske Systemer	
Oppdragsgiver:	Proserv Norge AS	

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave i studiet elektronikk og sensorsystemer ved Norges tekniske naturvitenskaplige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven ble påbegynt januar 2024 og avsluttet mai 2024.

Arbeidet med bacheloroppgaven har vært en lærerik prosess, som har bydd på utfordringer og kreative løsninger. Oppgaven har gitt gruppemedlemmene verdifull innsikt i hvordan prosjekter løses i bedrifter og hvordan det er å jobbe med et prosjekt med større omfang.

Bachelorgruppen vil rette en stor takk til Håken Lunn og Erik Lyng fra Proserv for all hjelp og verdifull kunnskap, som de har delt i løpet av arbeidet med bacheloroppgaven.

Abstract

The project report describes the development and evaluation of a water ingress monitor (VIM). In subsea control modules, water intrusion is a problem, which can lead to system failure and in the worst case, operational shutdown. This is significant, as it can lead to financial losses. There is a need for a way to detect and monitor the problem to plan maintenance and avoid unnecessary downtime. To measure water intrusion, a capacitive measurement method was used. The method uses touch-sensitive technology controlled by an STM microcontroller and is based on charge transfer measurement. The product has 24 touch plates on a line, each with its measurement range. The results from the tests show that the developed VIM has a measurement range from 0 to 21.6 *cm*, with an accuracy of 0.362 *mm* and a precision of 7.19 μm . The implementation of the temperature test shows that the VIM is temperature dependent and the deviations from the test were 0.1 *mm* in the temperature range -18 to 70°C. There are some elements that need improvement, such as the Subsea Instrumentation Interface Standardisation (SIIS) Level 1 interface, before it can become a finished product. The measurement principle has shown promising results. By making some improvements, the VIM will work well for the intended application. The group considers the VIM to be a good alternative to today's solution and recommends further development before it can be used in subsea control modules.

Sammendrag

Prosjektrapporten beskriver utvikling og vurdering av en Vanninntreningsmonitor (VIM). I undervanns-kontrollmoduler er vanninntrenging et problem, som kan føre til systemfeil og i verste fall driftsstans. Dette er alvorlig, da dette kan føre til store økonomiske tap. Det er ønskelig med en måte å oppdage og overvåke problemet for å planlegge vedlikehold og unngå unødvendig nedetid. For å måle vanninntrengning ble det benyttet en kapasitiv målemetode. Metoden benytter berøringsfølende teknologi kontrollert av en STM-mikrokontroller og er basert på ladningoverføringsbasert måling (charge transfer measurement). Produktet har 24 berøringsplater på en linje, hvor hver har sitt måleområde. Resultatene fra testene viser at VIM som ble utviklet har et måleområde som strekker seg fra 0 til 21,6 *cm*, med en nøyaktig på 0,362 *mm* og en presisjon på 7,19 μm . Gjennomføring av temperaturtesten viser at VIM er temperaturavhengig og utslagene fra testen var på 0,1 *mm* i temperaturområdet -18 til 70°C. Det er noen elementer som har behov for utbedring, som for eksempel SIIS Level 1 grensesnitt, før det kan bli et ferdig produkt. Måleprinsippet har vist lovende resultater. Ved å gjøre noen utbedringer vil VIM fungere godt, for tiltenkt anvendelse. Gruppen anser VIM som et godt alternativ til dagens løsning og anbefaler videreutvikling før den kan anvendes i undervanns-kontrollmoduler.

Innhold

Forord	II
Abstract	III
Sammendrag	IV
Ordliste	XII
Forkortelser	XIII
Matematiske symboler	XIV
1 Innledning	1
1.1 Oppdragsgiver: Proserv	1
1.2 Prosjektbeskrivelse	2
1.3 Problemstilling	3
1.4 Prosjekt mål	3
1.4.1 Effektmål	3
1.4.2 Resultatmål	4
1.4.3 Prosessmål	4
1.5 FNs bærekraftsmål - relevante mål og potensielle effekter	5
1.6 Rapportens oppbygning	6
2 Teori	7
2.1 Polare og upolare molekyl	7
2.2 Elektrisk polarisering	8
2.3 Permittivitet	8
2.4 Kapasitans	9
2.5 Mutual-cap	9
2.6 Self-cap	10
2.7 Ladningsoverføringsbasert måling	11
2.8 Serial Peripheral Interface (SPI)	13
2.9 SIIS 1 grensesnitt	14
2.10 Mean Time Between Failure (MTBF)	15

3	Metode	16
3.1	Utstyr	16
3.1.1	STMicroelectronics STM32 Nucleo utviklingskort	16
3.1.2	AVR128DA48 curiosity nano utviklingskort	16
3.1.3	Altium Designer 24	16
3.1.4	STM32CubeIDE og STM32Cube monitor	17
3.1.5	Excel	17
3.1.6	Matlab	17
3.1.7	WaveAce 212 og PICOScope 5444D	17
3.1.8	JLCPCB	17
3.1.9	Weller WX 2 Soldering Station	17
3.1.10	Autodesk fusion	17
3.2	Prototype I	18
3.2.1	Self-cap	18
3.2.2	Mutual-cap	19
3.2.3	Valg av mikrokontrollere	19
3.2.4	Test av prototype I	19
3.3	Design, utvikling og testing av prototype II	21
3.3.1	Design- og utviklingsprosessen	21
3.3.2	Designvalg	22
3.3.3	Mikrokontroller	22
3.3.4	Loop power supply	23
3.3.5	Kobling til loop power supply	24
3.3.6	Valg av loop current range	24
3.3.7	Spenningsregulator	25
3.3.8	Lengde og bredde på baner til berøringsplatene	25
3.3.9	Avstander	26
3.3.10	Jordlag	26
3.3.11	Berøringsplater	27
3.3.12	Strategier for ruting av berøringsplatene	27
3.3.13	Samplingskondensator	29
3.3.14	Klarlakk	30
3.4	Programvare	30
3.4.1	Måling	30

3.4.2	Evaluering og summering	31
3.4.3	Sending av data	32
3.4.4	STM32CubeIde kode	32
3.5	Kalibrering	33
3.6	Testing og validering	33
3.6.1	Utviklingstest	33
3.6.2	Dynamisk nivå	34
3.6.3	Statisk nivå	34
3.6.4	Valg av olje	34
3.6.5	Teststasjonen	35
3.6.6	Måleprogram	36
3.6.7	Testprosessen	36
3.6.8	Kalibrering	36
3.6.9	SIIS grensesnitt-test	36
3.6.10	Støytest	37
3.6.11	Temperaturtest	37
4	Resultater	38
4.1	Prototype I	38
4.1.1	Self-cap AVR	38
4.1.2	Mutual-cap AVR	39
4.1.3	Self-cap STM	41
4.2	Prototype II	42
4.2.1	Linearitet	42
4.2.2	Avvik ved dynamiske målinger	43
4.2.3	Nøyaktighet	44
4.2.4	Presisjon	46
4.2.5	SIIS 1 grensesnitt	48
4.2.6	Temperaturpåvirkning	48
4.2.7	Støypåvirkning	49
4.2.8	Pålitelighetsvurdering	51
4.2.9	Parasittisk kapasitans	51
4.2.10	Oppsummering av resultater	52

5	Diskusjon	53
5.1	Prototype I	53
5.1.1	Self-cap AVR	53
5.1.2	Mutual-cap AVR	53
5.1.3	Self-cap STM	54
5.2	Prototype II	54
5.2.1	Linearitet	54
5.2.2	Avvik ved dynamiske målinger	55
5.2.3	Nøyaktighet	55
5.2.4	Presisjon	58
5.2.5	SIIS 1 grensesnitt	58
5.2.6	Temperaturpåvirkning	59
5.2.7	Støypåvirkning	59
5.2.8	Pålitelighetsvurdering	60
5.2.9	Parasittisk kapasitans	60
5.3	Design av produkt	62
5.4	Testprosedyre	62
6	Konklusjon	64
7	Referanser	65
8	Vedlegg	I
8.1	Vedlegg: Beskrivelse av oppgaven	I
8.2	Vedlegg: STM32Fx Products Reliability Monitoring Results	IV
8.3	Vedlegg: Wafer Fabrication Data	IX
8.4	Vedlegg: Skjematikk	IX
8.5	Vedlegg: PCB	XV
8.6	Vedlegg: Partiellderiverte	XXII
8.7	Vedlegg:forprosjekt	XXIII
8.7	Plakat	LI

Figurer

1	Proserv logo	1
2	SCM og proserv sin prototype VIM	2
3	FNs bærekraftsmål 9	5
4	Polart og upolart molekyl	7
5	Polarisering av et dielektrikum i en kondensator	8
6	Variabeloversikt til dimensjonene for en berøringsplate	9
7	Oppsett av mutual-cap	10
8	Oppsett av self-cap	10
9	Steg i TSC-målinger	11
10	SPI - Kobling mellom hoved- og undernode	13
11	SPI-spesifikasjon til AD5421	13
12	Oppkobling av SIIS 1 grensesnitt	14
13	STM32 Nucleo utviklingskort	16
14	Testoppsett prototype I self-cap med STM	20
15	Mønsterkort Prototype I	20
16	Prototype II	21
17	STM32F091VCT6	22
18	AD5421BREZ	23
19	Koblingsmetoder for AD5421 til loop power supply	24
20	Anbefalte avstander for ruting	26
21	Jordnett og anbefalt ruting over jordnett	27
22	Konfigurasjon av berøringsplate - mTouchChevronSlider	27
23	Plassering av berøringsplater og gruppene de tilhører	28
24	Kondensatorkarakteristikker	30
25	Programflyten til koden	30
26	Valgtre for evaluering av hver berøringsplate før de summeres	31
27	Teoretisk respons ved feilkalibrering	32
28	Teststasjonen og testbeholder	35
29	En-linjeskjema og testoppsett ved støymåling	37
30	Testoppsett ved temperaturmåling	37
31	Prototype I - Måling av self-cap med AVR	38
32	Prototype I - Måling av horisontal mutual-cap 60 mm	39

33	Prototype I - Måling av vertikal mutual-cap 60 mm	40
34	Prototype I - Målinger av mutual-cap med AVR 15 mm	40
35	Prototype I - Måling av self-cap med STM	41
36	Prototype II - Dynamiske målinger i forhold til reell høyde	42
37	Prototype II - Dynamisk måling i olje	43
38	Prototype II - Presisjon og nøyaktighet støymåling 117 mm	44
39	Prototype II - Presisjon og nøyaktighet med vann og olje 125 mm	45
40	Prototype II - Langtidsmåling over 19 timer	46
41	Prototype II - Presisjon i utvalg fra langtidsmåling	47
42	Prototype II - MATLAB-utdrag. Presisjon i utdrag fra langtidsmåling . . .	47
43	Prototype II - Temperaturpåvirkning	48
44	Prototype II - AC-støy koblet til metallbøtte	49
45	Prototype II - AC-støy koblet til metallbøtte og strømforsyning	49
46	Prototype II - Standardavvik ufiltrerte målinger på berøringsplater	50
47	Prototype II - Standardavvik filtrerte målinger på berøringsplater	51
48	Prototype II - Målt verdi for $C_{l,gnd}$	52
49	Prototype II - Bilde av kapillareffekt	56
50	Diffusjon av vann inn i akryll resin	57
51	Prototype II - Ruting av berøringsplate 5	61
52	AD5421 - Wafer Fabrication Data	IX

Tabeller

1	Spesifikasjoner fra oppdragsgiver	4
2	Fordeler og ulemper ved bruk av SIIS 1 grensesnitt	14
3	Oversikt for valg av loop current range	24
4	Oversikt for valg av spenningsregulatorens utgangsspenning	25
5	Oversikt av de dynamiske målingene	43
6	Oppnåelse av spesifikasjoner	52

Ordliste

A2G Artemis Second generation SEM (A2G SEM) er det overordnede systemet som kontrollerer og forsyner de elektriske aktuatorer og sensorene. Det er A2G som skal forsyne VIMen ved sluttproduktet. 37

AVR Microchip Technology produserer elektroniske komponenter. Selskapet er spesielt kjent for AVR mikrokontrollerfamilien. 18, 19, 21, 38, 40, 53, 54

Kretskort (PCB) : ”Innen elektronikk brukes kretskort til montering av elektroniske komponenter. Foruten å samle og holde komponentene fast er kretskortets oppgave å lage elektriske forbindelser mellom komponentenes bein.”(Wikipedia 2015) . 16, 19, 26, 30, 55–57, 60

STM STMicroelectronics produserer elektroniske komponenter. Selskapet er spesielt kjent for mikrokontrollerene STM32 basert på ARM-arkitektur . 11–13, 16, 17, 19–21, 25, 36, 41, 54

STM32Fx Mikrokontrollerfamilien som er benyttet for prosjektet. 60

Utlegg Utlegg er filene og designet av mønsterkortet. 21

Forkortelser

ESD Electro Static Discharge. 21, 23

ESR Equivalent Series Resistance. 29

MTBF Mean time between failures. 15, 51, 60, 64, XV

MTTF Mean Time To Failure. 15

NTNU Norges tekniske naturvitenskaplige universitet. II

PCB Mønsterkort. 16

RSS Residual Sum of Squares. 46

SCM subsea control module. 1–3, 14, 24

SEM Subsea electronics module. XII

SIIS Subsea Instrumentation Interface Standardisation. 4, 14, 21, 32, 33, 36, 48, 52, III, IV

SPI Serial Peripheral Interface. 13

TSC Touch Sensing Controller. 11, 16, 30, 55, 60

VIM Vanninntrengningsmonitor. 2, 5, 14, 15, 33–37, 42, 45, 46, 48–51, 53, 55, 59, 64, III, IV, XII

Matematiske symboler

C : Kapasitans

A : Areal

d : Distanse eller avstand

Q : Ladning

V : Spenning

b : Bredde

T : Temperatur

t : Tid

$h()$: Målt høyde til en vilkårlig berøringsplate. $h \in [0, 9]mm$

$H()$: Høyden til hele målesystemet. $H \in [0, 216]mm$

$h[i]$: Målt høyde til berøringsplate i . $i \in [0, 23]$

h_p : Høyden til en berøringsplate. For prototype I og prototype II er $h_p = 8mm$

ε_0 : Permittiviteten til vakuum. $\varepsilon \stackrel{\text{def}}{=} 8.854 \cdot 10^{-12}F m^{-1}$

ε_r : Relativ permittivitet til et stoff eller matereale

ε : Permittivitet. $\varepsilon \stackrel{\text{def}}{=} \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$

C_x : Den totale kapasitansen på berøringsplaten og banen

C_s : Samplingskondensatoren. For prototype II er $C_s = 390 nF$

$C_{l,gnd}$: Parasittisk kapasitans fra baner og berøringsplate direkte til jordplanet

$C_{l,w}$: Kapasitans fra baner og berøringsplate til vannet

$s()$: Empirisk standardavvik.

$RMS()$: Root Mean Square. Tilnærmet kan man si at: $RMS() \approx s()$

μ_0 : Forventningsverdi til nullhypotese

\bar{X} : Gjennomsnittsverdien til X . $\mu(X) \approx \bar{X}$ hvis X kan representeres som ett tall

R : Korrelasjonskoeffisient. $R \in [-1, 1]$

$MTBF_{total}$: Den totale MTBF for systemet

$V_{C_s}(n)$: Spenningen på samplingskondensatoren ved steg n . $V_{C_s} \in [0, V_{dd}]$

V_{dd} : Spenningen som mikrokontrolleren benytter. $V_{dd} \approx 3.3V$

V_{IH} : Spenningen hvor mikrokontrolleren trigger og stopper samplingsprosedyren.

$V_{IH} \in [(0.445 \cdot V_{dd} + 0.398), V_{dd}]$ (STMicroelectronics 2017, s. 79)

$V_u(n)$: Avviket av spenning på samplingskondensator sammenlignet med V_{dd} ved steg n .

$V_u(n) \stackrel{\text{def}}{=} V_{dd} - V_{C_s}(n)$

n : Antall steg samplingsprosessen har tatt. Hypotetisk er $n \in \mathbb{N}$, men på grunn av begrensninger til STM-mikrokontrolleren er: $n \in [0, 16383] \cap \mathbb{N}$.

1 Innledning

1.1 Oppdragsgiver: Proserv

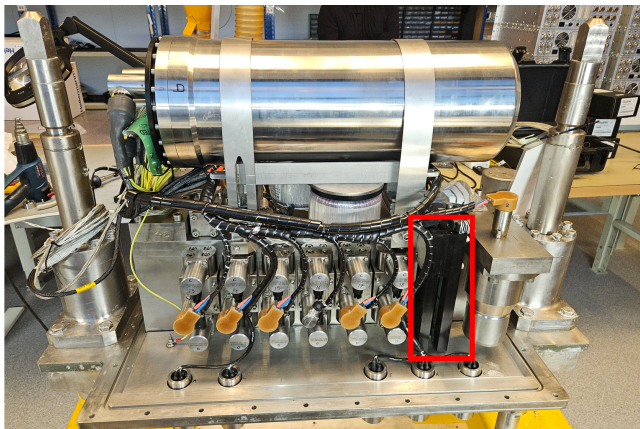
Proserv er et selskap som tilbyr produkter og tjenester innenfor energibransjen. Selskapet har spesialisert seg på systemer, som gir kundene mulighet til å kontrollere og overvåke anleggene sine. Videre tilbyr de også tjenester innen optimalisering og dataanalyse (vedlegg 8.7). Proserv leverer løsninger som kan integreres inn i eksisterende systemer. De har som hensikt å prioritere oppgraderinger og utvidelse istedenfor å erstatte. Dette går ut på å utvide funksjonalitet og kapabilitet, samtidig som det minimerer kostnader, tidsbruk og miljøpåvirkninger (Proserv udatert[c]). Proserv har over 60 år bransjeeerfaring og har laget over 300 subsea control moduler (SCM) fordelt på over 130 prosjekter (Proserv udatert[a]). Det er et multinasjonalt selskap med hovedkontor i Skottland (Proserv udatert[b]).



Figur 1: Proserv sin logo. Logoen er hentet fra (Sandler 2019).

1.2 Prosjektbeskrivelse

I Proservs subsea control module (SCM), representerer vanninntrengning en betydelig utfordring. I det mest alvorlige scenarioet kan dette resultere i systemfeil, noe som igjen kan medføre driftsstans. Proserv ønsker en måte å oppdage og overvåke hvor raskt en eventuell vanninntrengning skjer, for å kunne planlegge vedlikehold eller utskiftning. Dagens løsning benytter en kapasitiv måling med to alarmnivåer. Denne løsningen gir ingen indikasjon på hastigheten av vanninntrengning, eller det nåværende nivået av inntrengning. De har også utviklet en prototype med kapasitiv måling, som kan måle i et kontinuerlig område (figur 2b). Denne prototypen ga et ustabil signal på grunn av støy fra både strømforsyningen og fra omgivelsene (vedlegg 8.7). Vanninntrengingsmonitoren (VIM) må kunne skille mellom olje og vann. Dette er på grunn av at SCM er fylt med dielektrisk olje for trykkompensasjon. Oppdragsgiver har også noen spesifikasjoner de ønsker at VIM skal oppfylle (tabell 1).



(a) Innsiden av en SCM med prototype av kontinuerlig kapasitiv måling (markert rødt).



(b) Prototype med kapasitiv måling laget av Proserv.

Figur 2: SCM og proserv sin prototype VIM

1.3 Problemstilling

Problemstilling fra forprosjektet:

"Hensikten med prosjektet er å forbedre eller erstatte dagens løsning for å gi mer nøyaktig, presis og pålitelig informasjon om vanninntrengingen."(Vedlegg 8.7)

1.4 Prosjektmål

Effektmål, resultatmål og prosessmål er hentet fra forprosjektet (vedlegg 8.7).

1.4.1 Effektmål

Effektmålet som er ønsket, er å redusere den totale nedetiden til anleggene leverert av Proserv (SCM). Bedre informasjon om vanninntrengning, vil gjøre det mulig å planlegge utskiftingen av defekte moduler i god tid, og dermed unngå nedetid og produksjonsstans.

1.4.2 Resultatmål

Gjennom prosjektet skal det utvikles et produkt som oppfyller spesifikasjonene som er gitt av oppdragsgiver. Tabell 1 viser spesifikasjonene knyttet til oppgaven. Her inkluderes spesifikasjoner for måleområdet til produktet, samt krav til målenøyaktighet og presisjon. Det er også spesifisert fysiske krav til produktet, som omhandler temperatur, trykk og toleranse til sjøvann. Til slutt må produktet overholde industristandarden SIIS level 1.

Beskrivelse	Krav	Kommentar
Grensesnitt (Interface)	SIIS Level 1 Interface (4-20mA)	Dette er en industristandard som er mye brukt for eksterne sensorer i Subsea-instrumentering. Denne standarden muliggjør strøm- og datatilgang via et enkelt kablepar uten behov for avanserte modulasjonsteknikker.
Målområde (Range)	0-20cm	Ikke et definitivt krav.
Nøyaktighet (Accuracy)	+4 mm (2%)	Målenøyaktighet kan kalibreres, derfor kan det gis noe rom her.
Målepresisjon (Precision/Zero Drift)	+1 mm (+0.5%)	Vi må kunne stole på at vi oppdager forandringer, men det er ikke et definitivt krav.
Temperatur	-18 til +70°C	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Trykk	1-350 bar	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Vann	Må tåle sjøvann	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
MTBF (Mean time between failures)	25år	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.

Tabell 1: Spesifikasjoner med tilførende kommentarer fra Proserv.

1.4.3 Prosessmål

Gruppens hovedmål er å levere et godt arbeid. Et annet viktig mål er å få innsikt i arbeidslivet og erfaringer knyttet til å jobbe ute i en bedrift. Gruppen ønsker å tilegne seg erfaring relatert til å jobbe med et prosjekt som er av et større omfang enn en har gjort tidligere, samt bli bedre på utvikling av elektroniske produkter.

1.5 FNs bærekraftsmål - relevante mål og potensielle effekter

”FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å imøtekomme dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov.” (FN 2024)

For denne bacheloroppgaven ble spesielt FNs bærekraftsmål 9 ansett som relevant. Det er formulert slik:

”Bygge solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon.” (FN 2023)

Delmål 9.4 av bærekraftsmål 9 er spesielt relevant for oppgaven, og er formulert slik:

”Innen 2030 oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk av ressurser og mer utstrakt bruk av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser, der alle land gjør en innsats etter egen evne og kapasitet.” (FN 2023)

VIM gir informasjon om tilstanden til systemet, noe som medfører muligheten til å planlegge vedlikehold av systemet i god tid. Det vil da være mulig å samkjøre vedlikehold med annet arbeid, som kan spare bedrifter for kostnader, og miljøet for forurensning gjennom å redusere ressursbruk.



Figur 3: FNs bærekraftsmål 9. Bildet er hentet fra (FN udatert)

1.6 Rapportens oppbygning

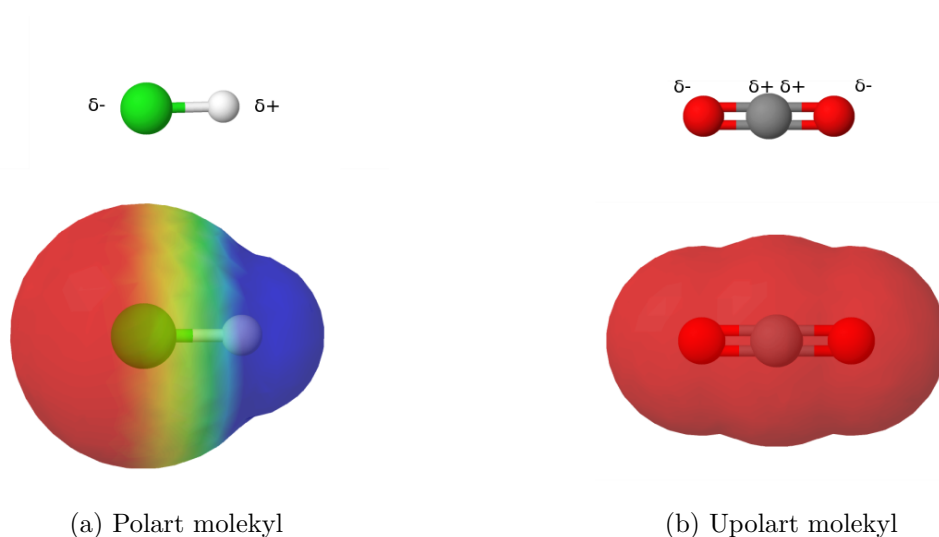
Rapporten er delt inn i fem kapitler: Teori, metode, resultater, diskusjon og konklusjon. I teori vil det bli presentert relevant informasjon og nødvendige forkunnskaper for å kunne forstå prosjektet. Metode er videre delt inn i utstyr, prototype, design og utvikling, programvare, kalibrering, samt testing og validering. Kapitlet skal gi innsikt i forløpet til prosjektet og utviklingen av produktet. Resultatkapitlet er delt inn i to deler. Der det første delkapitlet presenterer resultatene fra prototype I, og det andre delkapitlet legger frem resultatene fra testing av prototype II. Diskusjonen er det fjerde kapitlet. Hvor resultatene og prosjektet blir drøftet. Til slutt, avsluttes rapporten med en konklusjon.

2 Teori

I disse kapitlene vil teori som er nødvendig for å forstå målemetoden bli presentert. Det vil også være teori angående protokoller og signaler benyttet i prototype II.

2.1 Polare og upolare molekyl

Molekyler kan forekomme som både polare og upolare. Polare molekyl har en skjevfordeling i positive og negative ladninger. Upolare molekyl har symmetri i fordelingen av negative og positive ladninger. Om molekyl er polare eller upolare er bestemt av hvordan molekylet er bygd opp og hvilke grunnstoffer det består av (Bedin 2019). En illustrasjon av hvordan et polart og upolart molekyl ser ut finnes i figur 4.

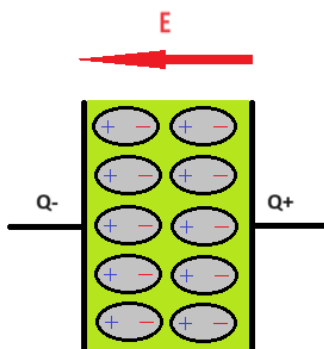


Figur 4: Polart og upolart molekyl illustrert med positiv og negativ pol. Figur hentet fra (Bergwerf 2024).

2.2 Elektrisk polarisering

Elektrisk polarisering forekommer når et materiale påsettes et elektrisk felt. Både polare og upolare materialer kan polariseres, men de polariseres på forskjellig vis. Ved å påføre polare materialer et elektrisk felt vil molekylene orientere seg etter feltet slik at polene til molekylene er orientert i en felles retning (Sandstad 2018). I upolare molekyler, vil det elektriske feltet bevege de positive og negative ladningene i materialet i motsatt retning (Skaar 2021a). Når molekylene har orientert seg etter det elektriske feltet vil elektriske krefter fra det polariserte materialet motvirke det elektriske feltet påsatt materialet (Sandstad 2018).

Figur 5 viser polarisering av et dielektrikum i en kondensator. Det er tydelig at molekylene er orientert med polene i samme retning. Dette medfører en dannelse av en systematisk motsatt ladning i nærheten av kondensatorplatene og det elektriske feltet over dielektrikumet vil bli svakere.



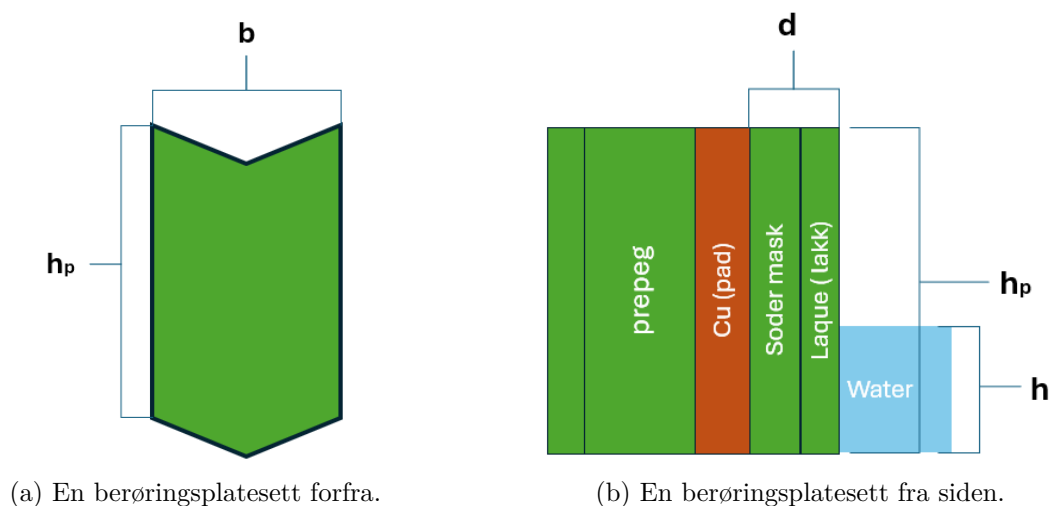
Figur 5: Polarisering av et dielektrikum i en kondensator.

2.3 Permittivitet

Permittivitet er en enhet for å beskrive hvor lett et materiale lar seg polarisere. Dette vil si hvor stort det elektriske feltet påtrykket et materiale må være for å få en gitt polarisering (Skaar 2021b). Permittivitet betegnes med den greske bokstaven ϵ og bruker relativ permittivitet som konstanter for spesifikke stoffer. Den relative permittiviteten er en variabel for forholdet mellom permittiviteten til ett stoff og permittiviteten til vakum. Denne variabelen kan variere avhengig av faktorer som temperatur, trykk, feltets frekvens og materialet sin renhetsgrad (Sandstad 2018).

2.4 Kapasitans

Kapasitans er evnen til å oppta elektrisk ladning. I en parallellplate-modell er kapasitans bestemt av plateareal, distansen mellom platene og permittiviteten til materialet mellom platene (Skaar og Sandstad 2021).



Figur 6: Oversikt over hvordan en berøringsplateser ut med tilhørende variabler. **Merk:** formelene som er benyttet i kapittel 2.7 tar utgangspunkt i en rektangulær berøringsplate.

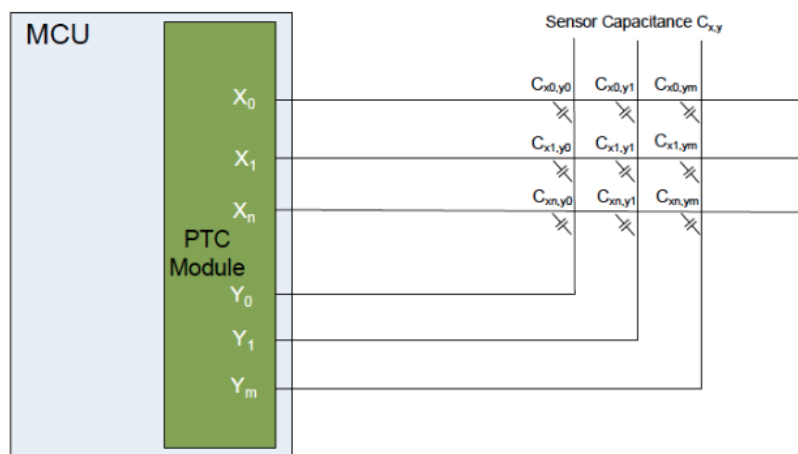
Formel 1 og 2 viser at kapasitans direkte påvirker hvor mye ladning en kondensator kan lagre. Formlene er hentet fra (Skaar og Sandstad 2021).

$$C = \frac{A \cdot \varepsilon}{d} \rightarrow C = \frac{A \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{d} \quad (1)$$

$$Q = C \cdot V \quad (2)$$

2.5 Mutual-cap

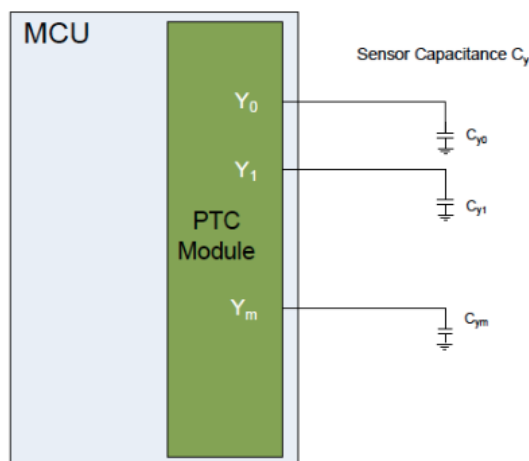
Mutual-cap bruker to pinner hos mikrokontrolleren for å måle kapasitans. Sammen danner de en kondensator på berøringsoverflaten som er avskilt med en viss avstand. For eksempel kan et signal sendes fra X_n og måles ved Y_n (figur 7). Mutual-cap kan måle kapasitans som en matrise ved å måle for ulike terminaler i både x- og y-retning. På denne måten kan posisjon måles på et to-dimensjonalt plan (Microchip 2023).



Figur 7: Oppsett av mutual-cap. Berøringsplatene er koblet til både utganger og innganger. Figuren viser også hvordan mutual-cap kan brukes i matriseform. Figur hentet fra (Microchip 2023).

2.6 Self-cap

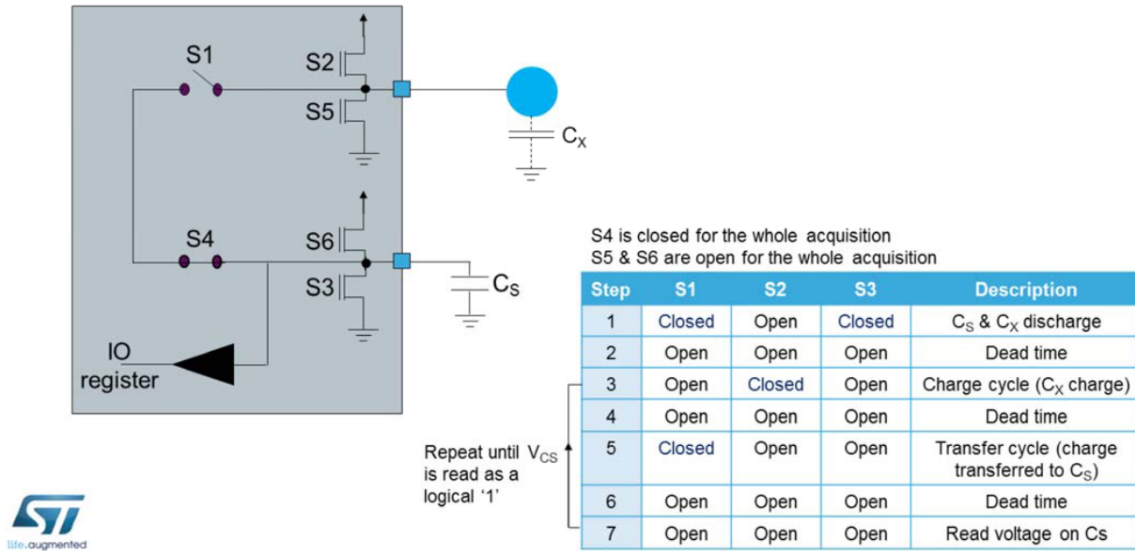
Self-cap er en metode for å måle kapasitans. Ved bruk av self-cap fungerer hver berøringsplate (C_y i figur 8), som en kondensator og de blir målt hver for seg. Den bruker kun en berøringsplate for å måle tilsynelatende kapasitans mellom platen og sin egen jord (Clearly 2020).



Figur 8: Oppsett av self-cap. Hver berøringsplate er koblet til en pinne på mikrokontrolleren. Figur hentet fra (Microchip 2023).

2.7 Ladingsoverføringsbasert måling

Beregningene fra dette kapitlet bygger på tidligere presenterte formler sammen med sekvensen for en ladingsoverføringsbasert måling beskrevet i figur 9.



Figur 9: Oversikt over steg involvert for at Touch Sensing Controller (TSC) skal gjøre en kapasitiv måling. Med "Repeat until V_{C_s} is read as logical 1" menes: "repeat until $V_{C_s} > V_{IH}$ ". Ved steg 3 blir C_x ladet opp til V_{dd} . Figuren er hentet fra (STMicroelectronics udatert).

STM-mikrokontrolleren baserer seg på ladingsoverføring mellom berøringsplaten (C_x) og en samplingskondensator (C_s). Før kondensatorene blir koblet sammen (steg 4, figur 9) vil ladningen (formel 2) til C_x være $C_x \cdot V_{dd}$, mens C_s har ladningen ved forrige tidssteg ($C_s \cdot V_{C_s}(n)$). Dette gir at V_{C_s} ved sammenkobling (neste tidssteg) kan skrives som:

$$V_{C_s}(n+1) = \frac{C_x \cdot V_{dd} + C_s \cdot V_{C_s}(n)}{C_x + C_s} \quad (3a)$$

Om man endrer synsvinkel og heller ser på avvik fra V_{dd} kan man redusere uttrykket. Endringen i synsvinkel medfører at $V_{dd} = 0$.

I tillegg defineres avviket som $V_u(n) = V_{dd} - V_{C_s}(n) = V_{C_s}(n)$. Dette gir:

$$V_u(n+1) = \frac{C_x \cdot 0 + C_s \cdot V_u(n)}{C_x + C_s} \rightarrow V_u(n+1) = \frac{C_s}{C_x + C_s} \cdot V_u(n) \quad (3b)$$

Ved å løse rekken for $V_{C_s}(0) = 0$, altså $V_u(0) = V_{dd}$, blir uttrykket:

$$V_u(n) = \left(\frac{C_s}{C_x + C_s} \right)^n \cdot V_{dd} \quad (3c)$$

STM benytter en spenningsgrense for å angi et resultat. For å bestemme C_x når $V_{C_s}(n) = V_{IH}$ kan man skrive om til:

$$V_{dd} - V_{IH} = \left(\frac{C_s}{C_x + C_s} \right)^n \cdot V_{dd} \Rightarrow C_x = \left(\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}} \right)^{-\frac{1}{n}} - 1 \right) \cdot C_s \quad (3d)$$

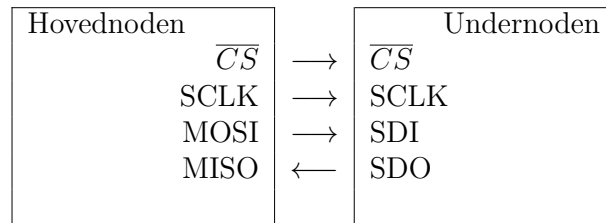
For å bestemme den målte høyden, er det nødvendig å gå fra kapasitansen til berøringsplatene C_x , til en høyde h . Forenklet vil C_x være en sum av parasittisk kapasitans til jord ($C_{l,gnd}$) og kapasitans til jord gjennom vannet ($C_{l,w}$). Hvis det antas at den parasittiske kapasitansen $C_{l,gnd}$ ikke er avhengig av vannhøyde og $C_{l,w}$ følger formel 1 for et rektangulært areal, hvor arealet er avhengig av vannhøyden (se figur 6), vil følgende oppnås:

$$C_x = C_{l,gnd} + C_{l,w} = C_{l,gnd} + \frac{hb \cdot \varepsilon}{d} \rightarrow h(n) = \left(\left(\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}} \right)^{-\frac{1}{n}} - 1 \right) C_s - C_{l,gnd} \right) \frac{d}{b\varepsilon} \quad (3e)$$

2.8 Serial Peripheral Interface (SPI)

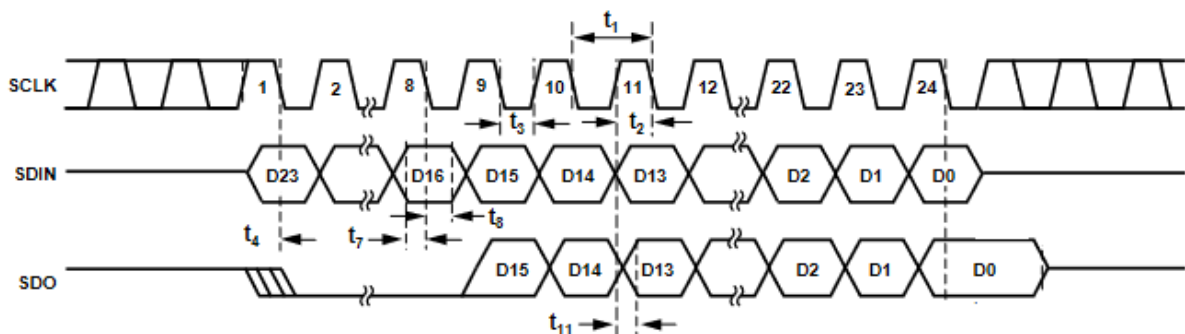
SPI er grensesnittet som brukes mellom STM32 og AD5421. SPI er et synkront, full dupleks hoved-undernode-basert grensesnitt. Dataene fra nodene synkroniseres på stigende eller fallende flanke. Begge nodene kan overføre data samtidig. SPI-grensesnittet kan være enten 3-leder eller 4-leder (Dhaker 2018).

Figur 10 viser hvordan en hoved- og undernode er koblet sammen. Data som overføres mellom hoved- og undernoden synkroniseres med klokken (SCLK) som er generert av hovednoden. Det kan bare være en hovednode, men det er mulighet til å bruke flere undernoder (Dhaker 2018).



Figur 10: Kobling mellom hoved- og undernode.

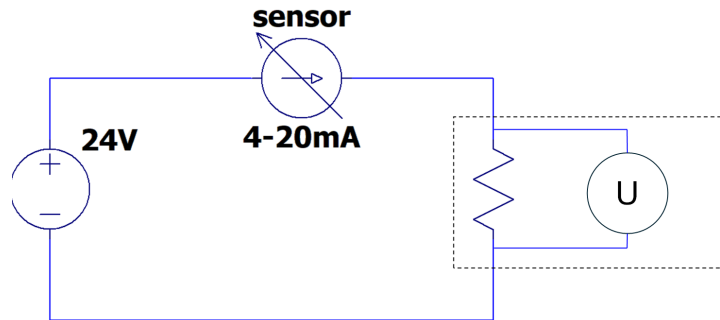
Hovednoden bruker \overline{CS} til å velge undernoder. \overline{CS} er normalt et aktivt lavt signal og trekkes høyt for å koble fra undernodene fra SPI-bussen. For å koble til flere undernoder, må det brukes et eget \overline{CS} signal for hver undernode. Linjene som brukes til overføring av data er MOSI og MISO. MOSI overfører data fra hovednoden til undernoden og MISO overfører data fra undernoden til hovednoden. MOSI og MISO kan begge overføre data samtidig (Dhaker 2018). Figur 11 viser spesifikasjonene til AD5421. Fra figuren kan man se at ”sampling” skjer på negativ klokkeflanke og endring av MOSI (SDIN) og MISO (SDO) skjer på positiv klokkeflanke. Dette tilsvarer SPI modus 1 (Dhaker 2018). I STM32CubeIDE tilsvarer dette **Clock Polarity** ”Low” og **Clock Phase** ”2 edge”.



Figur 11: SPI spesifikasjon for AD5421. Figuren er hentet fra (Analog Devices 2018).

2.9 SIIS 1 grensesnitt

For overføring av analog sensordata er en 4-20 mA strømsløyfe, SIIS 1 grensesnitt, en vanlig metode for å sende sensordata fra måleobjektet (Herceg 2020). Siden SIIS 1 er et strømsignal vil den målte strømmen i et hvert punkt i strømsløyfen være lik. dette gjør den godt egnet til lengere strekkninger. figur 12 viser et eksempel på hvordan et SIIS 1 grensesnitt kan kobles opp.



Figur 12: Mulig oppkobling av SIIS 1 grensesnitt.

Kretsen i figuren består av en spenningsforsyning (venstre), VIM-sensoren som sender et signal (midten) og en kontroller (SCM) som måler signalet(høyre). For VIM vil en høyde fra 0 til 220mm skaleres til et 4-20mA signal. En oversikt over fordeler og ulemper med SIIS 1 grensesnitt er satt opp i tabellen under:

Fordeler	Ulemper
SIIS Level 1 (4-20mA strømsløyfe) er industristandarden for eksterne sensorer i Subsea-instrumentering (OTM Networks udatert).	En strømsløyfe kan bare overføre ett prosessignal.
Det er det enkleste alternativet å koble til og konfigurere.	For å overføre flere prosessignaler er det behov for flere sløyfer.
Strømsløyfen bruker mindre ledninger og tilkoblinger enn andre signaler, og reduserer dermed de initielle oppsettkostnadene betydelig.	Mye ledning kan føre til problemer med jordsløyfer hvis uavhengige sløyfer ikke er riktig isolert.
Bedre for å reise lange avstander, ettersom strømmen ikke forringes over lange forbindelser som spenning.	Isolasjonskravene blir eksponentielt mer kompliserte når antall sløyfer øker.
Strømsløyfen er mindre følsomt for elektrisk bakgrunns støy.	
4 mA tilsvarer en nullverdi og det er derfor enkelt å oppdage en feil i systemet når strømmen blir lavere enn 4mA.	

Tabell 2: Fordeler og ulemper ved bruk av SIIS 1 grensesnitt (Paonessa og McDuffee 2015)

2.10 Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean time between failures (MTBF) angir den gjennomsnittlige tiden mellom feil. Siden VIM i utgangspunktet ikke kan byttes er Mean Time To Failure (MTTF) et mer riktig begrep. For systemer av flere underliggende komponenter, vil systemet sin MTBF være avhengig av komponentene sin MTBF. Gitt et system av flere komponenter, hvor feil på én komponent gjør at systemet feiler blir MTBF og MTTF lik. dette gir en MTTF/MTBF (Iyer 1999):

$$MTTF_{total} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_i}} \quad (4)$$

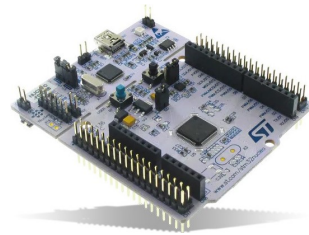
3 Metode

I metodekapittelet vil vi gå gjennom utstyr, metode og design for utvikling av prototype I og II, samt programvare og metodikk for kalibrering, testing og validering.

3.1 Utstyr

3.1.1 STMicroelectronics STM32 Nucleo utviklingskort

STM32 Nucleo er et utviklingskort som er designet for brukere som ønsker å bli kjent med STM32 mikrokontroller-familien. Versjonen som ble benyttet var NUCLEO-F091RC. Dette er en 32 bit mikrokontroller som er godt egnet til rask prototyping (STMicroelectronics 2021). Kortet har blant annet en berøringsfølende kontroller (TSC). TSCen har 18 GPIO-pinner som er fordelt over 6 analoge I/O-grupper som kan brukes til kapasitive målinger (STMicroelectronics 2017).



Figur 13: STM32 Nucleo. Bildet er hentet fra (Mouser udatert[b]).

3.1.2 AVR128DA48 curiosity nano utviklingskort

AVR128DA48 er en mikrokontroller produsert av Microchip som har Peripheral Touchsense Controller (Microchip 2020). Mikrokontrolleren ble brukt i prototypefasen for å teste dens evner til å måle kapasitans på berøringsplatene til prototype I. Utdypning av dette kan finnes i 5.1.1.

3.1.3 Altium Designer 24

Altium Designer er en designprogramvare som brukes til å utvikle kretskort. Programmet tilbyr et brukervennlig designmiljø, som inneholder mulighet til å lage alle aspekter i en PCB-designprosess. Dette innebærer blant annet skjematikk, PCB-layout, komponentvalg, og generering av produksjonsfiler (Altium Limited udatert).

3.1.4 STM32CubeIDE og STM32Cube monitor

STM32CubeIDE er et integrert utviklingsmiljø laget av STMicroelectronics. Programmet ble brukt til programmering og skriving av kode for STM32-mikrokontrolleren. STM32Cube monitor ble benyttet for monitorering og samling av data.

3.1.5 Excel

Programmet ble brukt til å notere resultater, behandle data og plote grafer.

3.1.6 Matlab

Matlab har blitt brukt til å plote resultater i kapitel 4, og regne ut regresjonsmodellen i kapitel 4.2.4

3.1.7 WaveAce 212 og PICOScope 5444D

WaveAce 212 var oscilloscopet som ble benyttet i tidlig design og testing. Den ble byttet ut med PICOScope 5444D på grunn av ustabilitet. PICOScope 5444D ble benyttet under testing og validering av program, samt benyttet for å måle spenninger og lese SPI-datapakker.

3.1.8 JLCPCB

JLCPCB er et firma som produserer mønsterkort, og ble benyttet til å produsere mønsterkort til prototype I og II.

3.1.9 Weller WX 2 Soldering Station

For å lodde komponenter på mønsterkortet ble det benyttet Weller WX 2 Solidering Station.

3.1.10 Autodesk fusion

Autodesk Fusion er et program beregnet for 3D-design. Programmet ble benyttet til å lage 3D-modeller til testoppsettet, som senere ble 3D-printet.

3.2 Prototype I

I forprosjektet ble bacheloroppgaven avgrenset til kapasitive målemetoder. Etter forprosjektet var det planlagt å jobbe med teori. I denne perioden ble det satt fokus på å undersøke hvordan kapasitiv berøringsplater fungerer. Andre kapasitive målemetoder ble forkastet fordi det ville tatt for lang tid å undersøke. For å undersøke om kapasitiv touch fungerte til formålet ved å lage en prototype. Prototype I (figur 15) ga mulighet for å teste både self-cap og mutual-cap med ulike mikrokontrollere.

3.2.1 Self-cap

I design av prototype I ble det utfordrende å bestemme berøringsplatearealet. Dette var på grunn av at det var begrenset tilgjengelige ressurser om dette. Gruppen måtte gjøre vurderinger, beslutninger, og foreta kvalifisert gjetning basert på et begrenset informasjonsgrunnlag. Størrelsen på berøringsplatene ble bestemt ut i fra tilgjengelig informasjon om touch design.

STMicroelectronics anbefaler at touch-sensing kapasitans (C_x) er på rundt 10 pF (STMicroelectronics 2022a) med berøringsplatediameter på 6 mm (STMicroelectronics 2024c). Formel 1 for kondensatorer ble brukt for å beregne kapasitans. I modellen for kapasitansen til C_x , ble det antatt at vann vil oppføre seg som en leder, mens loddemaskene som skiller platene (jord og berøringsplate) er dielektrikumet. Det gir en kapasitans på ca. 50 pF med et areal på 20 mm². Dette vil tilsvare den maksimale kapasitansen på berøringsplaten. AVR sin maksimale kapasitans ved self-cap er 64pF (Microchip 2020).

Valget falt på 20 mm² i berøringsplateareal fordi den maksimale kapasitansen på platen vil være lavere enn den maksimale målekapasitansen til AVR, men fortsatt høy nok til at hele måleområdet til AVR vil benyttes. Ledningsbanene ble designet så smale som mulig på et tolagskort fra JLCPCB (0.127 mm (JLCPCB udatert)) etter anbefaling fra databladene til ST (STMicroelectronics 2024c, s. 22). Mønsterkortet ble designet med et masket jordplan, som var anbefalt i databladet for å redusere støy (STMicroelectronics 2024c, s. 24).

3.2.2 Mutual-cap

Størrelsen på berøringsplatene med mutual-cap, ble bestemt ut i fra hvor mange det var plass til i høyden på mønsterkortet og antall kanaler tilgjengelig. Den eneste modifikasjon på designet var berøringsoverflaten som ble stilt på skrå. Ideen bak dette var å få forskjellige målinger i bredden og dermed bedre nøyaktighet. Ledningsbaner og jordplan ble designet etter samme prinsipp som med self-cap.

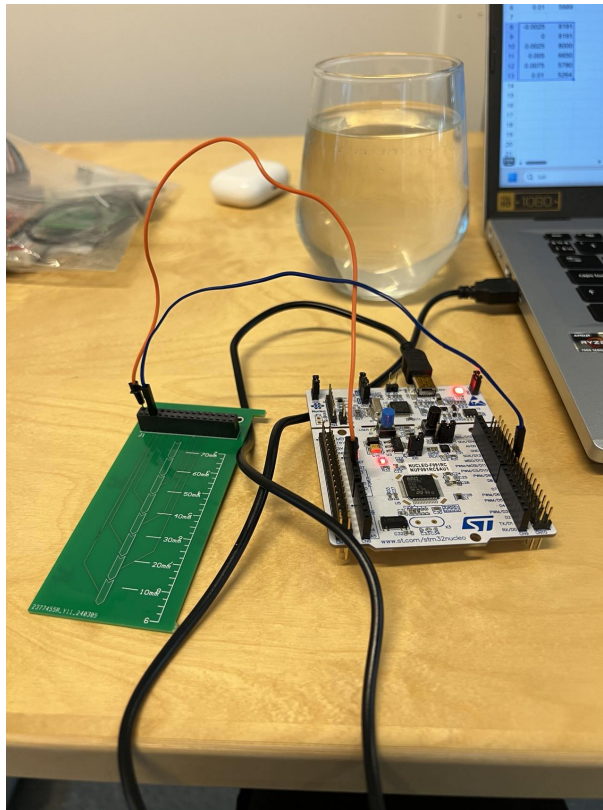
3.2.3 Valg av mikrokontrollere

For prototype I ble det vurdert to forskjellige mikrokontrollere. Det var AVR128 og STM32. Disse ble valgt fordi bachelorgruppen har erfaring med AVR128 fra et tidligere emne og STMicroelectronics har god dokumentasjon på produktene sine. STM32 bruker ekstern samplingskondensatorer som gjør prototyping enklere, ved å kun bytte en kondensator istedenfor berøringsplate på et mønsterkort. Det finnes flere mikrokontrollerprodusenter som lager mikrokontrollere med berøringsfunksjoner, men det er ikke hensiktsmessig å bruke for mye ressurser på mikrokontrollervalg.

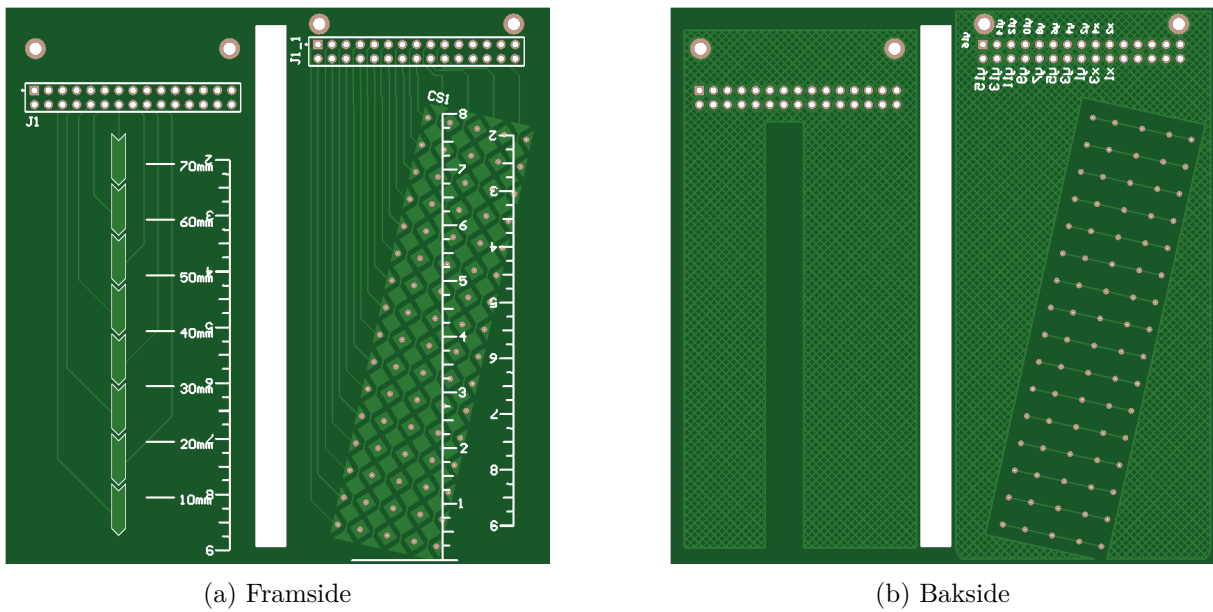
3.2.4 Test av prototype I

For å teste prototype I ble det brukt koblingsbrett, ledninger og et glass fylt med vann fra springen. For å gi en høyde på vannet på prototypen ble den dyppet i glasset. Det ble ikke brukt olje under testen. Dette var på grunn av at olje og luft har tilnærmet lik relativ permittivitet sammenlignet med forskjellen mellom olje og vann.

Måleoppsettet inneholder flere usikkerheter. Den største og viktigste usikkerheten er at hender blir brukt til å bestemme hvor dypt prototypen skal være i vannet. Eksempler på feil som kan forekomme av dette måleoppsettet er at hendene kan riste, kretskortet kan holdes skjevt, dybden kan leses av feil, samt kognitiv bias til resultatene. Videre er systemet koblet opp med ledninger. Det introduserer usikre koblinger, kapasitans og støy til kretsen.



Figur 14: Testoppsett prototype I self-cap med STM.



(a) Framside

(b) Bakside

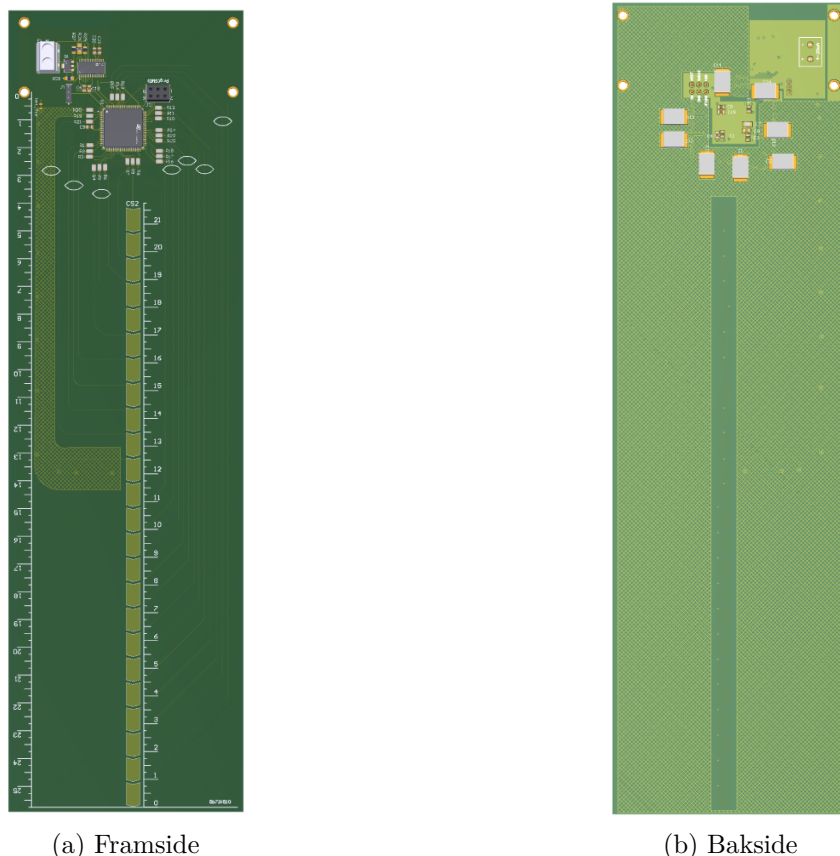
Figur 15: Mønsterkort Prototype I

3.3 Design, utvikling og testing av prototype II

3.3.1 Design- og utviklingsprosessen

Da gruppen var ferdig med å teste self-cap med AVR og STM ble det begynt på et nytt utlegg. Oppdragsgiveren anbefalte å raskt lage en mer realistisk prototype. Prototype II ble basert på STM på grunn av resultatene fra prototype I. Starten av design- og utviklingsperioden skjedde i prototypefasen, siden mutual-cap ikke var ferdig undersøkt.

Designet av utlegget startet med valg av mikrokontroller. Videre ble komponentene som behøvdtes for at den skal fungere valgt ut. F. eks debug-terminal, avkoblingskondensatorer og motstander for å hindre konsekvensene av Electro Static Discharge (ESD). Testene av prototype I ga et grunnlag for valg av berøringsplatstørrelse og samplingskondensatorer. Videre var det valg av IC for SIIS grensesnittet og spenningsregulator. Det ble vurdert flere forskjellige ICer, men AD5421 ble valgt basert på anbefaling fra oppdragsgiver, kostnad, simplisitet, samt at den kan forsyne mikrokontrolleren med 3,3V. Mikrokontrolleren sin spenningsforsyning kan kobles av AD5421 og å bli forsynt av en annen ekstern strømkilde ved problemer med AD5421.



Figur 16: Prototype II

3.3.2 Designvalg

For design av mønsterkort er det en rekke med krav og anbefalinger som bør følges. I løpet av denne delen av rapporten blir designvalg presentert. Se Vedlegg 8.4 for skjematikk og Vedlegg 8.5 for mønsterkortet.

3.3.3 Mikrokontroller

For dette prosjektet ble **STM32F091VCT6** valgt som mikrokontroller. Den er produsert av STMicroelectronics. En av forskjellene mellom denne mikrokontrolleren og NUCLEO-F091RC, som ble brukt under test av prototype I, er at denne er i 100-pinne format og har 24 pinner fordelt over 8 analoge I/O-grupper som kan benyttes til kapasitive målinger (STMicroelectronics 2017).

Fordelen med dette er muligheten til å oppnå høyere presisjon og nøyaktighet ved å begrense usikkerheten til et mindre område. Ved å bruke ett større antall mindre berøringsflater vil det være med på å linearisere resultatet og gi bedre nøyaktighet. Hver individuelle berøringsplate utfører kvantitative målinger innenfor sitt eget måleområde, noe som tillater en nøyaktig bestemmelse av om vannet befinner seg under, på, eller over det spesifikke måleområdet. Dette er på grunn av at det er tydelig utslag i målingene når vannet er på berøringsplaten, og den har sin minste verdi når det ikke er vann til stede og maks verdi når vannet er over. Hvis vi ser på berøringsplaten over og under vil de ha tydelig utslag hvis vannivået er der.



Figur 17: STM32F091VCT6. Bildet er hentet fra (DigiKey udatert)

C1, C2, C3, C4, C5, C7, C8 og C19: Er avkoblingskondensatorer. De må plasseres så nærme som mulig eller under pinnene de tilhører (STMicroelectronics 2017).

C9: Det er plassert en 100 nF kondensator ved NRST-pinnen. Dette er for å beskytte mot parasittiske tilbakestillinger (STMicroelectronics 2017).

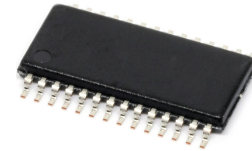
J1: Det er brukt en 3-pin header for å gjøre det mulig å koble ut AD5421 og bruke en ekstern 3,3V strømforsyning direkte til mikrokontrolleren.

J2: Det er brukt ett 6-pin tilkoblingspunkt for programmering av mikrokontrolleren.

R1-R24: For å redusere påvirkningen av ESD på linjene fra berøringsplatene er det anbefalt å bruke motstander på hver av banene, med en resistans fra $1\text{ k}\Omega$ til $10\text{ k}\Omega$, samt plassere de så nærme mikrokontrolleren som mulig. (STMicroelectronics 2024a).

3.3.4 Loop power supply

AD5421BREZ: Dette er en digital til analog omformer produsert av Analog Devices. Det analoge signalet er et strømsignal (se kapittel 2.9). AD5421 er designet for å gi høy presisjon i en liten størrelse, samt til en lav pris. Den har en regulert spenningsutgang som kan forsyne mikrokontrolleren. Regulatoren kan gi en regulert utgangsspenning på $1,8\text{V}$ til 12V (Analog Devices udatert).



Figur 18: AD5421BREZ. Bildet er hentet fra (Mouser udatert[a]).

C6 og C18: Er avkoblingskondensatorer. De må plasseres så nærme som mulig eller under pinnene de tilhører (Analog Devices udatert).

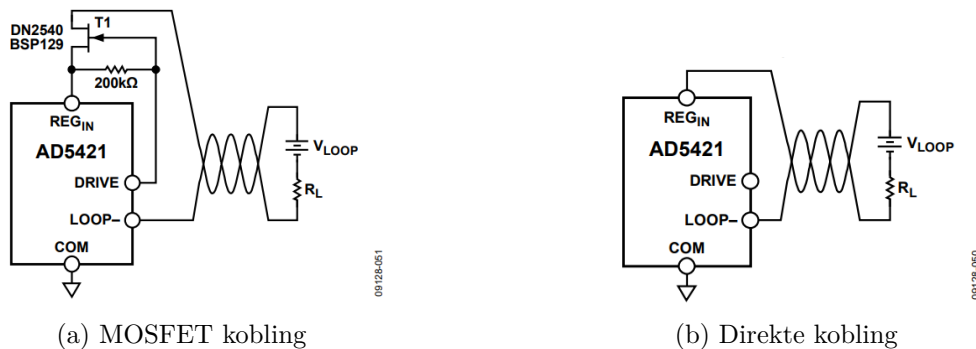
C20 og C21: 100 nF kondensatorer mellom REFOUT2, REFOUT1 og COM. Disse er anbefalt av databladet (Analog Devices 2018).

Q1 og R28: MOSFET-kobling, nærmere beskrevet i kapittel 3.3.5.

3.3.5 Kobling til loop power supply

AD5421 blir drevet av en 24V strømsløyfe hvor AD5421 styrer strømmen fra 4mA til 20mA. ICen kan håndtere en spenning på opptil 52V. Databladet foreslår to forskjellige metoder for å koble ICen til strømsløyfeforsyningen. Den ene er en direkte kobling og den andre er med en MOSFET. Figur 19b viser hvordan AD5421 kan kobles direkte til strømsløyfeforsyningen. Ved bruk av direkte kobling vil det verste tilfelle av effektdissipasjon på kortet bli 576 mW ($24V \cdot 24mA = 576mW$) (Analog Devices 2018).

En annen koblingsmetode er vist i figur 19a, hvor en N-kanal MOSFET er koblet mellom AD5421 og strømsløyfeforsyningen. Ved bruk av en N-kanal MOSFET holdes spenningsfallet over AD5421 på omtrent 12 V, og begrenser dermed det verste tilfelle av effektdissipasjon på kortet, med denne konfigurasjonen blir effektdissipasjon begrenset til 288 mW ($12V \cdot 24mA = 288mW$) (Analog Devices 2018).



Figur 19: Koblingsmetode for AD5421 til loop power supply. Figur er hentet fra (Analog Devices 2018)

3.3.6 Valg av loop current range

For å velge området for sløyfestrømmen, kobles RANGE0 og RANGE1-pinnene til henholdsvis COM og DV_{DD} -pinnene, slik det er vist i Tabell 3 (Analog Devices 2018). På prototypen er RANGE0 og RANGE1-pinnene koblet til DV_{DD} . Bakgrunnen til at området ble valgt til 3.8 - 21mA og ikke 4 - 20mA, er for å ha muligheten til å signalisere en feil til SCMen.

RANGE1 Pin	RANGE0 Pin	Loop Current Range
COM	COM	4mA til 20mA
COM	DV_{DD}	3.8mA til 21mA
DV_{DD}	COM	3.2mA til 24mA
DV_{DD}	DV_{DD}	3.8mA til 21mA

Tabell 3: Kobling for å velge loop current range. Tabellen er hentet fra (Analog Devices 2018).

3.3.7 Spenningsregulator

AD5421 har en integrerte spenningsregulator som forsyner AD5421. Den regulerte spenningsutgangen kan også brukes til å forsyne resten av kretsen. Utgangsspenningen kan reguleres fra 1,8V til 12V basert på oppkoblingen av REG_SEL0, REG_SEL1 og REG_SEL2 (se tabell 4). På prototype II er REG_SEL0 og REG_SEL1 koblet til DV_{DD} , samt REG_SEL2 koblet til COM. Dette medfører at den regulerte spenningen blir 3,3V. Ekstern tilgang til regulatorens utgang er REGOUT-pinnen på AD5421 (Analog Devices 2018) og det er denne STM mikrokontrolleren er koblet til.

REG_SEL2	REG_SEL1	REG_SEL0	Regulated Output Voltage (V)
COM	COM	COM	1,8
COM	COM	DV_{DD}	2,5
COM	DV_{DD}	COM	3,0
COM	DV_{DD}	DV_{DD}	3,3
DV_{DD}	COM	COM	5,0
DV_{DD}	COM	DV_{DD}	9,0
DV_{DD}	DV_{DD}	COM	12,0

Tabell 4: Koblingsvalg for å sette spenningsregulatorens utgang. Tabellen er hentet fra (Analog Devices 2018)

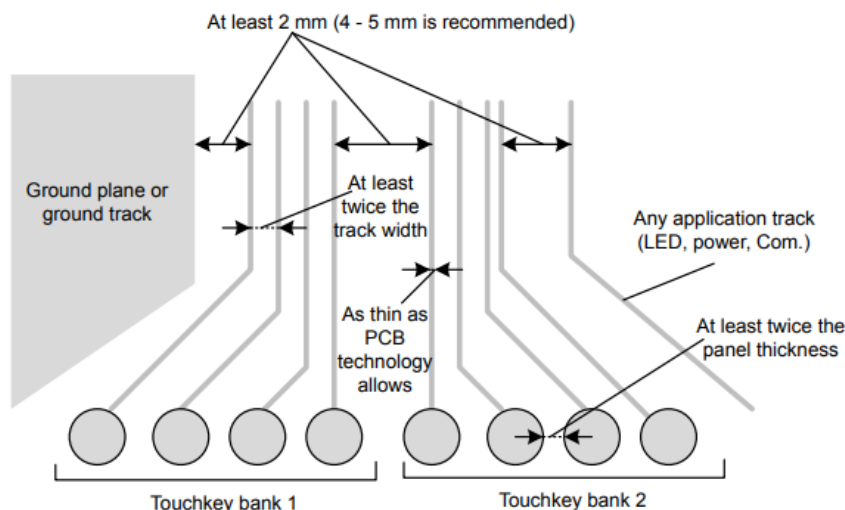
3.3.8 Lengde og bredde på baner til berøringsplatene

Den parasittiske kapasitansen til en bane avhenger av lengden og bredden. Det er derfor anbefalt med så korte (kortere enn 10 cm) og tynne baner som mulig for å redusere den parasittiske kapasitansen. Lange baner kan også skape en antenneeffekt som kan resultere i støy i systemet (STMicroelectronics 2024c).

JLCPCB kan produsere baner med bredde 0.127mm for 2-lags mønsterkort og 0.09mm for 4-lags mønsterkort (JLCPCB udatert).

3.3.9 Avstander

Når banene til berøringsplatene skal rutes er det noen anbefalinger fra STMicroelectronics. Figur 20 viser disse (STMicroelectronics 2024c).

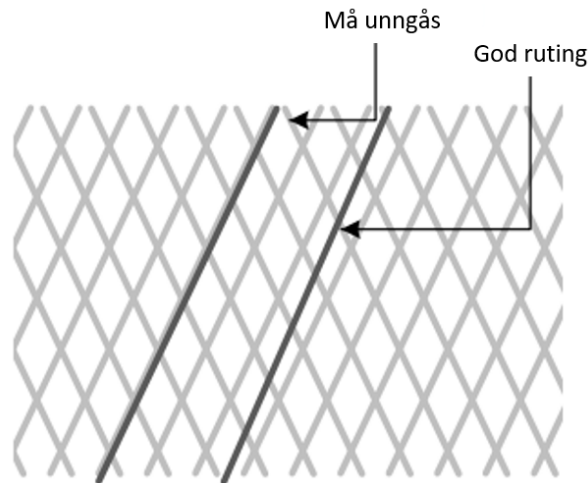


Figur 20: Anbefalte avstander for ruting. Figuren er hentet fra (STMicroelectronics 2024c)

3.3.10 Jordlag

Det anbefales av STMicroelectronics at berøringsplatene og jord rutes på samme lag, mens komponenter og andre baner rutes på andre lag. For å redusere støy er det vanlig å koble jord til begge sider av et flerlagskort, men en slik kobling vil redusere følsomheten til berøringsplatene. Årsaken til dette er at jordlagene vil øke kapasitansen til berøringsplatene. Dette fører igjen til at følsomheten vil bli redusert fordi forholdet $\frac{C_{l,w}}{C_{l,gnd}}$ minker (STMicroelectronics 2024c).

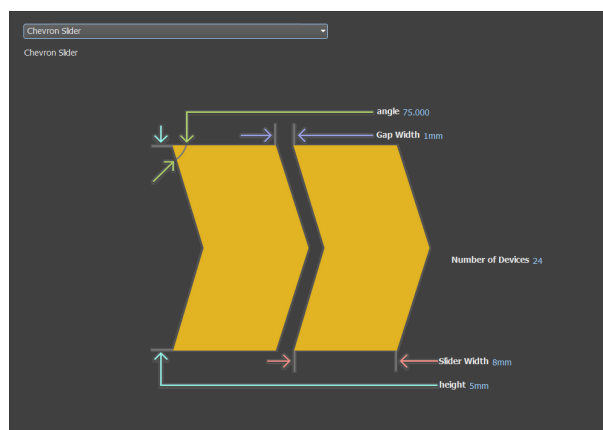
Anbefalingen fra STMicroelectronics er å gjøre et kompromiss mellom immunitet mot støy og følsomhet, ved bruk av delvis jording på begge sider av kretskortet. Anbefalingen er ett jordnett med 15% kobber på laget berøringsplatene er på og ett jordnett med 10% kobber på den andre siden av mønsterkortet (STMicroelectronics 2024c). Jordnettet er illustrert med grå linjer i Figur 21. For å oppnå så god sensitivitet som mulig er det noen retningslinjer for bruk av jordnett som må følges. Banene må krysse jordlinjer så lite som mulig og de må aldri følge jordlinjene (Figur 21), samt at det ikke skal være strømplan eller applikasjonssignal under berøringsplatene (STMicroelectronics 2024c). Prototypen benytter kun jordplan på underlaget og ruter banene på ett av innerlagene.



Figur 21: Jordnett og anbefalt ruting over jordnett. Figuren er hentet fra (STMicroelectronics 2024c).

3.3.11 Berøringsplater

For å dekke et måleområde på 200 mm ble det benyttet 24 berøringsplater. Hver berøringsplate er 8 mm høy og 5 mm bred. Mellom hver plate er det 1 mm mellomrom, men på grunn av formen på platene er det 0,33 mm mellom platene. Hver plate har et areal 40 mm². Dette gir et måleområde på 216 mm. Berøringsplatene er generert ved hjelp av Microchip mTouch.IntLib (Altium Limited 2023).



Figur 22: Konfigurasjon av berøringsplate - mTouchChevronSlider (Altium Limited 2023)

3.3.12 Strategier for ruting av berøringsplatene

For å teste forskjellige metoder med ruting og jordlag, ble noen av gruppene med berøringsplater konstruert annerledes. Det var derimot en del likheter i hvordan alle berøringsplatene ble rutet. Under banene til berøringsplatene ble det lagt opp jordlag med 20% dekning på bunnet. Ledningsbanene til alle berøringsplatene var 0,127 mm bred.

Gruppe 3

0: Rutet på topplaget. Lengden på banen er 20,46 mm.

1 og 2: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banene er henholdsvis 38,46 og 44,32 mm.

Gruppe 2

3 - 5: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banene er henholdsvis 51,12, 59,79 og 75,05 mm.

Gruppe 1

6: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banen er 98,28 mm.

7: Rutet på topplaget. Lengden på banen er 111,95 mm.

8: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banen er 127,52 mm.

Gruppe 7

9: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banen er 150,67 mm.

10 - 11: Rutet på det øvre indre laget og var dekket på bunn- og topplag av jordlag med 20% dekning. Lengden på hver av banene er henholdsvis 167,7 og 182,53 mm.

Gruppe 6

12 - 14: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banene er henholdsvis 136,39, 149,06 og 161,32 mm.

Gruppe 8

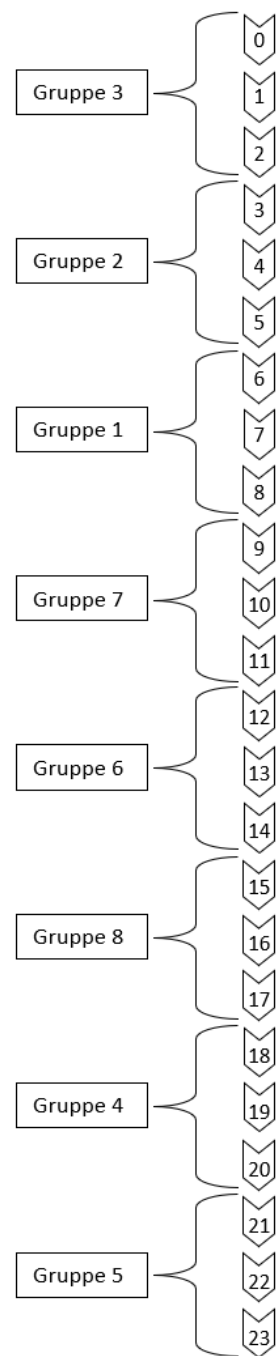
15 - 17: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banene er henholdsvis 176,11, 188,23 og 202,2 mm.

Gruppe 4

18 - 20: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banene er henholdsvis 215,62, 228,36 og 242,41 mm.

Gruppe 5

21 - 23: Rutet på det øvre indre laget. Lengden på banene er henholdsvis 285,38, 302,07 og 320,12 mm.



Figur 23: Plassering av berøringsplater og gruppene de tilhører

3.3.13 Samplingskondensator

Kondensatorene **C10-C17** er samplingskondensatorer. Samplingskondensatorer skal lagre ladningene fra berøringsplatene. Derfor er det viktig at de kan lagre uten tap og ikke bli forstyrret av faktorer som temperatur. De viktigste karakteristikkene som må tas hensyn til er temperaturkoeffisient, dielektrisk absorpsjon og dissipasjonsfaktor. Temperaturkoeffisient går ut på at et material sin elektriske motstand endrer seg med temperatur. Dielektrisk absorpsjon handler om usynkron avpolarisering av molekylene i dielektrumet. Dette kan føre til at spenning oppstår på terminalene til en kondensator, selv om den tilsynelatende er utladet (Zumbahlen 2008) og (Passive-components 2024). Dissipasjonsfaktor representerer energitap i kondensatorer. Polarisering av molekylene i dielektrikumet skaper energitap. Ved høyere frekvenser vil det forkomme elektrodetap på grunn av parasittisk induktans og elektroderesistivitet (Components Business Unit, Murata Manufacturing 2013).

For prototype II ble PEN-kondensatorer valgt. Det var et sammensatt valg av karakteristikk, verdi og kostnad. Ut i fra ST sin sammenligningstabell for kondensatorer er PPS- og NPO-kondensatorer de beste alternativene. De har lav temperaturavhengighet, dissipasjonsfaktor, dielektrisk absorpsjon og ESR. Problemet med disse kondensatortypene er at de ikke fantes for den kapasitansen bachelorgruppen ønsket og at prisen var høy i forhold til andre kondensatorer. PEN-kondensatorer har ikke like gode egenskaper, men er bedre enn keramsike kondensatorer (X7R) på alle områder bortsett fra temperaturavhengighet.

Samplingskondensatorene som ble valgt til prototype II er 390 nF. I prototype I viste det seg at 200 nF var en passende kapasitans for å få best mulig oppløsning. Siden berøringsplatearealet ble doblet sammenlignet med prototype I ble også kondensatorstørrelsen doblet. Fordelen med å doble berøringsplatearealet er at det vil være et større arealforhold mellom ledningsbanene og berøringsplatene. Dette vil minke påvirkningen av ledningsbanene.

Table 2. Characteristics of film SMD capacitors

Characteristic	PET	PEN	PPS	NPO	X7R	Tantalum
Operating temperature (°C)	-55 to 125	-55 to 125	-55 to 140	-55 to 125	-55 to 125	-55 to 125
$\Delta C/C$ with temperature (°C)	± 5	± 5	± 1.5	± 1	± 1	± 10
Dissipation factor (%)	1 kHz	0.8	0.8	0.2	0.1	2.5
	10 kHz	1.5	1.5	0.25	0.1	-
	100 kHz	3.0	3.0	0.5	0.1	-
Dielectric absorption (%)	0.5	1	0.05	0.6	2.5	-
ESR	Low	Low	Very low	Low	Moderate to high	High
Reliability	High	High	High	High	Moderate	Low

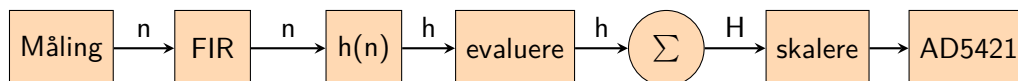
Figur 24: Kondensator karakteristikk, AN4310. Tabellen er hentet fra (STMicroelectronics 2024b)

3.3.14 Klarlakk

For å hindre at kretskortet skal absorbere vann ble prototype II spraylakkert med klarlakk. Den ble lakkert to ganger med en dags mellomrom. Alle sider av kortet ble lakkert bortsett fra toppen av kretskortet der komponentene er montert. Under testing av prototype II vil ikke den øverste delen av kortet senkes i vann, og det er derfor ikke behov for klarlakk.

3.4 Programvare

Figur 25 viser programflyten til koden på prototype II.



Figur 25: Stegene involvert fra måling av alle berøringsplatene til én enkelt høydemåling. Ved 'Σ' blir verdiene til hver berøringsplate slått sammen til en total høyde.

3.4.1 Måling

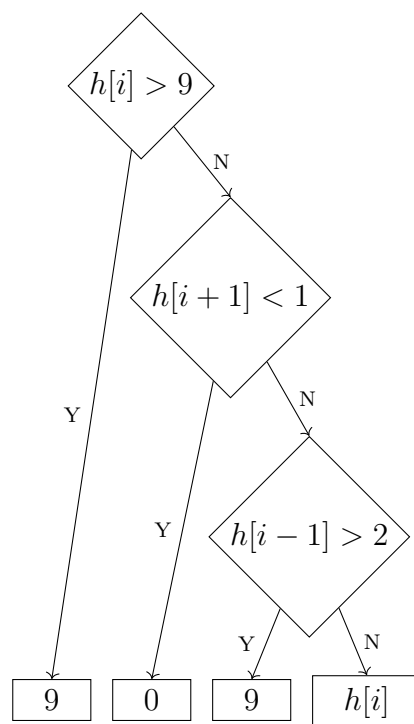
Målingene utføres gruppevis. For å starte en måling, må det velges hvilke grupper og berøringsplater det skal måles på. Det er mulig å kjøre alle gruppene samtidig, men innenfor en enkelt gruppe er det kun mulig å kjøre én berøringsplate om gangen. Ettersom kortet inneholder åtte grupper, hver med tre berøringsplater, kan alle målingene utføres i løpet av tre runder. Resultatet av en måling er et tall mellom 0 og $2^{14} - 1$, hvor et lavere tall angir høyere målt kapasitans (se figur 9 for hvordan TSC gjør en måling). Målingene ble deretter filtrert med et midlingsfilter 10 elementer langt og konvertert til høyde (formel 3e).

3.4.2 Evaluering og summering

Målesystemet består av 24 måleelementer hvor måleområdet er kjent for hvert måleelement. Dette gjør det mulig å gjøre visse antagelser om verdien for hver måling.

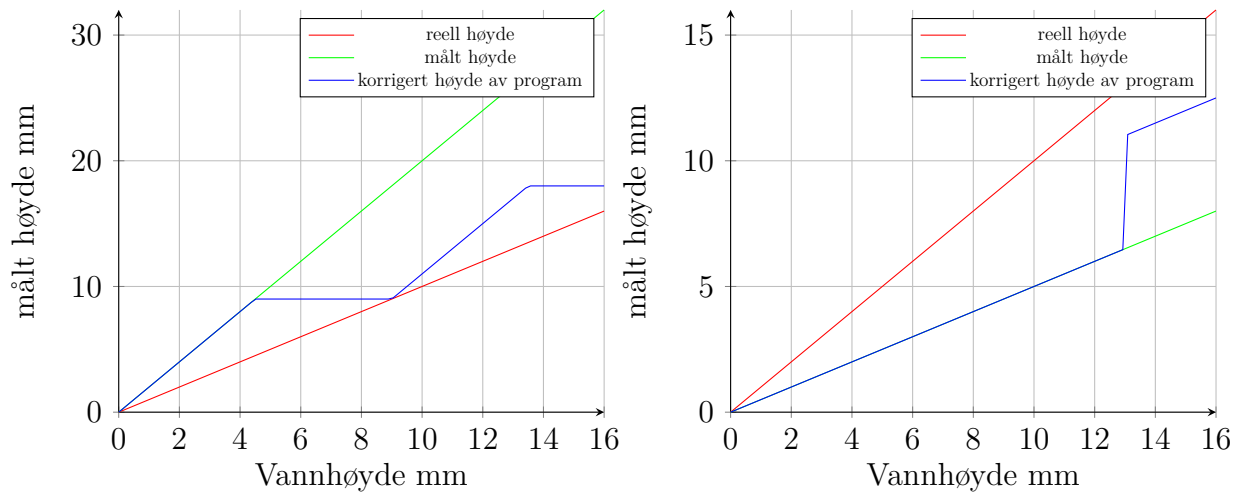
1. Et måleelement er kun gyldig innenfor et område
2. Tilstanden til måleelementene over og under påvirker usikkerheten til måleelementet

Dette gjør at en berøringsplate $h[i]$ har en maks verdi. Berøringsplaten kan også settes til maks verdi hvis berøringsplaten over er dekket ($h[i-1]$). Man kan anta at om berøringsplaten under ($h[i+1]$) ikke er tildekt at den aktuelle berøringsplaten kan tolkes som 0. Figur 26 viser hvordan dette er løst i programmet. Årsaken til at $h[i]$ kan tolkes til 9 er fordi platen en berøringsplate tar er høyden h_p og mellomrommet mellom berøringsplatene, altså $8 + 1 = 9$.



Figur 26: Valgtre for å evaluere hver enkelt berøringsplate før de skal summeres.

Konsekvensene av antagelsene resulterer i en lavere usikkerhet for den totale høydemålingen. Dette kommer av at usikkerheten kun er knyttet til berøringsplater som tolkes som $h[i]$. Evalueringsmetoden vil også korrigere for deler av avvik som skyldes feilkalibrering, men dårlig kalibrering vil introdusere ulinearitet. Figur 27 viser hvordan feilkalibrering kan påvirke måleresultatet.



Figur 27: Respons ved feilkalibrering over 2 berøringsplater.

3.4.3 Sending av data

For å kunne sende data over SIIS 1 grensesnitt er AD5421 benyttet. ICen forventer å få tilsendt et 16 bit heltall over SPI. Slik AD5421 er konfigurert (se tabell 3) vil 0 angi en strøm på 3,8mA og $65\,535 (2^{16} - 1)$ angi en strøm på 21mA. Programmet skalerer fra en høyde mellom 0 og 220 mm, til et tall mellom 762 og 61 724 for å få SIIS 1 grensesnitt.

3.4.4 STM32CubeIde kode

Deler av koden er autogenerert av STM32CubeIde. I autogenererte filen STM32f0xx_hal_timebase_tim.c på linje 91 prøver programmet å starte timer 1 med tilhørende interrupt, noe som resulterer i at programmet får en uønsket stans. For å fikse dette ble `HAL_TIM_BASE_Start_IT()` endret til `HAL_TIM_BASE_Start()`. Programmet mangler derfor informasjon om tiden som har gått og det er noen funksjoner som ikke fungerer som tiltenkt. Funksjonen `HAL_Delay()` kunne ikke lenger bli benyttet, og det ble derfor skrevet en primitiv `delay_for()` funksjon.

3.5 Kalibrering

For å kalibrere sensoren er det tre sett med variabler som må bestemmes. De tre variablene er:

$$\frac{V_{IH}}{V_{dd}}, C_{l,gnd} \text{ og } \frac{d}{b\epsilon}.$$

$C_{l,gnd}$ bestemmes ved å benytte formel 3d. Når det ikke er noe vann til stede ved berøringsplaten, kan det antas at $C_{l,gnd} = C_x$. Variablene $\frac{d}{b\epsilon}$ kan bestemmes ved å påføre en høyde vann, og sammenligne målt høyde og reell høyde. Metoden for å finne $C_{l,gnd}$ og $\frac{d}{b\epsilon}$ tilsvarer en topunktskalibrering. Forholdet $\frac{V_{IH}}{V_{dd}}$ må beregnes med eksternt måleutstyr. V_{IH} hentes ved å måle høyeste spenning på samplingskondensatoren under en måling. Metoden kan kun brukes hvis den aktuelle kondensatoren ikke gir et tidsavbrudd, makser ut på 16383, og er gruppen som bruker lengst tid. Det er derfor anbefalt å kun kjøre sampling på en berøringsflate når denne målingen gjøres. På side 79 i databladet er V_{IH} karakterisert teoretisk, men det gis kun en minste verdi for V_{IH} (STMicroelectronics 2017).

3.6 Testing og validering

Oppdragsgiver hadde et spesifikasjonsark med krav VIM burde tilfredsstillende. De viktigste kravene var grensesnittet (SIIS level 1), presisjon og nøyaktighet. Produktet skal fungere i temperaturer mellom -18°C og 70°C . Andre sensor karakteristikk som ikke var på spesifikasjonsarket, men som er av interesse, var linearitet og sensitivitet for støy. VIM ble ikke testet for trykk. Testing med trykk er mer komplisert, tidkrevende og ble ikke prioritert i bacheloroppgaven. For å dekke alle spesifikasjonene ble VIM testet på forskjellige måter. Det ble testet med kun vann, olje og vann, økende nivå, stasjonært nivå, simulert AC-støy, temperatur, kort tid og lang tid.

3.6.1 Utviklingstest

Ved utviklingstest av VIM ble kun vann brukt. Det ble gjort fordi det er lettere og lager mindre søl. I tillegg ble det vurdert som en tilfredsstillende test fordi dielektrisk olje og luft har relativt lik permittivitet (The engineering ToolBox 2008).

3.6.2 Dynamisk nivå

For å måle hele måleområdet til VIM, ble systemet plassert i en beholder og vannivået i beholderen ble økt med 1 cm hvert 3 minutt.

3.6.3 Statisk nivå

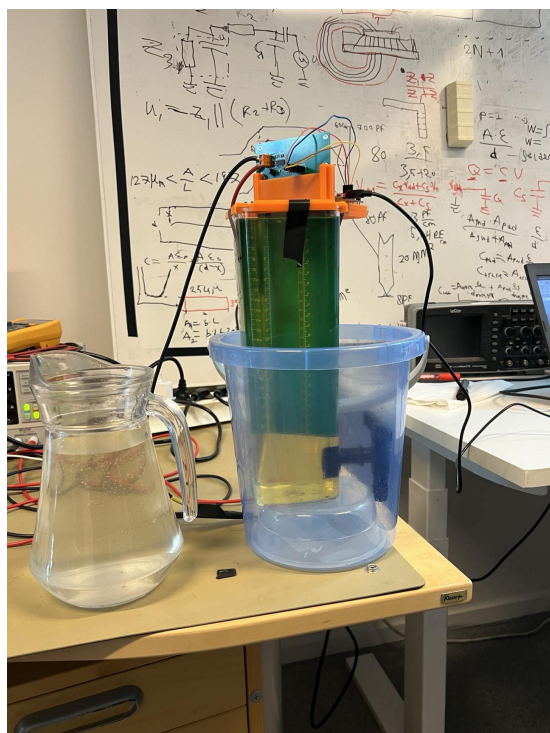
For å måle systemet stabilt ble det brukt stasjonære målinger. Det vil si at hele målingen skjer ved en høyde vann. Dette er for å bestemme nøyaktighet, presisjon og drift til systemet. Målingene av statisk nivå foregår over flere timer.

3.6.4 Valg av olje

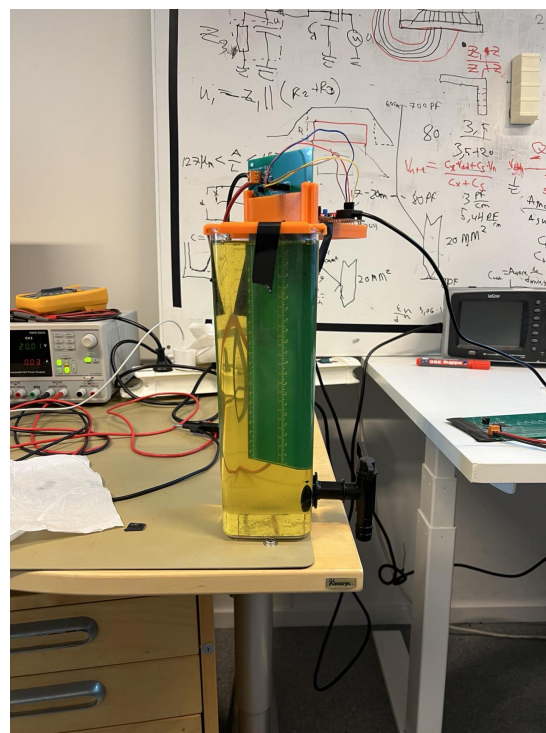
Miljøet systemet skal plasseres i består av dielektrisk olje. For testing i bacheloroppgaven har gruppen valgt å bruke rapsolje til å etterligne den dielektrisk oljen. Det er fordi permittiviteten til luft er tilnærmet lik rapsolje på ca. $3 F/m$ (Peñaloza-Delgado mfl. 2020) og transformatorolje på $2.1F m^{-1}$ (The engineering ToolBox 2008). Fordelen med å bruke rapsolje er at det ikke medfører noe helsefare sammenlignet med transformatorolje.

3.6.5 Teststasjonen

For testingen ble det laget en teststasjon. Hensikten med teststasjonen var å teste VIM under kontrollerte forhold på en enkel måte. I hovedsak gjaldt dette å montere fast VIM. Festet til VIM er selvdesignet og 3D-printet. Designet er tilpasset målene til beholderen og monteringshullene på VIM. Festet har flere funksjoner. Den løfter VIM over vannkranen. Den har sprutbeskyttelse for elektronikken, hull for fylling av vann og olje, utløp for olje ved fylling av vann og holder for debugger. Beholderen som ble benyttet i teststasjonen har et begrenset volum. På grunn av størrelsen til beholderen, krever teststasjonen mindre olje enn ved bruk av en større beholder. Beholderen er gjennomsiktig, noe som gjør det mulig å lese av høyden på vannet. For å tømme ut vann i beholderen ble det montert en vannkran. For å fange opp oljen som renner over kanten er beholderen plassert i en bøtte.



(a) Teststasjonen.



(b) Testbeholder.

Figur 28: Teststasjonen og testbeholder.

3.6.6 Måleprogram

Mikrokontrollerprodusenten STM som er brukt i dette prosjektet har laget et overvåkingsprogram kalt STM32CubeMonitor. Ved hjelp av debuggeren på evalueringsskivet som ble brukt under prototypingen, kan programmet koble seg til mikrokontrolleren, og lese data av den. Overvåkingsprogrammet er basert på node-red. Det er nesten fullstendig konfigurert ved oppstart. Det eneste som kreves er å legge til en executable-fil for å velge hvilke variabler som skal leses av. Programmet lagrer dataen i ønsket filformat i en loggmappe på datamaskinen.

3.6.7 Testprosessen

Først må testutstyret settes opp. Deretter plasseres testbeholderen i en sekundær beholder, og VIM festes i det 3D-printede feste. Strømforsyningen må kobles til, debugger kobles til VIM og datamaskin kobles til debuggeren. Før målingene initieres, fylles testbeholderen med olje. Deretter må VIM kalibreres med hensyn på olje. Etter at kalibreringen er fullført, kan målingene begynne. STM32CubeMonitor brukes for å visualisere og samle inn data. I programmet justeres samplingsfrekvensen til ønsket verdi, og etter dette kan programmet startes. Deretter fylles vann i testbeholderen. Vannet vil synke til bunnen, og oljen vil renne over kanten på testbeholderen og ned i bøtten. Det må foretas en manuell avlesning av vannivået til bruk som referanse til målingene.

3.6.8 Kalibrering

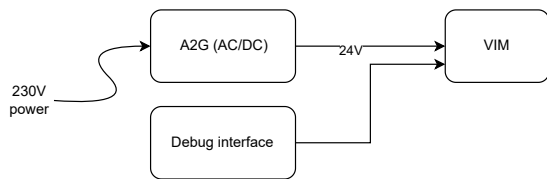
Kalibreringen ble utført ved hjelp av STM32CubeIDE. I debuggermodus er det mulig å lese av data fra kapasitansmålingene på de forskjellige berøringsplatene. Disse dataene legges inn i programmet til mikrokontrolleren for lista $C_{l,gnd}$. Programmet må så lastet opp på nytt for benytte de nye kalibreringsverdiene.

3.6.9 SIIS grensesnitt-test

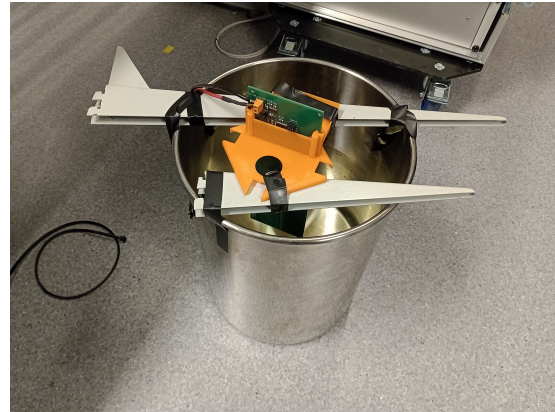
Et av kravene på spesifikasjonsarket er at systemet skal bestemme vanninntrenging gjennom å regulere tilførselsstrømmen mellom 4 og 20mA (SIIS Level 1). For verifisering ble det benyttet en loop calibrator. Dette er en strømmåler. Denne kobles i serie med strømforsyningen. En loop calibrator har høyere oppløsning enn et multimeter. På grunn av at loop calibrator ikke har en innebygd loggefunksjon, må verdiene avleses manuelt.

3.6.10 Støyttest

Miljøet VIM skal plasseres i har AC-støy. Basert på dette ble det gjennomført en støyttest. Testen bestod av at VIM ble plassert i en metallbøtte med vann. For å generere støyen ble en A2G benyttet. Første del av testen ble VIM koblet til en ekstern strømforsyning og metallbøtten ble koblet til A2G sin jord. Andre del av testen ble VIM forsynt av A2G.



(a) En-linjeskjema over testoppsett ved støymåling.



(b) Testoppsett ved støymåling.

Figur 29: En-linjeskjema og testoppsett ved støymåling.

3.6.11 Temperaturtest

For å undersøke om temperatur påvirker målingene, ble det gjennomført en temperaturtest. Testen består av tre faser hvor temperaturen først økes til 70 °C og holdes ved temperaturen i 30 minutter deretter senkes temperaturen til -18 °C og holdes i 30 minutter, for så å bli økt til 70 °C igjen i 30 minutter.



Figur 30: Testoppsett ved temperaturmåling.

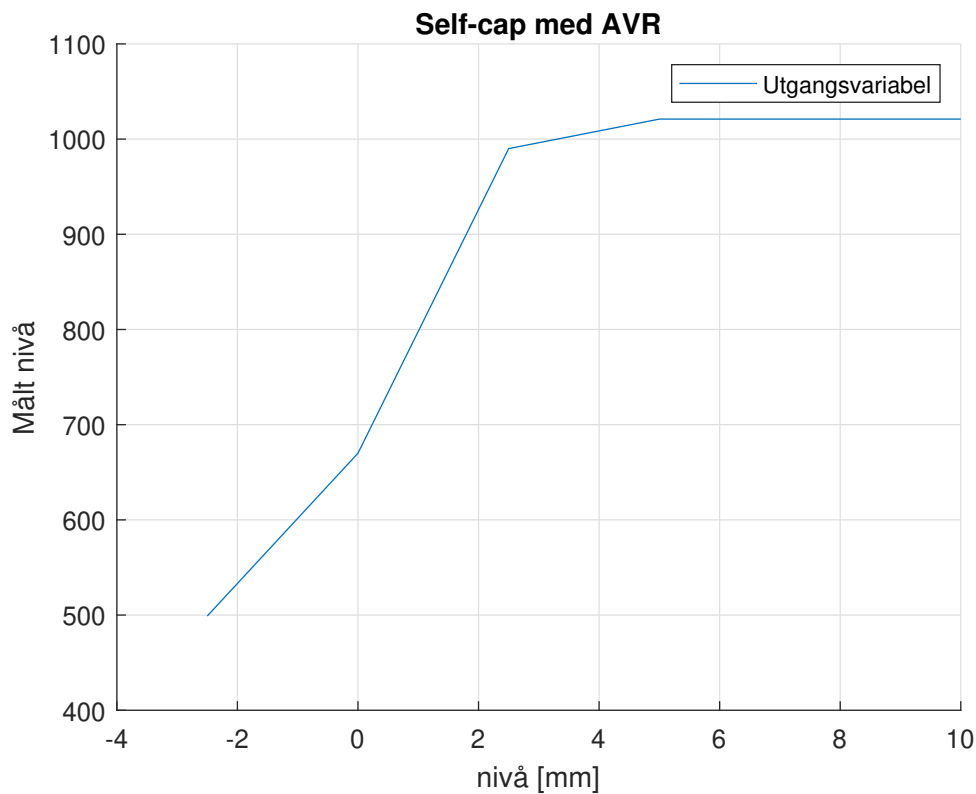
4 Resultater

4.1 Prototype I

I dette kapittelet vil resultater fra testing av prototype I bli presentert. Resultatene vil videre bli diskutert i separat kapittel.

4.1.1 Self-cap AVR

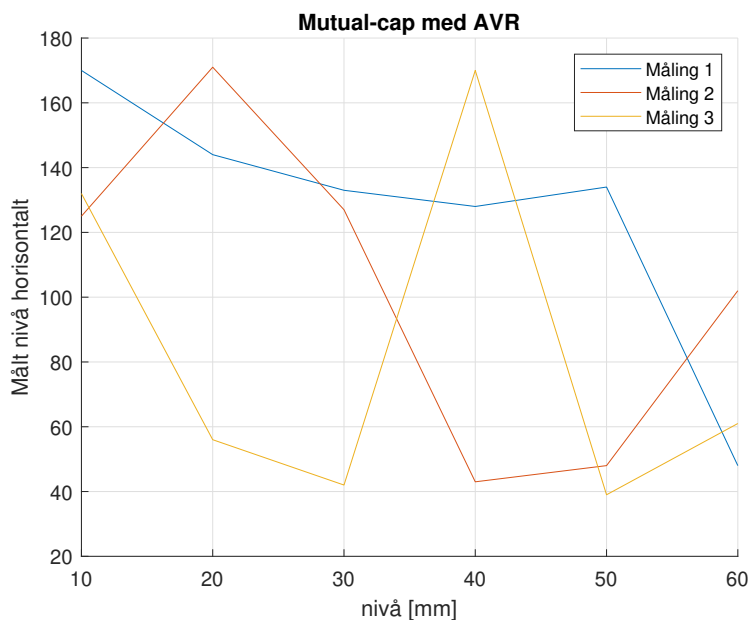
Grafen i figur 31 viser resultatet fra måling med self-cap og AVR. Målingen starter fra $-2,5\text{ mm}$ og slutter på 10 mm og har steglengde $2,5\text{ mm}$. Utgangsvariabelen starter fra 499 bit og slutter på 1021 bit. Kurven i grafen viser at målt nivå er proporsjonalt med nivå. Nivåendringen i grafen faller av ved $2,5\text{ mm}$.



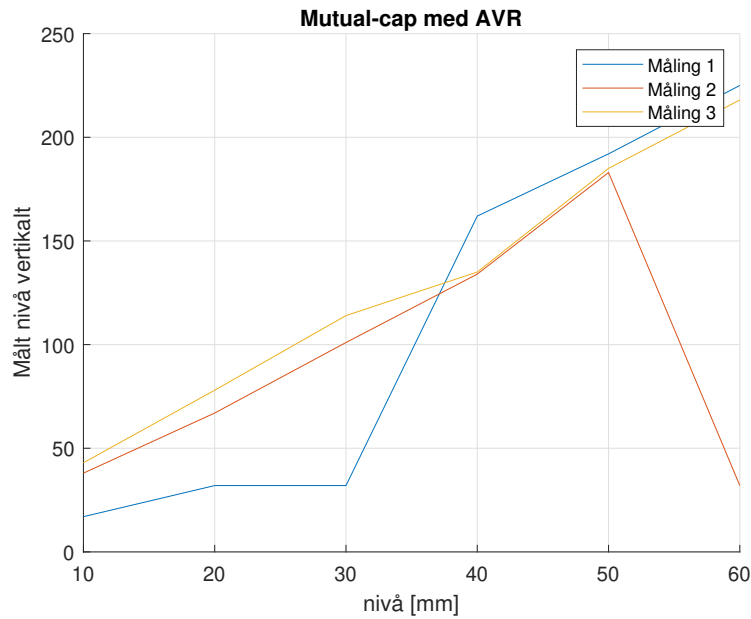
Figur 31: Måling fra test av prototype I self-cap med AVR.

4.1.2 Mutual-cap AVR

Mutual-cap ble testet med to sett av målinger. Det første settet, vist i figur 32 og 33 var med 3 målinger og en steglengde på 10 mm. Det ble målt fra 10 mm til 60 mm. Figuren viser kapasitans målt i vertikal og horisontal retning. Kurvene i figur 32 angir høyere verdi på utgangsvariabelen ved lavt nivå og lavere verdi på utgangsvariabelen ved høyt nivå. Den høyeste og laveste verdien til utgangsvariablene er på ca. 170 og 40. Måling 2 og 3 i figur 33 er proporsjonale frem til 50 mm. Da synker måling 2 til under startverdien. Måling 1 er ikke like proporsjonal som måling 2 og 3 frem til 50 mm, men avslutter ved samme nivå som måling 2. Utgangsvariablene starter med en laveste verdi på under 50 og siste og øverste verdi på rundt 225.

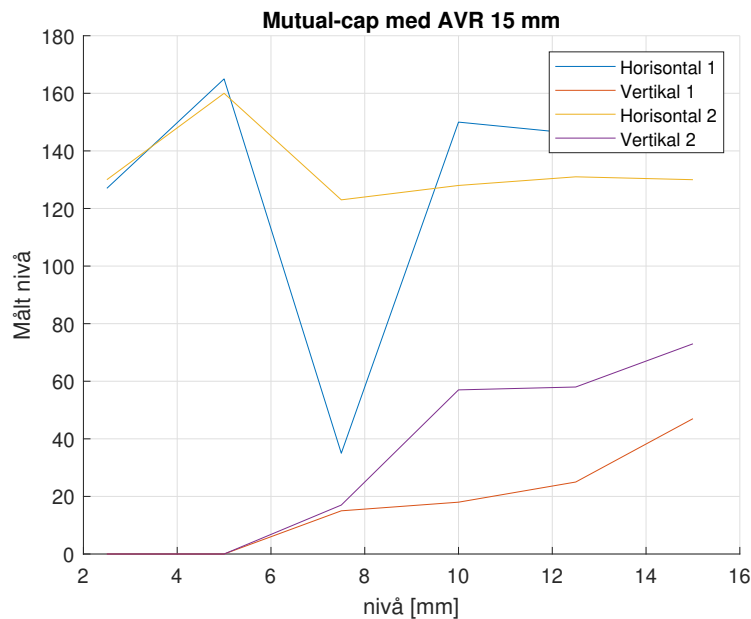


Figur 32: Måling fra horisontal mutual-cap 60 mm. Data fra tre ulike målinger.



Figur 33: Måling fra vertikal mutual-cap 60 mm. Data fra tre ulike målinger.

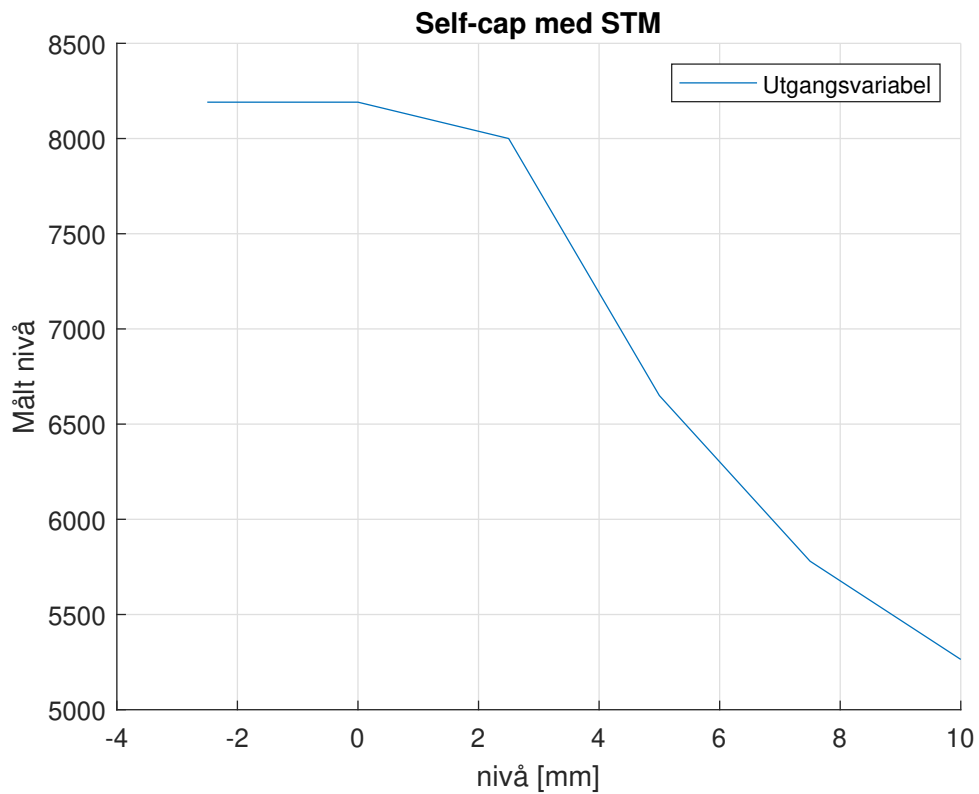
Det andre settet av mutual-cap målinger er vist i figur 34. Figuren består av 2 målinger med steglengde 2,5 mm. Det ble målt fra 2,5 mm til 15 mm. I denne figuren er horisontale og vertikale kurver lagt i samme graf. Horisontalkurvene ligger på rundt 140 gjennom hele målingen. Horisontal 1 skiller seg ut ved at den faller til under 40 ved 7,5 mm i nivå. De vertikale kurvene starter å øke fra 0 i nivå ved 5 mm og opp til 50 og 80 ved 15 mm nivå. Begge kurvene antyder samme retning, men avviker fra hverandre i størrelse.



Figur 34: Målinger fra test av prototype I mutual-cap med AVR 15 mm.

4.1.3 Self-cap STM

Figur 35 viser resultatene fra test med self-cap og STM32. Den viser en måling fra $-2,5\text{ mm}$ til 10 mm med steglengde på $2,5\text{ mm}$. Kurven starter med det høyeste nivået for målingen på 8363 , mens den stopper med det laveste nivået på rundt 5250 . Kurven har et høyt stigningstall mellom de tre første målepunktene, før det faller for de resterende målepunktene.



Figur 35: Måling fra test av prototype I self-cap med STM.

4.2 Prototype II

I dette kapittelet vil resultater fra testing av prototype II bli presentert. Resultatene vil videre bli diskutert i separat kapittel.

4.2.1 Linearitet

For å måle linearitet er det brukt dynamiske målinger. Det vil si at målevariabelen endrer seg under målingen. Det ble gjort fire målinger med ulike målebetingelser. Eksempler på disse målebetingelsene er om målingene er med olje, hvor lenge det blir ventet før nivå blir lest av og hvor lenge VIM har stått i vann. Felles for målingene er at nivået økes med 10 mm for hver gang det blir tatt en måling. Ved måling 1, 2 og 3 er hver avlesning gjort etter 2 minutter og vann blir tilført til et nytt nivå. For måling 4 er avlesning gjort etter 3 minutter. Tilnærmingen av linearitet er basert på lineær korrelasjon ved bruk av MATLAB og korrelasjonskoeffisienten til de ulike målingene.

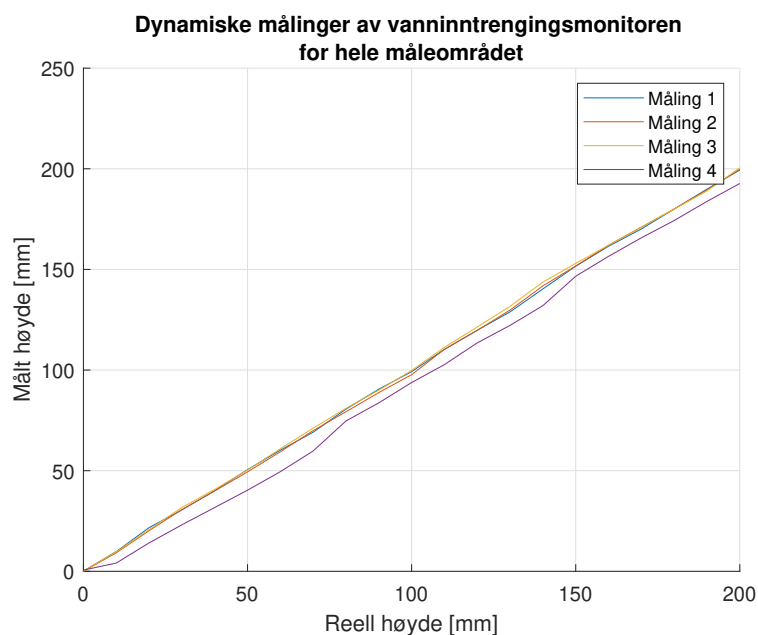
$$R_1^2 = 1$$

$$R_2^2 = 1$$

$$R_3^2 = 1$$

$$R_4^2 = 0.998$$

Den lineære korrelasjonen er veldig høy siden alle korrelasjonskoeffisientene er tilnærmet lik 1.



Figur 36: Figuren viser de dynamiske målingene i forhold til reell høyde. Måling 4 var den eneste med olje og vann.

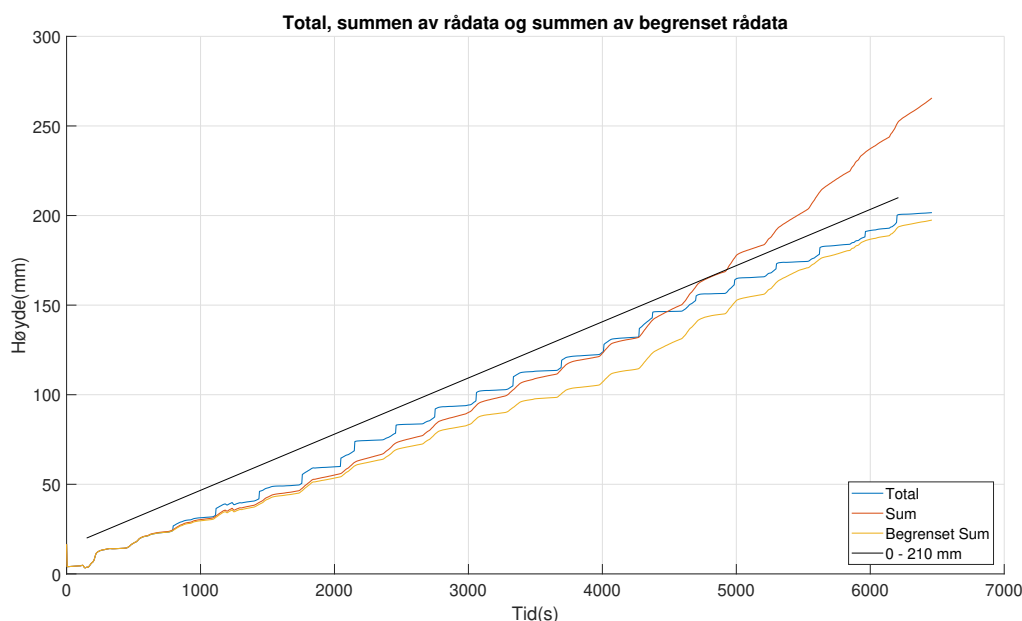
4.2.2 Avvik ved dynamiske målinger

De samme dynamiske målingene som er nevnt i delkapittelet om linearitet, kapittel 4.2.1, er blitt brukt for å kvantisere avvik. Avvikene fra alle nivåene er blitt brukt til å regne ut et gjennomsnittsavvik for hele måleområdet. Største avviket fra målingen er også gitt.

Avvik	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Måling 4
Gjennomsnitt	0.2 mm	0.0 mm	0.9 mm	-6.4 mm
Maks	1.7 mm	-2.3 mm	3.7 mm	-10.5 mm

Tabell 5: Oversikt av de ulike dynamiske målingene. Det er målt en gang per nivå. Hver av disse delmålingene er benyttet for å beregne gjennomsnitt. Det største avviket i hele måleområdet er inkludert. Måling 4 var med olje og vann.

figur 37 viser rådataen til måling 4. "Sum" angir den summerte høyden til hver berøringsplate uten begrensninger beskrevet i kapittel 3.4.2. "Begrenset rådata" er summen av alle berøringsplatene, men om en berøringsplate måler over 9 mm regnes den som 9 mm. "0 - 210" er den estimerte reelle vannhøyden.



Figur 37: Dynamisk måling i olje. Linje 0 - 210 mm er estimert reel verd. Den er tegnet opp for å gi en øvre grense for den reelle vannhøyden. Den reelle vannhøyden stiger stegvis og linjen er kun for visuell hjelp.

fra figuren ser man at "Total" og "begrenset sum" er lavere enn estimert reell høyde "0 - 210 mm" gjennom hele målingen. Den sumerte høyden "sum" er lavere enn "Total" frem til omtrent 4500s. "Begrenset rådata" er alltid mindre enn "Total" for hele målingen. "Sum" viser tendens til å endre stigningstall ved 4300s som tilsvarer når "0 - 210 mm" er 150 mm. vannhøyde på 150 mm tilsvare berøringsplate 7 hvor banen er rutet på topplaget.

4.2.3 Nøyaktighet

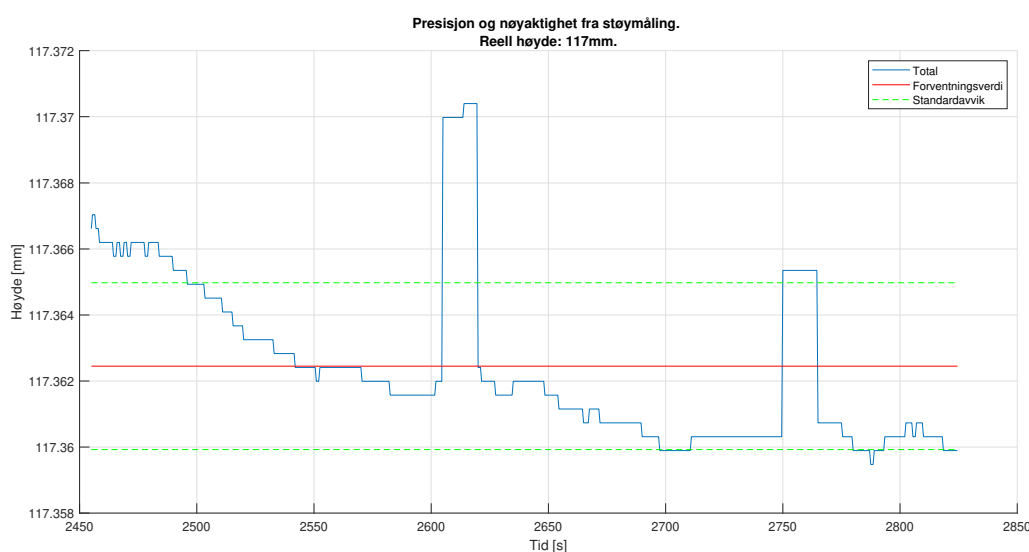
Det er målt nøyaktighet basert på to målinger. Felles for målingene er at de er stasjonære og har fått stått i fred over en lengre periode. Dataen nøyaktigheten er bestemt ut i fra er et utvalg fra målingene. Grunnen til at målingene blir gjennomført på denne måten er for å sikre at resultatet er stabilt. Når systemet har oppnådd stabilitet, kan måleverdi \bar{X} regnes ut fra utvalget med gjennomsnitt.

Første måling varte i 48 minutter og utvalget kommer fra de siste 7 minuttene. Måleverdien er basert på variabelen "Total" (Figur 38). Det er utgangsvariabelen til hele systemet som har sammenlagt høyde fra berøringsplatene og gjennomgått et FIR-filter. Målingen ble gjennomført i romtemperatur uten olje. Målingen var med støy på strømforsyningen og i vannet den målte nivå av. Nivået til vannet var 117 mm og blir brukt som referanseverdi. Resultatene fra den første målingen viste en måleverdi lik 117.362 mm med et standardavvik på 0.003 mm . Figur 38 viser måleverdi og standardavvik lagt på utvalget de er basert på.

$$\bar{X} = 117.362 \text{ mm}$$

$$s = 0.003 \text{ mm}$$

$$\text{Nøyaktighet} = |\bar{X} - \mu_0| = |117.362 \text{ mm} - 117 \text{ mm}| = 0.362 \text{ mm}$$



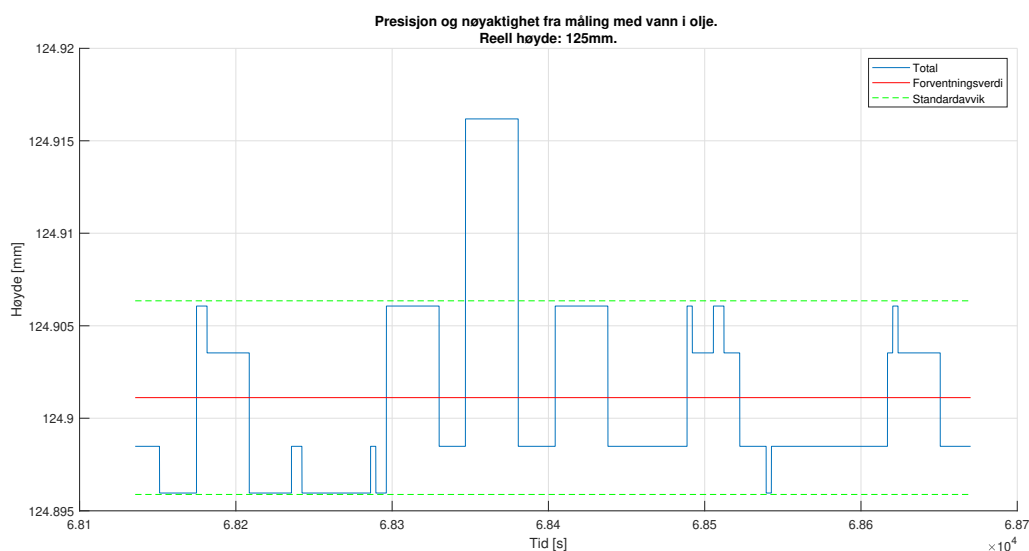
Figur 38: Presisjon og nøyaktighet støymåling 117 mm . Målingen er synkende og har derfor stabilisert seg.

Andre måling varte i 45 minutter og utvalget kommer fra de siste 10 minuttene. VIM hadde stått i målemiljøet i 18 timer ved starten av målingen. Måleverdien er basert på variabelen "Total" (Figur 39). Målingen ble gjennomført i romtemperatur med både olje og vann. Nivået til vannet var 125 mm . Det er dette nivået som blir brukt som referanseverdi. Resultatene fra den andre målingen viste en måleverdi lik 124.901 mm med et standardavvik på 0.005 mm . Figur 39 viser måleverdi og standardavvik lagt på utvalget de er basert på.

$$\bar{X} = 124.901\text{ mm}$$

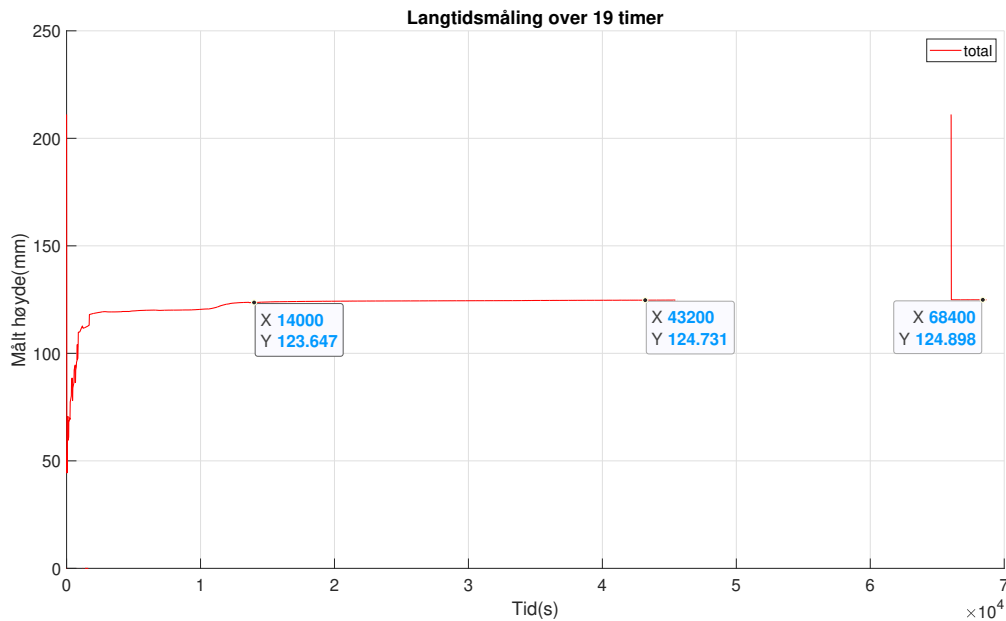
$$s = 0.005\text{ mm}$$

$$\text{Nøyaktighet} = |\bar{X} - \mu_0| = |124.901\text{ mm} - 125\text{ mm}| = 0.099\text{ mm}$$



Figur 39: Presisjon og nøyaktighet med vann og olje 125 mm .

Figur 40 viser hele målingen som figur 39 er basert på. Kurven i grafen starter ved å angi høyt nivå, før den raskt synker til en lavere verdi. Etter dette øker den raskt med sprang i en kortere periode. Resten av målingen viser en jevn og slak økning. Målt høyde økte med $1,084\text{ mm}$ fra fjerde time til tolvte time. Syv timer etter dette igjen hadde målt nivå økt med $0,167\text{ mm}$. Da målingen ble fortsatt om morgenen startet den igjen med høyt nivå før den raskt sank til samme måleområde som den hadde vært i dagen før.



Figur 40: Grafen viser en langtidsmåling. Første del av målingen er på ca. 13 timer og andre del av målingene er litt under en time lang. Mellomrommet i kurven kommer av at programmet ble stoppet om natten, før det ble startet igjen om morgenen. VIM stod i det samme målemiljøet i tidsrommet.

4.2.4 Presisjon

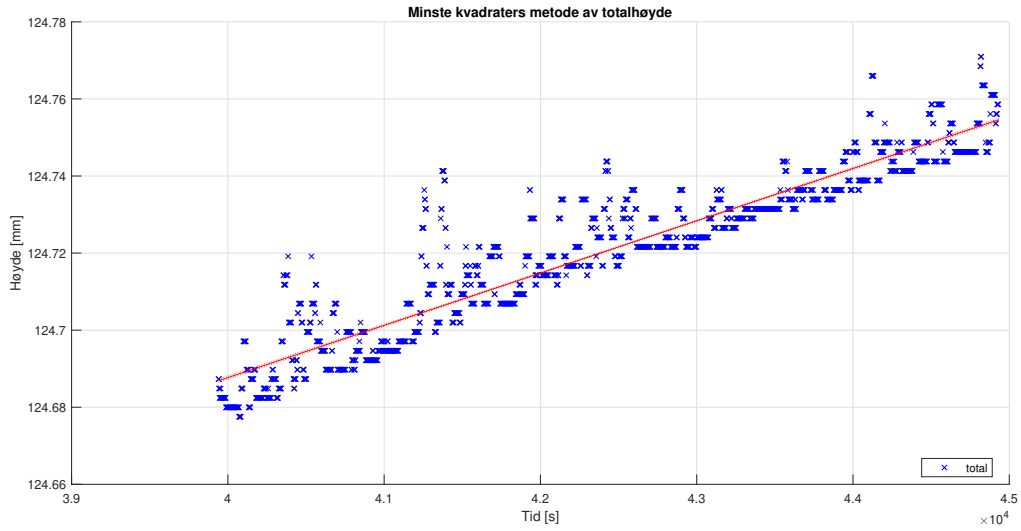
For å klassifisere presisjonen er det behov for å vite målt verdi kontra reell verdi. Siden VIM bruker lang tid på å stabilisere seg vil den målte presisjonen være en sum av presisjonen og tregheten til VIM. Dette gjør at utvalgene fra målingen er relativt korte i forhold til hele målingen. For å beregne presisjon på et større tidsintervall ble metoden "Residual Sum of Squares (RSS)" benyttet (Tutorials point udatert). RSS er beregnet i MATLAB basert på minste kvadraters metode (rød linje i figur 41). Den bruker en lineær funksjon istedenfor en konstant måleverdi som referanse ved utregning. Siden minste kvadraters metode for en rett linje er benyttet vil resultatet være det minste standardavviket gitt en rett linje.

Utvalget er basert på 1,5 time av den 13 timer lange målingen gjort med olje. Figur 41 viser spredningen av alle målepunktene og den lineære regresjonen basert på utvalget. Figur 42 viser koeffisienter og utregninger til den lineære regresjonsmodellen. Root Mean Squared Error i figuren tilsvarer standardavviket gitt at reell verdi skulle fulgt regresjonslinjen (rød linje). Standardavviket i denne målingen er på 0.00719 mm . Til sammen er det funnet tre estimater for presisjon:

$$s_1 = 0.003 \text{ mm}$$

$$s_2 = 0.005 \text{ mm}$$

$$s_3 = 0.00719 \text{ mm}$$



Figur 41: Presisjon i utvalg fra langtidsmåling.

```

Command Window

MLS =

Linear regression model:
  y ~ 1 + x1

Estimated Coefficients:

              Estimate          SE          tStat          pValue
              _____          _____          _____          _____
(Intercept)          124.15          0.0029942          41461          0
x1                   1.3565e-05          7.0517e-08          192.37          0

Number of observations: 5001, Error degrees of freedom: 4999
Root Mean Squared Error: 0.00719
R-squared: 0.881, Adjusted R-Squared: 0.881
fx F-statistic vs. constant model: 3.7e+04, p-value = 0

```

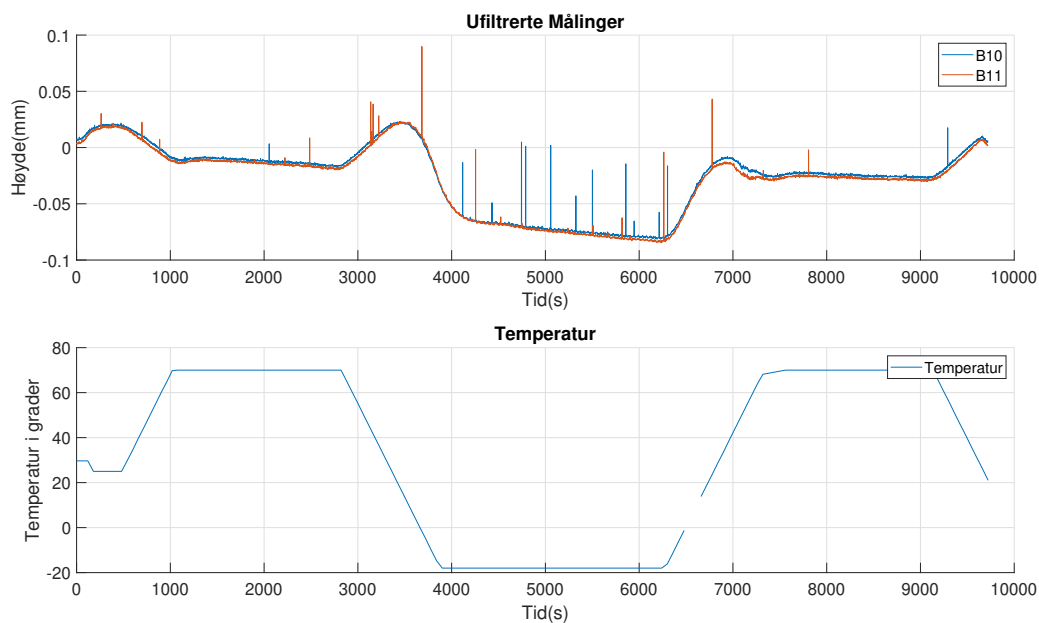
Figur 42: Presisjon i utdrag fra langtidsmåling.

4.2.5 SIIS 1 grensesnitt

SIIS 1 grensesnittet som gir 4-20mA ble testet under utvikling. Den var skalert korrekt ved å gi 4mA ved fravær av vann og 20mA ved 220 mm vannhøyde. Under måling når VIM var koblet til debugger og datamaskin trakk den mer enn 20mA. Strømmen falt når debuggeren ble koblet fra. Når spenningen ble økt fra 20V til 24V ble AD5421, veldig varm. Dette skjedde uavhengig om debuggeren ble koblet til. Mot slutten av testfasen ble strømmen gjennom strømsløyfen testet på nytt. Da målte den over 30mA ved 18V.

4.2.6 Temperaturpåvirkning

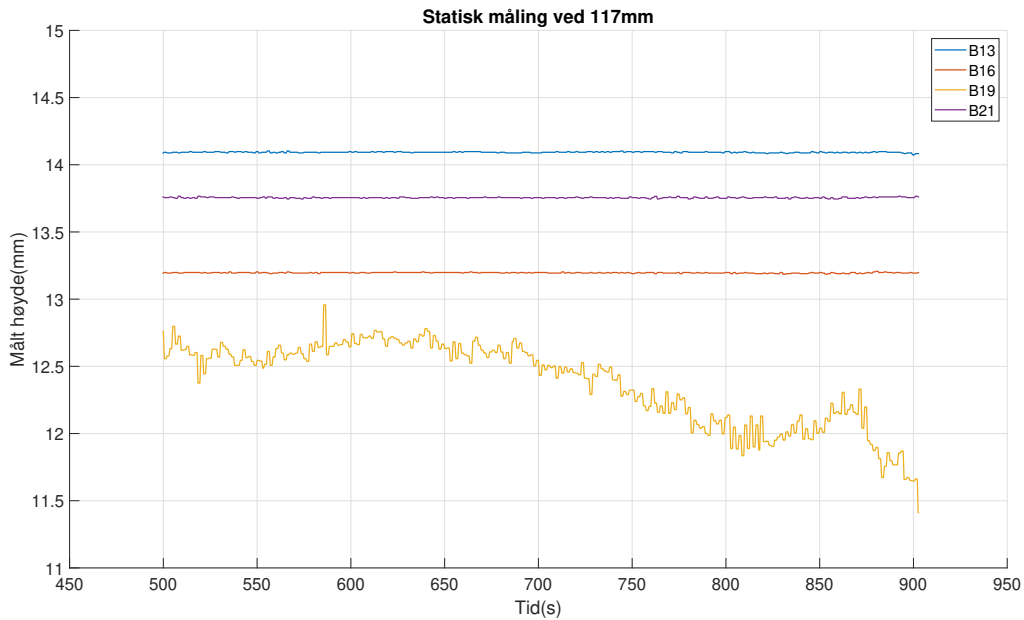
Figur 43 viser resultatet av temperaturtesten. Fra grafen kan man se en korrelasjon mellom temperatur og målt høyde. Målt høyde beveger seg når det er endring i temperatur og stabiliserer seg etter temperaturen er konstant. Ser man bort i fra støyen i de ufiltrerte målingene, varierer de med ca. 0,1 mm for temperaturendringer mellom -18°C og 70°C .



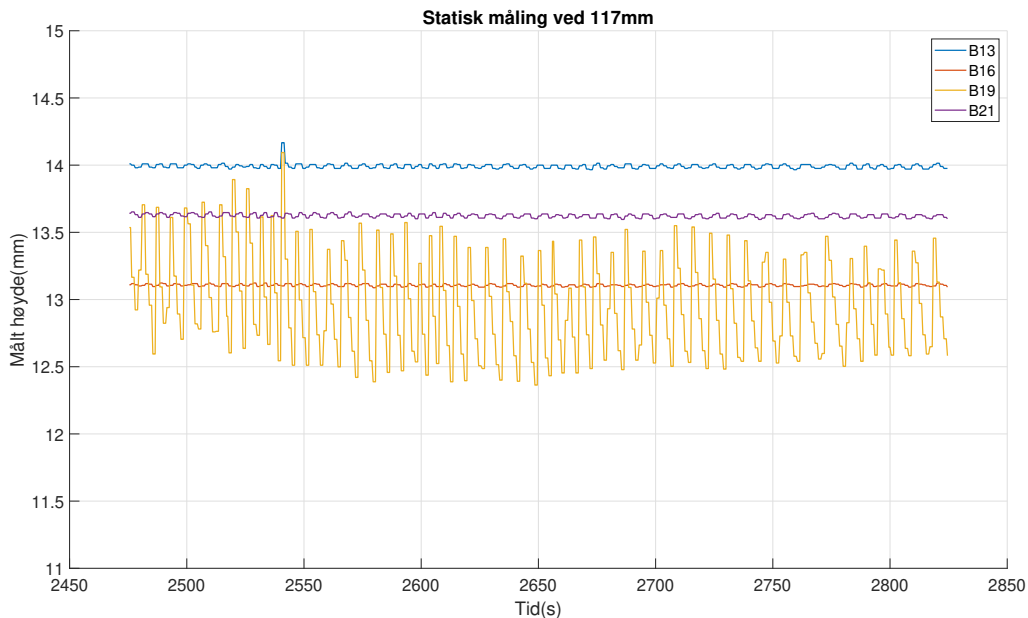
Figur 43: Figuren består av to grafer. Den øverste grafen viser målt høyde i forhold til tid. Den nedre grafen viser temperaturen i testskapet.

4.2.7 Støypåvirkning

Resultatet fra støyttesten med AC-støy koblet kun til metallbøtten er presentert i figur 44. Resultatet fra AC-støy koblet til metallbøtten og strømforsyningen til VIM er presentert i figur 45. Grafene viser at målingen i figur 45 har en høyere amplitude, enn figur 44.

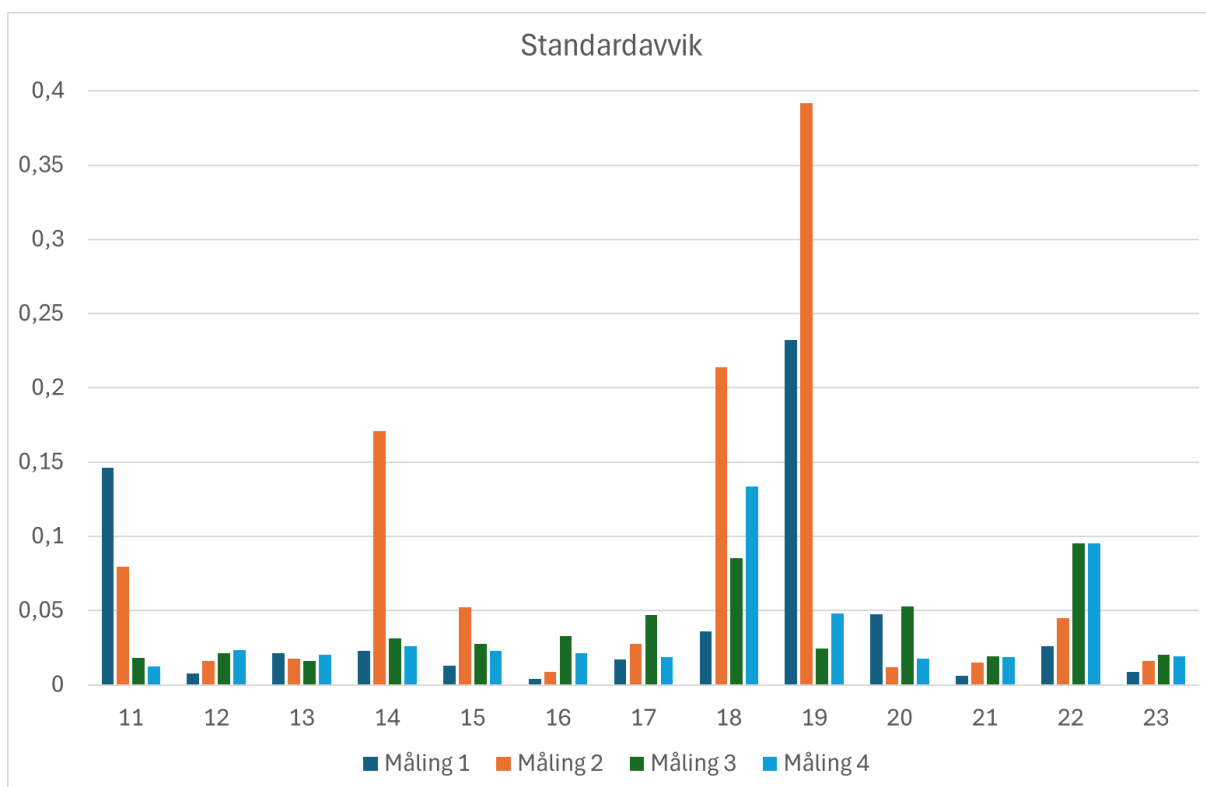


Figur 44: Grafen er fra måling 1, hvor AC-støy er koblet til metallbøtten

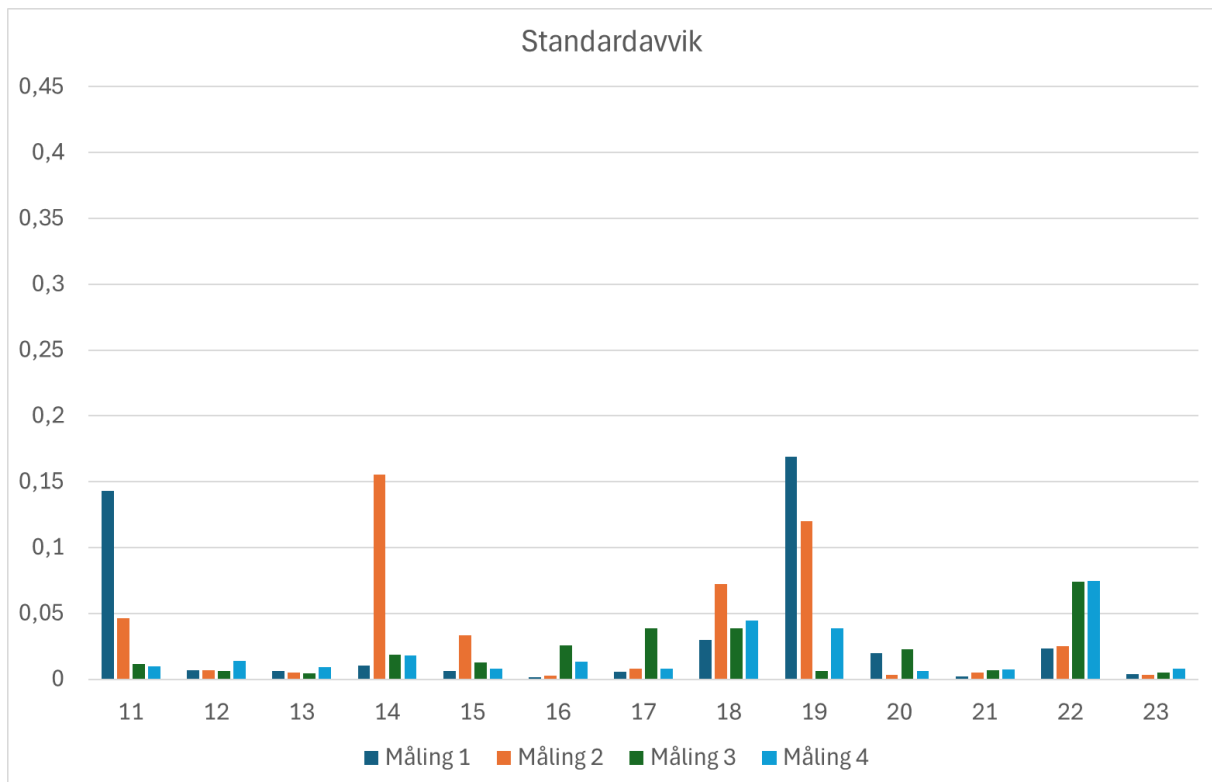


Figur 45: Grafen er fra måling 2, hvor AC-støy er koblet til metallbøtte og strømforsyningen

Figur 46 viser standardavvik av ufiltrerte målinger og figur 47 viser viser standardavvik av filtrerte målinger. Begge figurene inneholder data fra berøringsplate 11 til 23, ved fire forskjellige målinger. Måling 1 er AC-støy koblet kun til metallbøtten og måling 2-4 er AC-støy koblet til metallbøtten og på strømforsyningen til VIM. Ved måling 1 og 2 er vannivået 117 mm. Måling 3 er vannivået 137 mm og ved måling 4 er vannivået 144 mm. Det største standardavviket var under måling 2 ved berøringsplate 19, hvor standardavviket er ca. 0,4 mm. For de filtrerte målingene var dette standardavviket redusert til ca. 0,1 mm.



Figur 46: Standardavvik av ufiltrerte målinger på utvalgte berøringsplater.



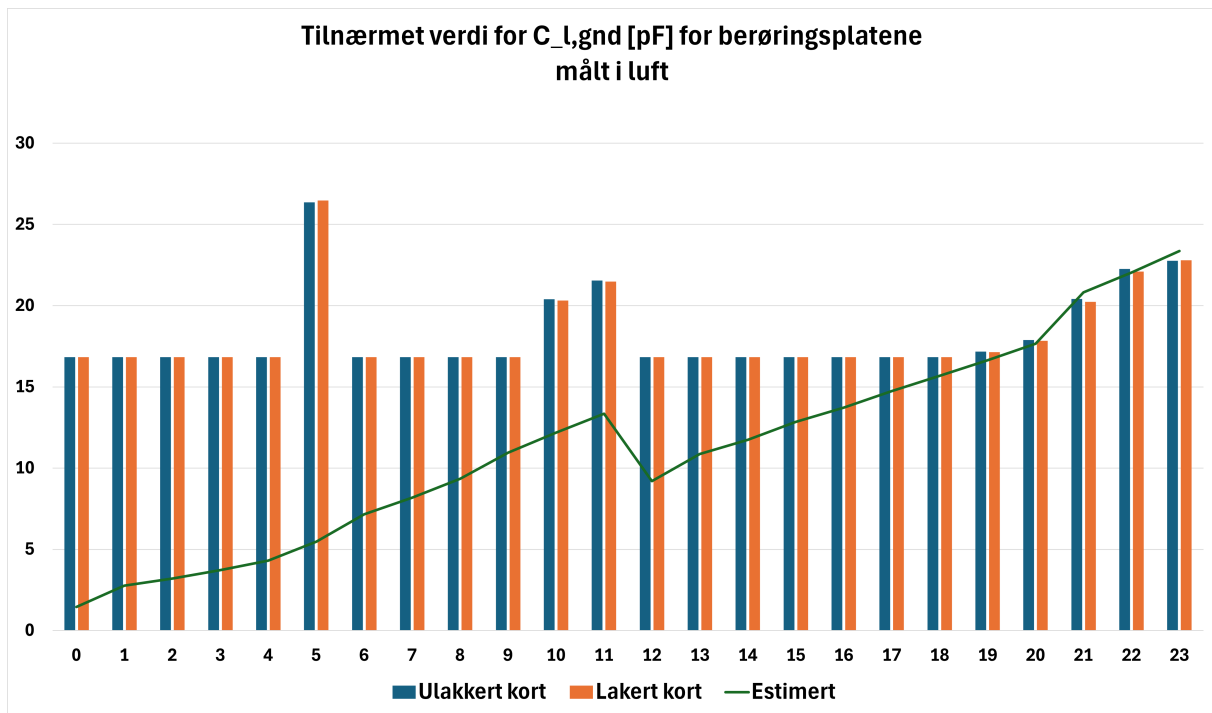
Figur 47: Standardavvik av filtrerte målinger på utvalgte berøringsplater.

4.2.8 Pålitelighetsvurdering

Den totale MTBF for prototype II er beregnet ut i fra MTBF for STM32F091VC (vedlegg 8.2) og AD5421 (vedlegg 8.3). Disse er regnet som de mest kritiske komponentene. Det er antatt at feil på én komponent medfører at det er feil på hele systemet (se formel 4). Den estimerte MTBF er på mellom ca. 2424 år og 233 642 år avhengig av miljøet VIM står i.

4.2.9 Parasittisk kapasitans

For å kunne kalibrere VIM må man vite den parasittiske kapasitansen til hver av berøringsplatene. Figur 48 viser tilnærmet parasittisk kapasitans $C_{l,gnd}$. Målingen er basert på at den parasittiske kapasitansen tilsvarer målt kapasitans i luft. Den grønne linjen på tvers estimerer den antatte kapasitansen. Estimaten bruker berøringsplate 20, 21, 22 og 23 for å finne kapasitans per millimeter banelengde. Lengdene på banene blir brukt til å beregne en estimert parasittisk kapasitans og er oppgitt i kapittel 3.3.12. Det er ikke tatt hensyn til at berøringsplate 10 og 11 har jordplan både over og under. Berøringsplate 5 er rutet på samme måte som berøringsplate 6, 8 og 9, men har mye høyere kapasitans.



Figur 48: Målt verdi for $C_{l,gnd}$ for to forskjellige kort. Ulakkert kort er det første kortet. Lakkert kort er det andre kortet. **merk:** Den laveste kapasistansen som kan måles er 16.84pF. For berøringsplatene som ligger på 16.84pF må man ta hensyn til at kapasistansen kan være lavere.

4.2.10 Oppsummering av resultater

Tabell 6 viser resultatene satt opp mot spesifikasjonene gitt av oppdragsgiver (Tabell 1).

Beskrivelse	Krav	Resultat
Grensesnitt (Interface)	SIIS Level 1 Interface (4-20mA)	Problemer med AD5421 IC. derimot bruker designet ikke mer effekt en det er tillatt med denne protokollen.
Målområde (Range)	0-20cm	Måler fra 0-21,6cm.
Nøyaktighet (Accuracy)	+4 mm (2%)	$\bar{X}_1 = 0.362 \text{ mm}$ $\bar{X}_2 = 0.099 \text{ mm}$
Målepresisjon (Precision/Zero Drift)	+1 mm (+0.5%)	$s_1 = 0.003 \text{ mm}$ $s_2 = 0.005 \text{ mm}$ $s_3 = 0.00719 \text{ mm}$
Temperatur	-18 til +70°C	Varierer med temperatur. Designet tåler temperaturen
Trykk	1-350 bar	Ikke blitt testet
Vann	Må tåle sjøvann	Ikke blitt testet
MTBF (Mean time between failures)	25år	Utregnet til minimum 2424 år

Tabell 6: Spesifikasjoner med tilhørende resultater av prosjektet.

5 Diskusjon

I dette kapitlet vil vi diskutere resultater fra utvikling og testing av prototype I og II, samt diskutere designvalg og muligheter for videre utvikling.

5.1 Prototype I

5.1.1 Self-cap AVR

Self-cap med bruk av AVR fungerte ikke til formålet vi ønsket. Årsaken til dette var at den gikk i metning halveis opp berøringsplaten og klarer derfor ikke å differensiere vannivå. Dette vises i figur 31 ved at den flater ut og ikke måler høyere kapasitans. Årsaken kommer mest sannsynlig fra at den maksimale kapasitansen som AVR kan måle er oppnådd. UtgangsvARIABLEN i kurven stabiliserer seg i nærheten 1024. Denne verdien tilsvarer 10 bit og er den største verdien programvaren returnerer.

5.1.2 Mutual-cap AVR

Horisontalkurvene presentert i figur 32 varierer mye. Siden disse kurvene skal vise kapasitans i horisontalretning burde de holde et konstant nivå. På prototype I er mutual-cap designet stilt på skrå. Dette kan være med på å påvirke hva man måler. Det er også viktig å være oppmerksom på menneskelige feilkilder som feks. ustødige hender.

Resultatene fra figur 33 viser at mutual-cap antyder nivået til vannet ved at utgangsvARIABLEN øker når vannivået øker. Det er fortsatt noen betydelige avvik og ujevnheter i kurvene som kan skape problemer hvis VIM skulle vært basert på mutual-cap.

Figur 34 antyder et bedre resultat. De horisontale kurvene holder seg stabile, mens de vertikale øker med høyde. Avviket mellom de vertikale kurvene er stort i forhold til deres målte nivå. Samtidig må det påpekes at målingen kun er for 15 mm og at avvik vil se større ut på grafen på grunn av høyere oppløsning.

5.1.3 Self-cap STM

Testene som ble gjennomført med STM og målemetoden Self-cap viser lovende resultater. For det første har STM høy oppløsning. I figur 35 er det få ujevnheter. Det er spesielt to ting ved kurven som er verdt å notere. Det første er formen til kurven. Det er ikke en lineær kurve og man må derfor lage en funksjon som lineariserer målingen (formel 3e). For det andre ser kurven ut til å være flat ved de laveste nivåene. Dette kan komme av at kapasitansen er for lav for STM32 til å måle, noe som kan tyde til at samplingskondensatoren er for stor eller at berøringsplaten er for liten.

5.2 Prototype II

Det ble besluttet å basere prototype II på STM32. Dette var på grunn av at STM32 har høyere oppløsning enn AVR og at man kan endre på samplingskondensatoren, som sikrer at berøringsplaten ikke blir feil. Tanken bak dette er at det tar kortere tid å få tak i en passende kondensator enn et helt nytt design for berøringsplater. STM har også god dokumentasjon på mikrokontrolleren. Dette gjør den enklere å jobbe med.

5.2.1 Linearitet

Fra de dynamiske målingene som er utført er korrelasjonskoeffisienten høy. Både måling 1, 2 og 3 i figur 36 har korrelasjonskoeffisient tilnærmet 1. Dette kan tyde på at målingen og programmet fungerer godt for måling med vann som dielektrikum. Derimot viser resultatene forskjell ved måling med luft eller olje som dielektrikum. I figur 36 ser man at måling 4 som bruker olje istedenfor luft skiller seg ut fra de andre. Målingen viser systematisk lavere nivå og noe lavere korrelasjonskoeffisient. Dette skyldes treghet i systemet trolig på grunn av oljen og vannet som trenger tid til å stabilisere seg (figur 40). Avlesning ble gjort etter 3 minutter. Man kan anta at lineariteten og avviket vil forbedres om man øker tiden.

5.2.2 Avvik ved dynamiske målinger

Det dynamiske avviket ved måling med olje som dielektrikum er stort. Gjennomsnittavviket for måling 4 i tabell 5 viser at VIM ikke klarer å henge med på økningen av vann. Avviket er så stort at det faller utenfor spesifikasjonen til oppdragsgiver. Det maksimale avviket ved en av nivåøkningene var på 10.5 mm. Dette kommer av at tiden det tar før berøringsplatene har stabilisert seg er mye høyere enn de 3 minuttene mellom hvert sprang. Fra figur 37 ser man at avviket er større hvis målt høyde fra hver berøringsflate summeres, enn det "Total" viser. Det kommer av hvordan "Total" beregnes i programmet til mikrokontrolleren. Figur 26 viser hvordan "Total" er utregnet.

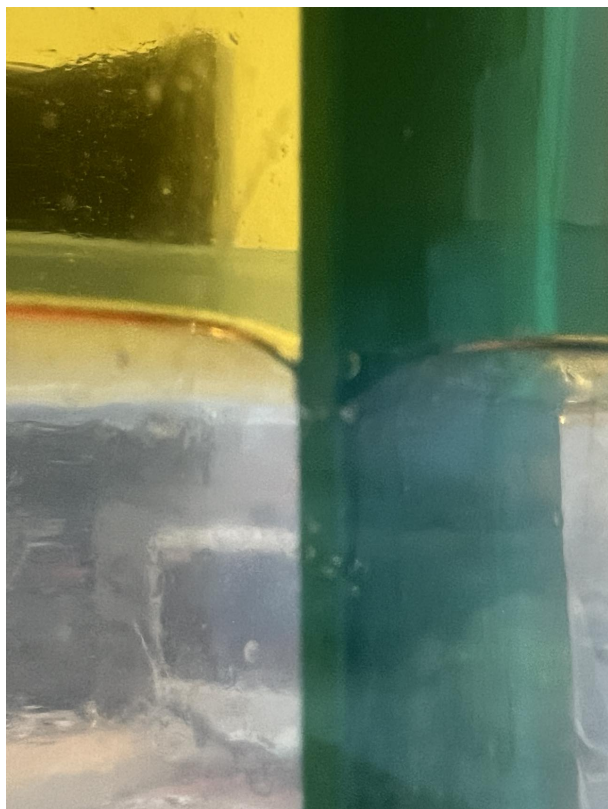
Fra figur 37 kan man se at forskjellen mellom "sum" og "begrenset sum" øker med høyden. Dette tyder på at flere av berøringsplatene måler over 9 mm. Dette skyldes trolig at ledningsbanene også vil få en økt kapasitans når de dekkes med vann. Ved 150 mm (ca. 4300 sek) er det en antydning til at "sum" øker raskere. 150 mm tilsvarer høyden til berøringsplate 7 som har banen rutet på topplaget. Dette tyder på at rutingen av ledningsbanene i ytterlaget vil ha stor innvirkning på kapasistansen. Det vil derfor være til fordel å holde avstanden mellom baner og vann stor.

5.2.3 Nøyaktighet

Resultatene viste høy nøyaktighet, gitt stasjonære målinger over lang tid. Først virket det som at VIM driftet. I de lengste målingene derimot, så dette ut til å stoppe opp. Økningen falt over tid, som vist i figur 40. Figur 38 viser at nivået kan synke over tid. Dette kan tyde på at målingen ikke er strengt voksende. I figur 40 vises også flere karakteristikk til VIM. Når målingene blir startet er "Total" høy, før den raskt faller. Dette kommer av at filteret i programmet starter på null, før det fylles opp av verdier fra TSC. Dette fører til at n stiger mot den reelle verdien og $h(n)$ synker. Sprangene i starten av målingen kommer av valgtreet beskrevet i 3.4.2.

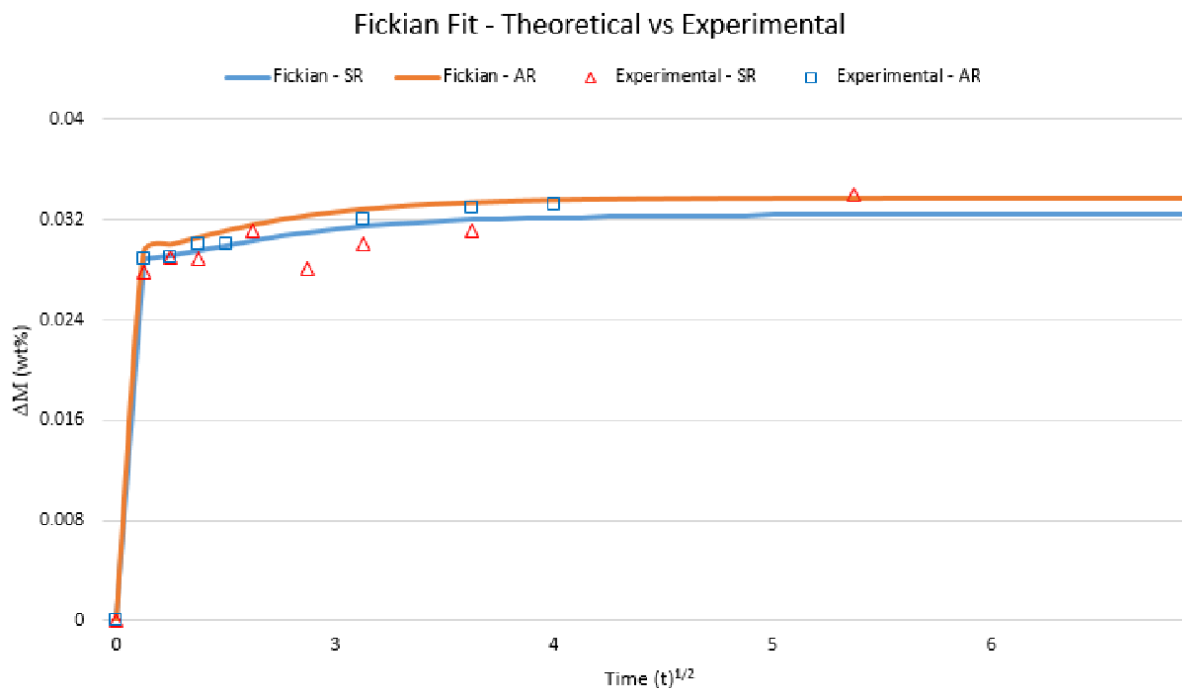
Årsaker til at det tar lang tid å få god nøyaktighet kan komme av både målemiljøet og måleprinsippet. For det første bruker vann og olje en god stund på å skille seg i to ulike lag. I tiden det er en emulsjon vil det ikke måles riktig nivå. For det andre, måles nivået opp langs et kretskort. En hypotese går ut på at det kan legge seg et lag med olje på kretskortet som tar lang tid å erstatte med vann. En annen effekt som ble lagt

merke til under testing med olje og vann var kapillarkrefter. Figur 49 viser effekten under testing. Ved kretskortet faller vannivået til et lavere nivå enn det ellers er i testbeholderen. Høyden på vannet avhenger av distansen fra kretskortet og er med på å endre målt kapasitans (figur 49). Dette kan føre til lavere nøyaktighet. Om dette er en effekt som vedvarer og hvor stor usikkerhet det medbringer, er ikke blitt sett nærmere på.



Figur 49: Bilde av kapillareffekt under test med olje og vann. Vannivået er lavere mot berøringsplatene enn det ville vært uten olje.

En annen hypotese går ut på at vann diffunderer inn i kretskortet. Det vil si at kretskortet tar opp vann til det blir mettet. Figur 50 viser diffusjonen til **Acrylic resin** over tid.



Figur 50: Diffusjon av vann inn i akryll resin (AR). Y-aksen er prosentvis vektendring. X-aksen er kvadratroten av tid i timer, altså $\sqrt{t[\text{hour}]}$ (Shafaat udatert).

Det er vanskelig å bedømme om diffusjon er årsaken til målefeilen uten å simulere hvordan diffundert vann vil påvirke målingene. Gitt at det er diffusjon som gir feilmålinger kan det antas at målingen vil stabilisere seg over tid. Det er derimot usikkert om målingen vil være strengt voksende siden motstand og kapasitans kan påvirkes av diffusjonen.

Nøyaktighet ble regnet ut i fra to målinger (figur 39 og 38). Nøyaktigheten fra disse målingene varierte med $0,263 \text{ mm}$. På grunn av at det er variasjon kan ikke avviket mellom reel verdi og målt verdi kalibreres bort. Målingene hadde ulike målebetingelser, så det er forståelig at de ga forskjellig resultat. Samtidig er avviket neglisjerbart i forhold til spesifikasjoner ønsket fra oppdragsgiver. For å kunne anslå nøyaktighet må usikkerheten til referanseverdien være lavere enn det som skal måles. Den anslåtte nøyaktighet er det noen usikkerheter ved. Dette skyldes at målesystemet til testen involverer øyemål. Det er begrenset hvor nøyaktig et menneske kan lese av høyden til vannet i en beholderen som er fylt med olje og vann.

5.2.4 Presisjon

Det ble utregnet tre mål på presisjon (se delkapittel 4.2.4). Alle var på under 0.01 mm . Spesifikasjonen fra oppdragsgiver var på 1 mm (se tabell 1 for spesifikasjoner). Presisjonsresultatene var basert på to målinger med ulike målebetingelser og utvalg. Dette er med på å forklare hvorfor presisjonene er forskjellig. Det kan bety at presisjonen er lavere eller høyere med andre målebetingelser. Tatt i betraktning at alle presisjonene var mellom $3\text{ }\mu\text{m}$ og $7,2\text{ }\mu\text{m}$ og målingene hadde forskjellige målebetingelser, tyder dette på høy presisjon.

5.2.5 SIIS 1 grensesnitt

Da strømsløyfen først ble testet fungerte den som forventet og prototype II var innenfor effektkrav til grensesnittet. Mot slutten av testfasen så det derimot ut til at AD5421 var defekt. Den ga riktig resultat helt til datamaskinen ble koblet til. Mistanken bak dette er at det går en strøm til datamaskinen fra strømsløyfen. Dette var ikke et problem når datamaskinen ikke var koblet til. Økningen av strømmen beskrevet av resultatene i 4.2.5 tyder på feil i design. Det ble ikke fokusert på å feilsøke strømsløyfen fordi det ble oppdaget sent i testfasen. Måleprinsippet ble prioritert fordi det er mer kritisk for oppgaven. En hypotese gruppen har, går ut på at spenningen til strømsløyfen ble økt samtidig som det var forhøyet strømtrekk på grunn av datamaskinen som var koblet til. Dette bringer effektforbruket opp til det samme som 20mA ved 52V , som er maks tilførselsspenning på AD5421. Et effektforbruk høyere enn det AD5421 er designet for, kan ha skadet den.

Hvis strømsløyfen hadde fungert ville den også vært med på å øke usikkerheten til det målte nivået, men total gitt feil (Total Unadjusted Error) for AD5421 er under 0.3% for alle tilfeller (Analog Devices 2018). Det er dermed liten grunn til å tro at målefeil i AD5421 utgjør nok til å ikke oppnå spesifikasjonene.

5.2.6 Temperaturpåvirkning

Basert på figur 43 kan det se ut til at den målte høyden både er avhengig av temperaturen og endring i temperatur, med en total variasjon på 0,1 mm. I tidsrommet 3000 s til 4000 s faller temperaturen. Når temperaturen begynner å synke måles det først en økt høyde før den begynner å falle. I tidsrommene hvor temperaturen er stabil er også høyden tilnærmet stabil. I disse tidsrommene vil en lavere temperatur angi en lavere målt høyde. Mellom 7000 s og 8500 s i figur 43 ser det ut at høydemålingen svinger litt før den stabiliserer seg. Samlet kan dette tyde på en høyere ordens differensiallikning hvor både temperaturendring og høyden påvirker den målte høyden.

I figur 43 er det tydelig at systemet er temperaturavhengig. Siden VIM ikke måler temperatur vil forandringer forårsaket av temperaturendringer ikke kunne korrigeres. Det betyr at presisjonen og nøyaktigheten reduseres. Derimot er en variasjon på 0,1 mm en del mindre enn presisjonkravet på ± 1 mm. Variasjonen i temperaturen vil derfor ikke gi store problemer for å oppnå kravene. Det er fremdeles usikkerhet om temperatur kan gjøre det vanskelig å oppnå kravet, grunnet endring i krav eller uforutsette usikkerheter. Usikkerheten knyttet til temperatur kan reduseres ved å benytte en ekstern temperatursensoren eller de som er tilgjengelig i mikrokontrolleren og AD5421.

5.2.7 Støypåvirkning

Standardavviket ved støy er under 0,4 mm for ufiltrerte målinger og under 0,2 mm med filter for alle berøringsplatene (figur 44 og 45). Det kan derfor antas at målingen vil kunne holde seg innenfor 1 mm ved 2 standardavvik (95%). Det er brukt et relativt lite filter i de filtrerte målingene. Ved å øke størrelsen på filtret vil støy påvirke målingene mindre. Dette vil ikke redusere kvaliteten på målingene, siden vanninntrengningen er en veldig treg prosess.

På grunn av at sensoren kun samler rundt en gang i sekundet vil foldingsfeil oppstå. Siden det ikke er noen god måte å filtrere signalet før sampling vil det ikke være mulig å unngå foldingsfeil. Dette gjør at digital filtrering av signalet vil være dårligere og til dels begrenset. Spesielt vil foldingsfeil som tilsvarer frekvensen til signalet som ble forsøkt målt (0Hz) ikke kunne filtreres bort. Det er usikkert om statistisk avvik grunnet foldingsfeil vil være reelt, siden både frekvens og fase må være riktig. Gitt at statistisk foldingsfeil gir

problemer, vil en økning av samplingsfrekvensen kunne minke antall frekvenser som foldes i det ønskede signalet.

Samplingsfrekvensen er i all hovedsak begrenset av TSC. Tiden det tar å gjøre ett sett med samplinger er styrt av den berøringsplaten som bruker lengst tid til å nå V_{IH} . Samplingsfrekvensen kan økes ved å redusere oppløsningen, øke klokkefrekvensen eller sample strategisk. Altså redusere maksverdien til n , redusere tiden en ladningsoverføring tar eller unngå å sample berøringsplater som tar lang tid.

5.2.8 Pålitelighetsvurdering

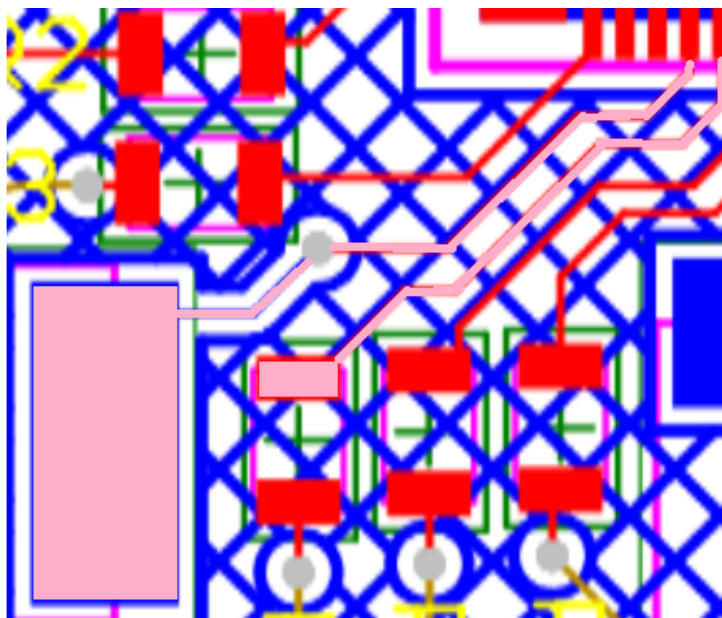
Den beregnede MTBF for designet er mye høyere enn spesifikasjonskravet på 25 år (se kapittel 4.2.8). Det er derfor liten grunn til å tro at komponentvalget medfører at kravet ikke oppfylles. Konfidensintervallet er noe vanskelig å bestemme siden komponentene benytter forskjellige konfidensintervall. Forenklet kan det antas at konfidensintervallet er 60% siden STM32Fx har lavest konfidensintervall og lavest MTBF. Et konfidensintervall på 60% bedfører noe større usikkerhet men den estimerte MTBF er fremdeles høy.

Programmet skriver ikke til flash, derfor er det ikke tilknyttet noen MTBF til dette. Om et videre design velger å skrive til flash, må det tas hensyn til degredering av flashminnet. Det er i databladet oppgitt 10 000 skrivninger, som minste antall flashminnet garanteres for (STMicroelectronics 2017, s. 76). Gitt spesifikasjonskravet på 25 år vil man kunne skrive over samme minne litt mer enn 1 gang per dag. Gitt at 156kB er tilgjengelig til å logge data, vil man kunne skrive omtrent 170kB per dag. Dette vil tilsvare omtrent 7.1kB per time.

5.2.9 Parasittisk kapasitans

Fra figur 48 ser det ut til at den parasittiske kapasitansen er lik mellom to kretskort. Det er noe begrensning i beregningene siden valget av samplingskondensator gir en minste målt kapasitans på 16,84 pF. Ut i fra berøringsplater 20, 21, 22, og 23 ser det ut til at banelengde påvirker parasittisk kapasitans. Berøringsplater 10 og 11 har høyere kapasitans en estimert. Dette kan skyldes at berøringsplater 10 og 11 har jordplan både over og under.

Berøringsplate 5 har den høyeste kapasitansen av alle. Dette til tross for at andre har mer jording og lengre ledningsbaner. Berøringsplate 5 er rutet på samme vis som 6, 8 og 9. Den største forskjellen er hvor nærme banene til berøringsplate 5 og tilhørende samplingskondensator ligger hverandre, samt hvor langt de er rutet parallelt. figur 51 viser hvordan de er rutet sammen.



Figur 51: Rutingen av berøringsplate 5 og tilhørende samplingskondensator markert med rosa.

Konsekvensen av for lav parasittisk kapasitans er at nedre del av måleområdet til gjeldende berøringsplate blir utenfor måleområdet. Den maksimale teoretiske dødgangen kan regnes ut ved å beregne $h(16383)$ gitt at $C_{l,gnd} = 0$. gitt valgte komponenter i prototype II er den maksimale teoretiske dødgangen $2,2 \text{ mm}$. For å minke dødgangen vil det være nødvendig å redusere samplingskondensatoren. Fra figur 48 kan det se ut som den parasittiske kapasitansen varierer mellom 1 og $26,47 \text{ pF}$. Berøringsplate 0 vil dermed ha en dødgang tilnærmet 2 mm .

For å ha størst mulig sensitivitet uten dødgang vil det være nødvendig å tilpasse samplingskondensatoren til den parasittiske kapasitansen. Samplingskondensatoren bør velges slik at formel 3d kan oppfylles hvor $C_x = C_{l,gnd}$ og $n = 16383$. Samplingskondensatoren blir derfor:

$$C_s \lesssim C_{l,gnd} \cdot 22,2 \cdot 10^3$$

5.3 Design av produkt

Prototype I ble laget på et tolags-mønsterkort, mens prototype II ble laget på et firelags-mønsterkort. På grunn av dette endte banene opp med å bli $0,127\text{ mm}$ brede på begge, da dette var det smaleste alternativet for tolags-mønsterkort. For å redusere den parasittiske kapasitansen til banene, kan bredden på bannene reduseres fra $0,127\text{ mm}$ til $0,09\text{ mm}$ når flerlags mønsterkort blir benyttet.

Størrelsen på kretskortet kan også reduseres. For å redusere bredden til kretskortet kan avstanden mellom banene innad i gruppene reduseres, men avstanden mellom gruppene bør opprettholdes. For å redusere høyden av kretskortet kan komponentene flyttes fra toppen av kretskortet til midten av kretskortet, men det krever at de blir dekket over av for eksempel lakk, som er vanntett. En annen fordel med å flytte komponentene er å redusere den parasittiske kapasitansen. Dette er på grunn av at banelengdene fra mikrokontrolleren til berøringsplaten blir kortere.

Under testing av AD5421 ble det avdekket at den ble veldig varm når strømforsyningen var 24V (beskrevet i delkapittel 4.2.5). For å bedre de termiske egenskapene, kan berøringsplaten under AD5421 bli koblet til PGND og et kobberplan (Analog Devices 2018).

5.4 Testprosedyre

Under testing ble kriterier og målebetingelser notert. Derimot ble disse notert avhengig av antatt behov. Dette hadde konsekvenser for detaljnivået i de første testene, som ble gjennomført.

Under de siste målingene ble det notert flere viktige målebetingelser. Det ble notert om kortet var lakkert eller ulakkert. Avlesningsintervallet ble avlest og notert. Navnet på rådatafilene ble lagret med navn som beskriver dataene i filene. Dette var for fremtidig referanse. Verdiene som ble brukt for å beregne $h(n)$ ble registrert. Til slutt ble noen merknader, forutsetninger og testtypen også tatt i betraktning.

Det som i liten grad er dokumentert er avvik under testing, testoppsett og spenningsforsyning. Siden dokumentering av avvik ikke ble gjort var det under rapportskrivningen nødvendig å huske hvorfor noen av grafene manglet data eller ikke oppførte seg som antatt. Avvikene var i liten grad kritisk for reproduserbarheten til måleresultatet, men medfører usikkerhetsmomenter. En mer omfattende testprosedyre bør inneholde følgende elementer:

Det er viktig å notere hvilket kretskort som er testet og hvilke maskinvare som er benyttet, inkludert spesifikke detaljer om kretskortet og eventuelle modifikasjoner som er gjort med det. Programvareversjonen som er benyttet, inkludert både kalibreringsvariabler og programversjon (Git commit nummer), bør også dokumenteres. Navnet på rådatafilene som er generert under testen, bør lagres med relevante navn.

Eventuelle avvik fra den planlagte testen og om disse avvikene er korrigert, bør også dokumenteres. Detaljer om testutførelsen, inkludert avlesningsintervall, målemetode og avlesningsmetode, samt utstyret som er brukt, bør også noteres.

Merknader, forutsetninger og testtypen bør inkluderes i dokumentasjonen. Det bør inkluderes et bilde eller en figur av testoppsettet for visuell referanse. Til slutt burde lokasjonen hvor testen ble utført, samt dato og klokkeslett noteres.

6 Konklusjon

Hensikten med oppgaven var å gi mer pålitelige, presise og nøyaktige målinger om vanninntrenging enn nåværende løsning med to alarmnivåer. I tillegg var resultatmålet for designet at det skulle tilfredsstille produktspesifikasjonene.

Designet imøtekommer produktspesifikasjonene for Måleområde, Nøyaktighet, presisjon, temperaturavhengighet og MTBF. Måleområdet er på 21,6 cm, over produktspesifikasjonen på 20 cm. Nøyaktigheten ble målt innenfor produktspesifikasjonen $\pm 4\text{mm}$, men det nøyaktige tallet er usikkert på grunn av bruk av øyne som referanse og tiden det tar for målesystemet å stabilisere seg. Estimert av nøyaktighet kan forbedres ved å bruke en mer presis testmetode og lengre langtidsmålinger enn det som ble utført i prosjektet. Presisjon ble målt til under $0,362\text{ mm}$, godt innenfor produktkravet på $\pm 1\text{mm}$. Dette gjelder selv ved påvirkning av elektromagnetisk støy. Temperaturendringer endret nivået med $0,1\text{ mm}$ og vil være det største bidraget til å redusere presisjonen, men ikke nok for å falle utenfor produktspesifikasjonen. Designet sin teoretiske MTBF er på minimum 2424 år, langt høyere enn spesifikasjonskravet på 25 år.

Foreløpig er det ikke mulig å fastslå om designet tilfredsstiller kravet om grensesnittet SIIS Level 1. Grensesnittet fungerte under utviklingstest, men var defekt ved slutten av testperioden. Da kan det være både designfeil og brukerfeil. Grensesnittet må feilsøkes videre og de termiske egenskapene til AD5421 må forbedres. Før designet kan brukes i et ferdig produkt må det testes for hvordan sjøvann og trykk kan påvirke nøyaktigheten og presisjonen.

Designet overholder i stor grad hensikten med prosjektet. I motsetning til dagens løsning gir VIM en kontinuerlig måling av vanninntrengning, samt en bedre nøyaktighet og presisjon. For å kunne etablere designets fulle pålitelighet må grensesnittet utbedres. Med bakgrunn i dette har VIM et godt potensiale for å erstatte dagens løsning. Et videreutviklet produkt vil kunne gi bedre oversikt og dermed redusere nedetid, kostnader og ressursbruk.

7 Referanser

Referanseliste

- Altium Limited (jan. 2023). *Designing with Touch Controls*. URL: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/designing-with-touch-controls>. Hentet. 16.04.2024.
- (udatert). *Altium Designer 24: From Requested to Required*. URL: <https://www.altium.com/altium-designer>. Hentet. 05.04.2024.
- Analog Devices (nov. 2018). *AD5421 (Rev. I)*. Tekn. rapp. 1. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5421.pdf>. Hentet. 15.04.2024.
- (udatert). *AD5421*. URL: <https://www.analog.com/en/products/ad5421.html>. Hentet. 05.04.2024.
- Bedin, Thomas (2019). *Polare molekyler – ladningen er ujevnt fordelt*. URL: <https://ndla.no/subject:1:f18b0daa-6507-4025-8998-b8a11c8ccc70/topic:7:ff48ed85-dbc5-4b98-a3b2-4212fd341c1a/topic:1:f8f6688b-5399-430c-9ded-3857497e6ca7/resource:1e69f42e-79ed-476d-bee4-003825c6bf20>. Hentet. 10.04.2024.
- Clearly, Feargal (2020). *Capacitive Touch Sensor Design Guide*. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Capacitive-Touch-Sensor-Design-Guide-DS00002934-B.pdf>. Hentet. 10.05.2024.
- Components Business Unit, Murata Manufacturing (2013). *What are impedance/ ESR frequency characteristics in capacitors?* URL: <https://article.murata.com/en-us/article/impedance-esr-frequency-characteristics-in-capacitors>. Hentet. 25.04.2024.
- Dhaker, Piyu (sep. 2018). *Introduction to SPI Interface*. Tekn. rapp. Precision Digital Corporation. URL: <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-52/number-3/introduction-to-spi-interface.pdf>. Hentet. 22.04.2024.
- DigiKey (udatert). *STM32F091VCT6*. URL: <https://www.digikey.bg/en/products/detail/stmicroelectronics/STM32F091VCT6/5087346>. Hentet. 15.04.2024.
- FN (jun. 2023). *Industri, innovasjon og infrastruktur*. URL: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur>. Hentet. 16.05.2024.

- FN (feb. 2024). *FNs bærekraftsmål*. URL: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>. Hentet. 16.05.2024.
- (udatert). *Last ned grafikk*. URL: <https://fn.no/download/last-ned-grafikk7>. Hentet. 16.05.2024.
- Herceg, Edward E. (des. 2020). *4 to 20 mA current loops made easy*. URL: <https://www.sensortips.com/featured/4-to-20-ma-current-loops-made-easy/>. Hentet. 21.04.2024.
- Iyer, Ravi K. (des. 1999). *Expectation and Variance / Examples and Computation of Mean Time to Failure*. URL: <https://courses.engr.illinois.edu/ece313/fa1999MW/Lectures/lec28.pdf>. Hentet. 16.05.2024.
- JLCPCB (udatert). *PCB Manufacturing Assembly Capabilities*. URL: <https://jlcpcb.com/capabilities/pcb-capabilities>. Hentet. 15.04.2024.
- Microchip (jul. 2020). *AVR DA Family - Datasheet*. Tekn. rapp. 2. Microchip. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/AVR128DA28-32-48-64-Data-Sheet-DS40002183.pdf>. Hentet. 16.04.2024.
- (2023). *AVR Peripheral Touch Controller (PTC)*. URL: <https://developerhelp.microchip.com/xwiki/bin/view/products/mcu-mpu/8-bit-avr/structure/capacitive-touch/>. Hentet. 10.05.2024.
- Mouser (udatert[a]). *AD5421BREZ*. URL: <https://no.mouser.com/ProductDetail/Analog-Devices/AD5421BREZ?qs=NmRFExCfTkHocCHPkJqcwQ%3D%3D>. Hentet. 15.04.2024.
- (udatert[b]). *STMicroelectronics STM32 Nucleo Development Boards*. URL: https://no.mouser.com/new/stmicroelectronics/stm-nucleo-development-boards/?utm_id=222285929&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaIdaxpHFA2AZXqLZGVP_BFTI7v8e15Hzh16W0pIFXLJ1kIHaiM2dqsAAlerEALw_wcB. Hentet. 15.04.2024.
- Passive-components (2024). *Capacitance and its Calculation, Dielectric, Dipoles and Dielectric Absorption*. URL: <https://passive-components.eu/capacitors-capacitance-dipoles-and-dielectric-absorption/>. Hentet. 24.04.2024.
- Peñaloza-Delgado, Rosario mfl. (2020). *Dielectric characterization of vegetable oils during a heating cycle*. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7925723/>. Hentet. 01.05.2024.
- Proserv (udatert[a]). *Hjemmeside*. URL: <https://www.proserv.com>. Hentet. 15.05.2024.

- Proserv (udatert[b]). *Locations: Aberdeen - Westhill*. URL: <https://www.proserv.com/locations/aberdeen-westhill/>. Hentet. 15.05.2024.
- (udatert[c]). *Oversikt*. URL: <https://www.linkedin.com/company/proserv-/about/>. Hentet. 15.05.2024.
- Sandstad, Jakob (2018). *dielektrikum*. URL: <https://snl.no/dielektrikum>. Hentet. 15.04.2024.
- Skaar, Johannes (2021a). *elektrisk polarisering*. URL: https://snl.no/elektrisk_polarisering. Hentet. 28.04.2024.
- (2021b). *Permittivitet (SNL)*. URL: <https://snl.no/permittivitet>. Hentet. 15.04.2024.
- Skaar, Johannes og Jakob Sandstad (2021). *kapasitans*. URL: <https://snl.no/kapasitans>. Hentet. 17.05.2024.
- STMicroelectronics (jan. 2017). *STM32F091xB STM32F091xC*. Tekn. rapp. 4. URL: <https://no.mouser.com/datasheet/2/389/stm32f091cc-1588803.pdf>. Hentet. 05.04.2024.
- (des. 2021). *NUCLEO-XXXXCX NUCLEO-XXXXRX NUCLEO-XXXXRX-P*. Tekn. rapp. 15. URL: https://no.mouser.com/datasheet/2/389/nucleo_f030r8-1848087.pdf. Hentet. 05.04.2024.
- (jun. 2022a). *Introduction to touch sensing with STM32*. URL: https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Introduction_to_touch_sensing_with_STM32. Hentet. 16.05.2024.
- (mar. 2024a). *Getting started with touch sensing control on STM32 microcontrollers - Application note*. Tekn. rapp. 4. STMicroelectronics. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/ed/0d/4d/87/04/1d/45/e5/DM00445657/files/DM00445657.pdf/jcr:content/translations/en.DM00445657.pdf. Hentet. 15.04.2024.
- (mar. 2024c). *How to design surface sensors for touch sensing applications on STM32 MCUs - Application note*. Tekn. rapp. 9. STMicroelectronics. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/46/39/d6/92/4a/4d/40/9f/DM00087990.pdf/files/DM00087990.pdf/jcr:content/translations/en.DM00087990.pdf. Hentet. 16.04.2024.
- The engineering ToolBox (2008). *Liquids - Dielectric constants*. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/liquid-dielectric-constants-d_1263.html. Hentet. 01.05.2024.

Tutorials point (udatert). *Statistics - Residual Sum of Squares*. URL: https://www.tutorialspoint.com/statistics/residual_sum_of_squares.htm. Hentet. 19.05.2024.

Wikipedia (2015). *Kretskort*. URL: <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Kretskort&oldid=15193045>. Hentet. 09.02.2024.

Zumbahlen, Hank (2008). *Dielectric Absorption*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/dielectric-absorption>. Hentet. 24.04.2024.

Bibliografi

- Analog Devices (2024). *Wafer Fabrication Data*. URL: <https://www.analog.com/en/support/quality-and-reliability/programs-systems-and-tools/wafer-fabrication-data.html>. Hentet. 10.04.2024.
- Badent, R., K. Kist og A.J. Schwab (1999). *Rape-seed oil-a substitute for mineral oil?* URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/816740/authors?fbclid=IwAR1ZaDH37SXY15GMg2LdUjFpAjlIdE7ssayCCBR5CX8Tej0UZS9EK2He13s#authors>. Hentet. 14.05.2024.
- Bergwerf, Herman (2024). *Upolar og polart molekyl*. URL: <https://ndla.no/image/46747?>. Hentet. 10.04.2024.
- Bertrand, J. (2019). *Capacitive Sensors Overview*. URL: https://www.mouser.com/pdfDocs/GP-AN-191120CapacitiveSensorsOverviewAppNote1.pdf?fbclid=IwAR0R6dyqmG_EJH0xzxfi7e8PfvGxg5JEY84BL5Z2t0JYn-T_L0paadj7yqU#:~:text=Mutual%20cap%20drives%20a%20signal%20on%20one%20electrode,Most%20button%20and%20proximity%20applications%20generally%20use%20Self-cap. Hentet. 14.05.2024.
- Beyene, Wendemagegnehu (wendem) Tsegaye mfl. (2005). *Performance analysis of multi-gigahertz parallel bus with transmit pre-emphasis equalization - Scientific Figure on ResearchGate*. URL: https://www.researchgate.net/figure/Relative-permittivity-and-loss-tangent-variations-of-FR4-as-a-function-of-humidity-for_fig3_224620733. Hentet. 14.05.2024.
- Elliot, Rod (2024). *Capacitor Characteristics*. URL: <https://sound-au.com/articles/capacitors.htm?fbclid=IwAR1fwDQJmaeUG1WkGsHV9Fu2XB1a5TuK09hy4-KuD1CEeckWtfnBshpXnNQ#s11>. Hentet. 14.05.2024.
- Kanoun, Olfa, Ahmed Yahia Kallel og Ahmed Fendri (2022). *Measurement Methods for Capacitances in the Range of 1 pF–1, nF: A review*. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224122003335?fbclid=IwAR2pz9Y3hg370gks-Gn_pX2eb8PUrc_tRhrtPZgtnk7BRc-7iD8rlj3fYDY. Hentet. 14.05.2024.
- Khan Academy (udatert). *Energy of a capacitor*. URL: <https://www.khanacademy.org/science/physics/circuits-topic/circuits-with-capacitors/v/energy-capacitor>. Hentet. 15.04.2024.
- OTM Networks (udatert). *Welcome to SIIS*. URL: <https://siis-jip.com/>. Hentet. 22.04.2024.

- Paonessa, Simon og Bruce McDuffee (mar. 2015). *BACK TO BASICS: The Fundamentals of 4-20 mA Current Loops*. Tekn. rapp. 4. Precision Digital Corporation. URL: https://www.predig.com/sites/default/files/documents/whitepapers/4-20_mA_Current_Loop_Fundamentals.pdf. Hentet. 21.04.2024.
- Sandler, Piper (2019). *Investment banking transactions, proserv-2019-06-07*. URL: <https://www.pipersandler.com/investment-banking-transactions/proserv-2019-06-07>. Hentet. 14.05.2024.
- Shafaat, Junaid (udatert). *Moisture Diffusion Modelling of a Thin Film Acrylic Resin Based Conformal Coating on PCBA*. Tekn. rapp. Schneider. URL: https://www.ipc.org/system/files/technical_resource/E40%26S36_03%20-%20Junaid%20Shafaat.doc.pdf.
- STMicroelectronics (mai 2022b). *RM0091 STM32F0x1/STM32F0x2/STM32F0x8 advanced Arm®-based 32-bit MCUs*. Tekn. rapp. STMicroelectronics. URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0091-stm32f0x1stm32f0x2stm32f0x8-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf.
- (mar. 2024b). *How to choose the sampling capacitor for touch sensing applications on STM32 MCUs*. Tekn. rapp. STMicroelectronics. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/28/4b/40/7c/e6/68/44/9c/DM00087593.pdf/files/DM00087593.pdf/jcr:content/translations/en.DM00087593.pdf. Hentet. 26.04.2024.
- (udatert). *STM32L4 - TSC*. URL: http://www.st.com/resource/en/product_training/stm32l4_peripheral_touchsense.pdf. Hentet. 09.05.2024.
- Wang, Jiayuan (2015). *Liquid Level Sensing Using Capacitive-to-Digital Converters*. URL: <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/liquid-level-sensing-using-cdcs.html>. Hentet. 14.05.2024.
- Wikipedia (2014). *Continuous uniform distribution*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Continuous_uniform_distribution. Hentet. 14.05.2024.
- (jun. 2024). *Industri, innovasjon og infrastruktur*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_time_between_failures#cite_note-auroraconsultingengineering-8. Hentet. 16.05.2024.

8 Vedlegg

8.1 Vedlegg: Beskrivelse av oppgaven

Oppgaveforslag bacheloroppgave elektroingeniør (BIELEKTRO) i Trondheim, vårsemester 2024

Navn bedrift: Proserv Norge As	Kontaktperson: Erik Lyng / Håken K. Lunn Epost: erik.lyng@proserv.com / haken.lunn@proserv.com Telefon/mobil: 98644799 / 40095222	
Tittel på oppgave: Vanninntrengningsmonitor (Water Ingress Monitor)		
Hvilke studieretninger passer oppgaven for? (kryss av for alle aktuelle retninger; flervalg er mulig):	Automatisering og robotikk	<input checked="" type="checkbox"/>
	Elektronikk og sensorsystemer	<input checked="" type="checkbox"/>
	Elkraft og bærekraftig energi	<input type="checkbox"/>
Er oppgaven reservert for noen bestemte studenter? (skriv navnene på studentene inn til høyre)		
Har dere arbeidsplass for studentene	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> usikker?	
Er dette en lukket oppgave? Dvs. at sluttrapporten ikke kan publiseres fordi den inneholder sensitiv informasjon.	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> ikke enda bestemt	

Kort beskrivelse av oppgaven med problemstilling.

I våre Subsea Control-systemer er det avgjørende å opprettholde kontroll over vanninntrenging, da dette i verste fall kan føre til systemfeil. For øyeblikket bruker vi en enkel indikator som signaliserer tilstedeværelsen av vann, men gir ikke informasjon om vannivået. Det er et betydelig behov for nivåovervåking, da dette kan gi oss muligheten til å vurdere omfanget av vanninntrengingen. På denne måten kan vi planlegge utskiftingen av en defekt modul i god tid og dermed unngå nedetid og produksjonsstans. Enhver utskifting eller produksjonsstans medfører betydelige kostnader. Jo mer informasjon vi har om tilstanden, desto bedre kan vi planlegge operasjonene og bidra til å redusere kostnadene for våre kunder.

Vi ønsker å holde denne oppgaven åpen og gir derfor kun noen veiledende tekniske krav. Vi ser for oss at systemet skal bygges rundt en mikrokontroller, der filtrering og data prosessering skal utføres av kontrolleren. Vi ønsker også å utforske ulike måleteknikker for vannivåavlesning for å evaluere hvilken som best egner seg for et Subsea Control-system.

Vi foretrekker at gruppen jobber hos oss, og vi vil legge til rette for dette så godt vi kan.

System spesifikasjon:

Beskrivelse	Krav	Kommentar
Grensesnitt (Interface)	SIIS Level 1 Interface (4-20mA)	Dette er en industristandard som er mye brukt for eksterne sensorer i Subsea-instrumentering. Denne standarden muliggjør strøm- og datatilgang via et enkelt kablepar uten behov for avanserte modulasjonsteknikker.
Målområde (Range)	0-20cm	Ikke et definitivt krav.
Nøyaktighet (Accuracy)	+4mm (2%)	Målenøyaktighet kan kalibreres, derfor kan det gis noe rom her.
Målepresisjon (Precision/Zero Drift)	+1mm (+0.5%)	Vi må kunne stole på at vi oppdager forandringer, men det er ikke et definitivt krav.
Temperatur	-18 til +70 Grader celsius	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Trykk	1-350 Bar	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Vann	Må tåle sjøvann	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
MTBF (Mean time between failures)	25år	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.

8.2 Vedlegg: STM32Fx Products Reliability Monitoring Results

STM32Fx Products Reliability Monitoring Results

MDG Group
MCD Quality & Reliability

Jul 2023





RELIABILITY MONITORING RESULTS STM32Fx Products



life.augmented

HTOL MONITORING (High Temp Operating Lifetest)	
Conditions: 125°C / 3.6V	Period: Q3 2021 to Q2 2023
48HRS	0/9366
168HRS	0/1757
504HRS	0/1757
1008HRS	0/1757

- EFR (Early Failure Rate, 60% C.L):
- Failure In Time $E_a=0.7eV$, 60%C.L@55°C:
- MTBF (Mean Time Between Failures) @ 25°C: 251566 Years
- MTBF @ 55°C: 20788 Years
- MTBF @ 85°C: 2609 Years

2 years Rolling
98 ppm
5.5 FITs

During the overall reliability monitoring, the EFR result is 0 FAIL.

The EFR result expressed in ppm is the maximum PPM level calculated with reliability monitoring. This number is limited by the sample size. It is not a failure distribution screened by our test.

However, we can estimate that the intrinsic quality level is much better. Enlarging this calculation to our whole STM32 microcontroller family, we have:

- ✓ <14 PPM (with 0 FAIL also limited by the sample size)
- ✓ <1 FITs

From STM32F customer returns analysis, the failure rate is <1ppm on 1 year (Reference 2022).



Thank you



© STMicroelectronics - All rights reserved.
ST logo is a trademark or a registered
trademark of STMicroelectronics
International NV or its affiliates in the EU
and/or other countries. For additional
information about ST trademarks, please
refer to www.st.com/trademarks.
All other product or service names are the
property of their respective owners..

IMPORTANT NOTICE – PLEASE READ CAREFULLY

STMicroelectronics International NV and its affiliates (“ST”) reserve the right to make changes corrections, enhancements, modifications, and improvements to ST products and/or to this document any time without notice.

This document is provided solely for the purpose of obtaining general information relating to an ST product. Accordingly, you hereby agree to make use of this document solely for the purpose of obtaining general information relating to the ST product. You further acknowledge and agree that this document may not be used in or in connection with any legal or administrative proceeding in any court, arbitration, agency, commission or other tribunal or in connection with any action, cause of action, litigation, claim, allegation, demand or dispute of any kind. You further acknowledge and agree that this document shall not be construed as an admission, acknowledgement or evidence of any kind, including, without limitation, as to the liability, fault or responsibility whatsoever of ST or any of its affiliates, or as to the accuracy or validity of the information contained herein, or concerning any alleged product issue, failure, or defect. ST does not promise that this document is accurate or error free and specifically disclaims all warranties, express or implied, as to the accuracy of the information contained herein. Accordingly, you agree that in no event will ST or its affiliates be liable to you for any direct, indirect, consequential, exemplary, incidental, punitive, or other damages, including lost profits, arising from or relating to your reliance upon or use of this document.

Purchasers should obtain the latest relevant information on ST products before placing orders. ST products are sold pursuant to ST’s terms and conditions of sale in place at the time of order acknowledgement, including, without limitation, the warranty provisions thereunder.

In that respect please note that ST products are not designed for use in some specific applications or environments described in above mentioned terms and conditions.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection, and use of ST products and ST assumes no liability for application assistance or the design of Purchasers’ products.

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, ST assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license, express or implied, to any intellectual property right is granted by ST herein.

Resale of ST products with provisions different from the information set forth herein shall void any warranty granted by ST for such product.

ST and ST logo are trademarks of ST. All other product or service names are the property of their respective owners.

Information in this document supersedes and replaces information previously in any prior version of this document.

© 2023 STMicroelectronics - All rights reserved
www.st.com

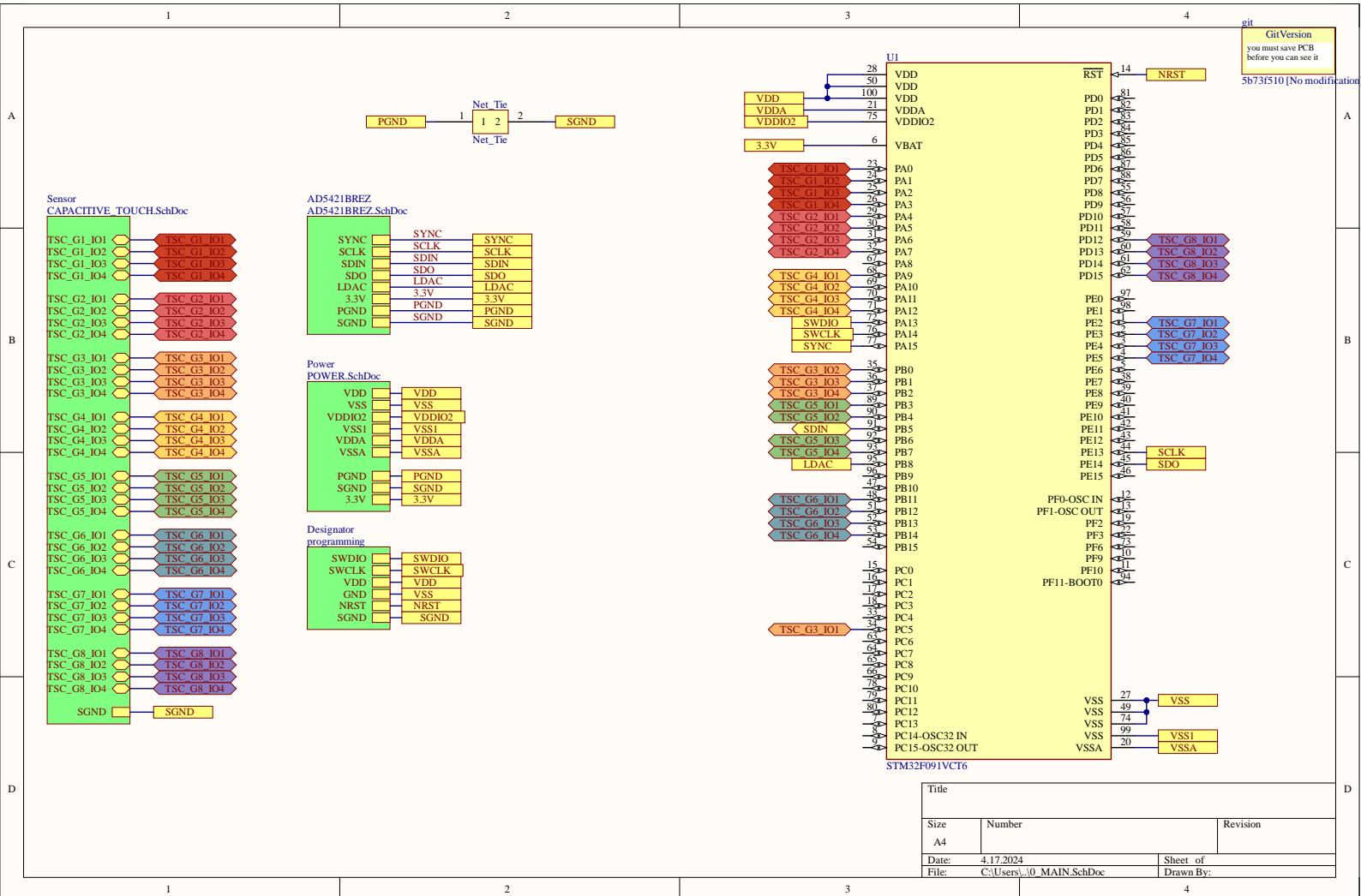


8.3 Vedlegg: Wafer Fabrication Data

0.6um DMOS Life Test Data Summary				
	25 deg C	55 deg C	85 deg C	125 deg C
Overall Sample Size	13199	13199	13199	13199
Qty. Fail	0	0	0	0
Equivalent Device Hrs	26337976323	2181720226	274311649	28093790
FIT Rate (60% CL)	0,03	0,42	3,34	32,62
MTTF (60% CL) in Hrs	28744149039	2381036818	299372086	30660370
FIT Rate (90% CL)	0,09	1,06	8,39	81,96
MTTF (90% CL) in Hrs	11438463082	947511151	119132299	12201005

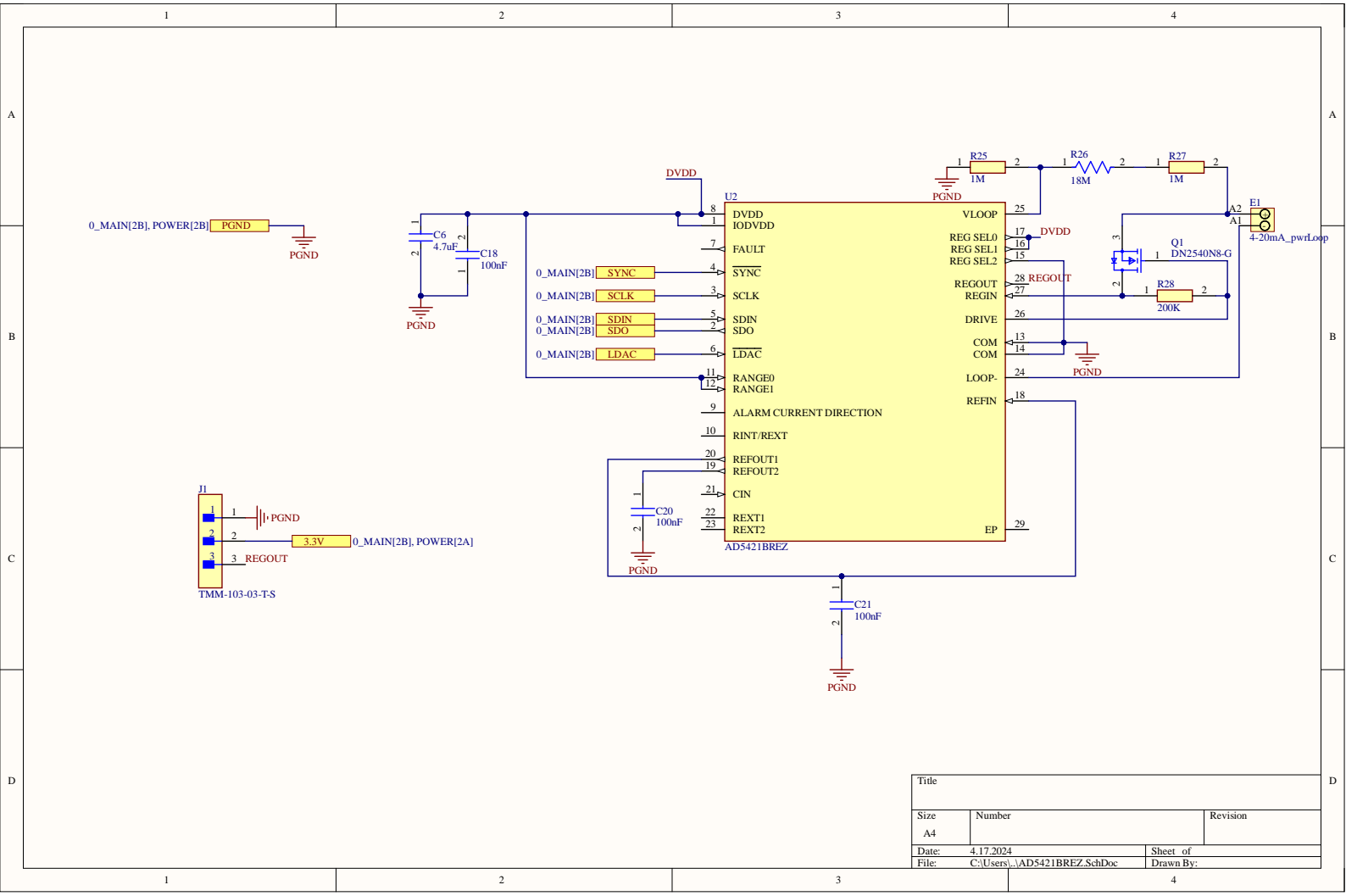
Figur 52: AD5421 Wafer Fabrication Data (Analog Devices 2024)

8.4 Vedlegg: Skjematikk

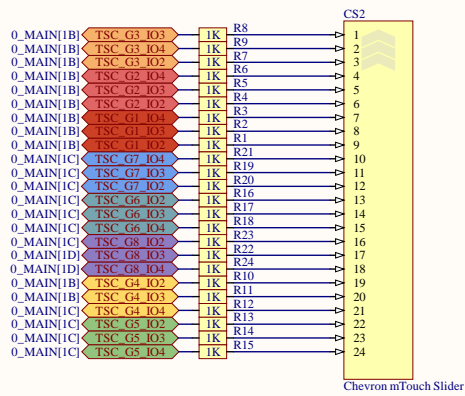
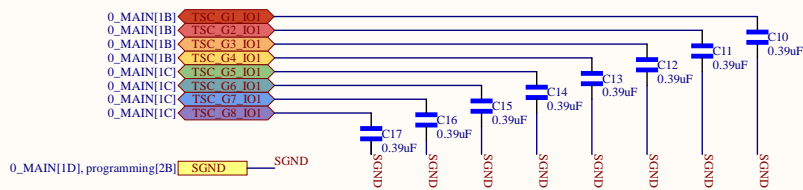


git
 GitVersion
 you must save PCB
 before you can see it
 5b73f510 [No modification]

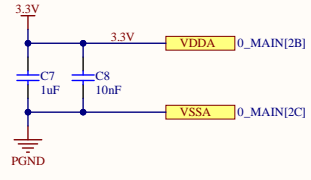
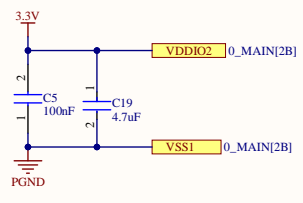
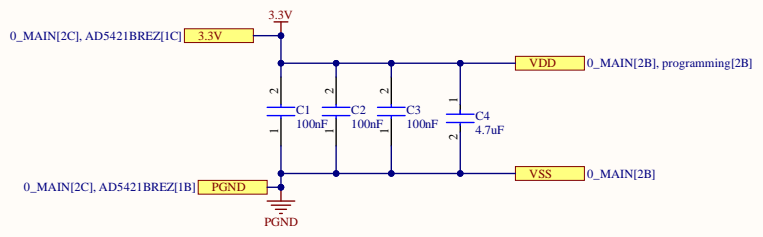
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4.17.2024	Sheet of
File:	C:\Users\...0 MAIN.SchDoc	Drawn By:



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4.17.2024	Sheet of
File:	C:\Users\...\AD5421BREZ_SchDoc	Drawn By:



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4.17.2024	Sheet of
File:	C:\Users\...CAPACITIVE TOUCH.Sch	Drawn By:



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4.17.2024	Sheet of
File:	C:\Users\...POWER_SchDoc	Drawn By:

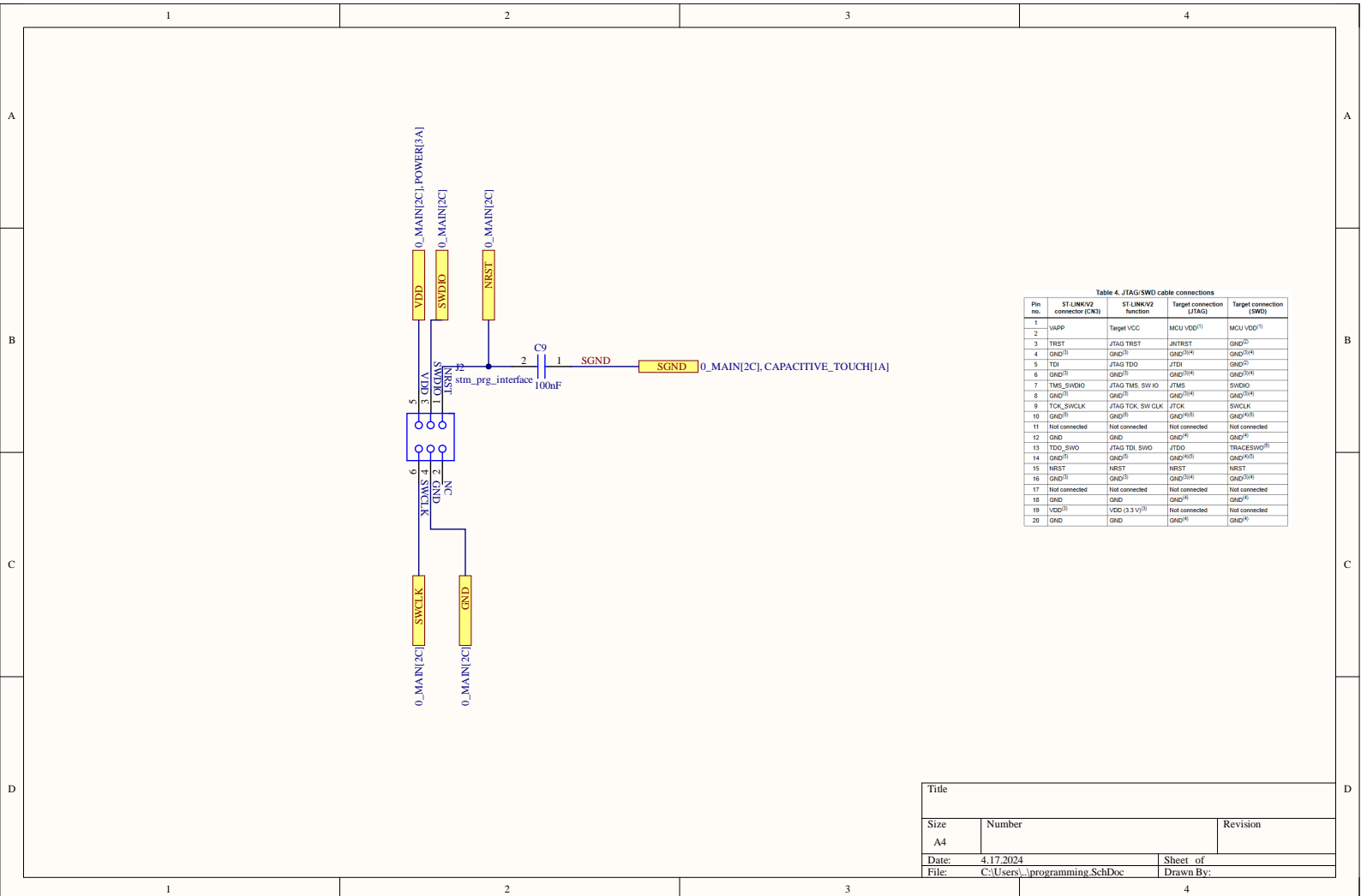
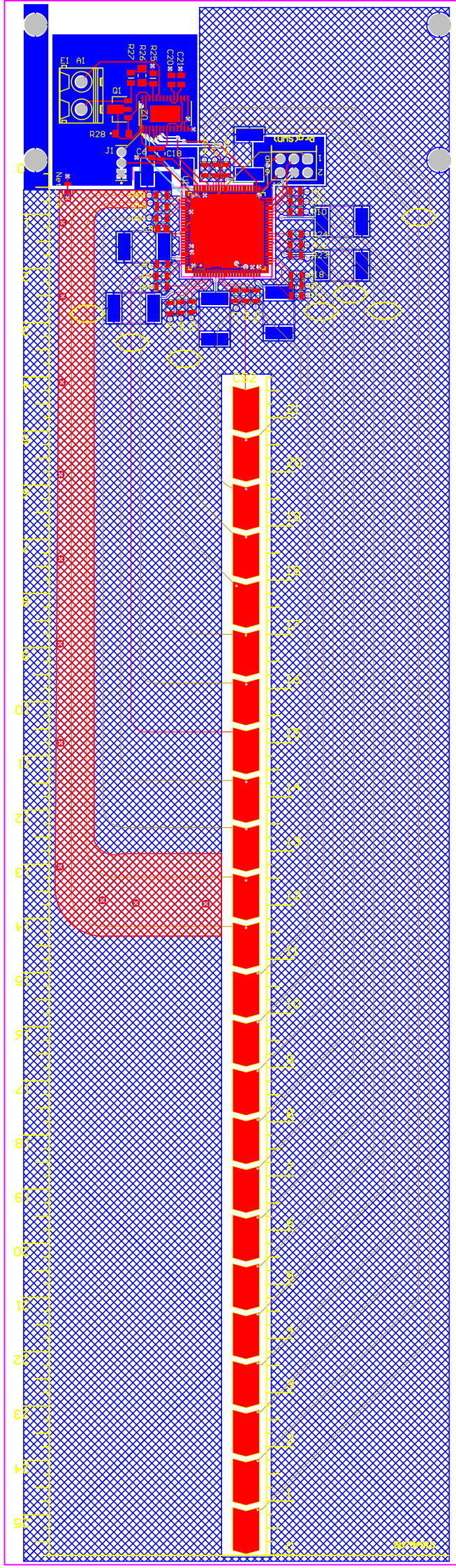


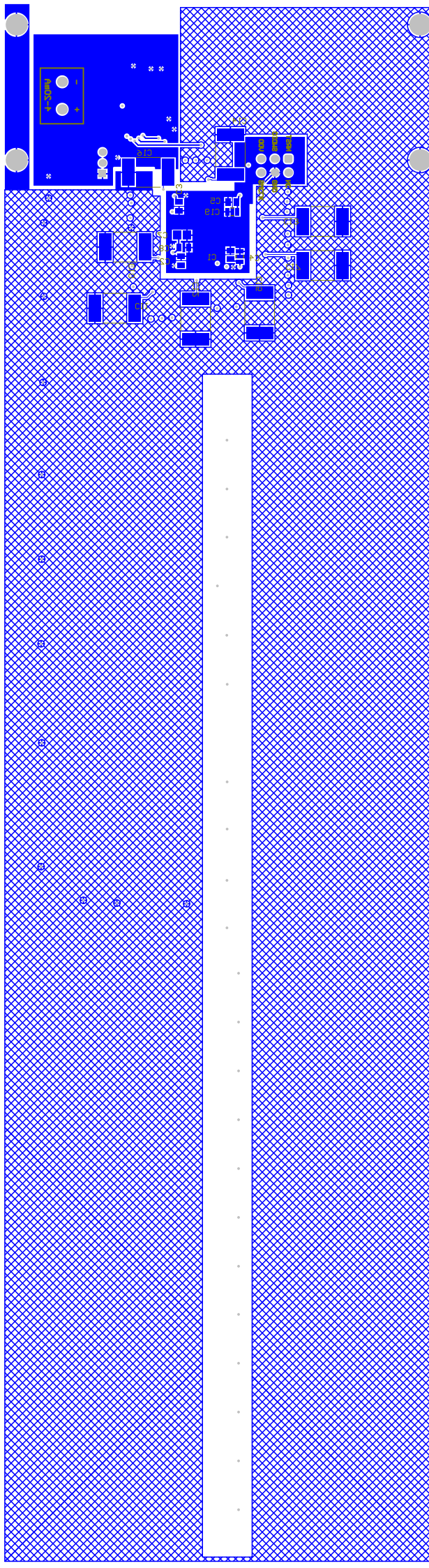
Table 4. JTAG/SWD cable connections

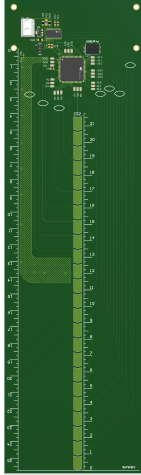
Pin no.	STLINK/V2 connector (CN2)	STLINK/V2 function	Target connection (JTAG)	Target connection (SWD)
1	VAPP	Target VCC	MCU VDD ⁽¹⁾	MCU VDD ⁽¹⁾
2	TRST	JTAG TRST	JNTRST	GND ⁽²⁾
3	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
4	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
5	TDI	JTAG TDO	JTDI	GND ⁽²⁾
6	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
7	TMS_SWIO	JTAG TMS, SWIO	JTMS	SWDIO
8	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
9	TCK_SWCLK	JTAG TCK, SW CLK	JTCK	SWCLK
10	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
11	Not connected	Not connected	Not connected	Not connected
12	GND	GND	GND ⁽²⁾	GND ⁽²⁾
13	TDO_SWO	JTAG TDI, SWIO	JTDO	TRACESWO ⁽⁵⁾
14	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
15	NRST	NRST	NRST	NRST
16	GND ⁽³⁾	GND ⁽³⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾	GND ⁽²⁾⁽⁴⁾
17	Not connected	Not connected	Not connected	Not connected
18	GND	GND	GND ⁽²⁾	GND ⁽²⁾
19	VDD ⁽³⁾	VDD (3.3 V) ⁽³⁾	Not connected	Not connected
20	GND	GND	GND ⁽²⁾	GND ⁽²⁾

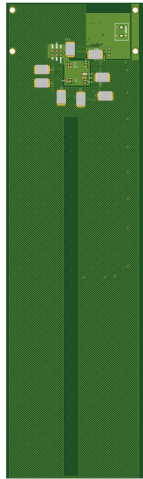
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4.17.2024	Sheet of
File:	C:\Users\...programming_SchDoc	Drawn By:

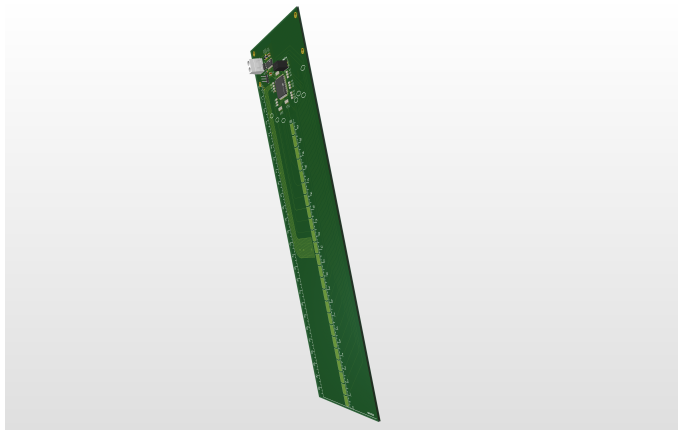
8.5 Vedlegg: PCB











8.6 Vedlegg: Partiellderiverte

$$\frac{\partial h}{\partial C_s} = \left(\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}} - 1 \right) \cdot \frac{d}{b\varepsilon} \quad (5a)$$

$$\frac{\partial h}{\partial d} = \left(\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}} C_s - C_s - C_{l,gnd} \right) \cdot \frac{1}{b\varepsilon} \quad (5b)$$

$$\frac{\partial h}{\partial b} = - \left(\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}} C_s - C_s - C_{l,gnd} \right) \cdot \frac{d}{b^2\varepsilon} \quad (5c)$$

$$\frac{\partial h}{\partial \varepsilon} = - \left(\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}} C_s - C_s - C_{l,gnd} \right) \cdot \frac{d}{b\varepsilon^2} \quad (5d)$$

$$\frac{\partial h}{\partial C_{l,gnd}} = - \frac{d}{b\varepsilon} \quad (5e)$$

$$\frac{\partial h}{\partial V_{IH}} = \left(-\frac{1}{n} \left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}-1} \cdot \left(\frac{1}{V_{dd}}\right) C_s \right) \cdot \frac{d}{b\varepsilon} \quad (5f)$$

$$\frac{\partial h}{\partial V_{dd}} = \left(-\frac{1}{n} \left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}-1} \cdot \left(\frac{V_{IH}}{V_{dd}^2}\right) C_s \right) \cdot \frac{d}{b\varepsilon} \quad (5g)$$

$$\frac{\partial h}{\partial n} = \left(-\ln\left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right) \cdot \left(1 - \frac{V_{IH}}{V_{dd}}\right)^{-\frac{1}{n}} C_s \right) \cdot \frac{d}{b\varepsilon n^2} \quad (5h)$$

8.7 Vedlegg:forprosjekt



IELET2900

BACHELOROPPGAVE

Forprosjekt

Oppgave 39

Georg Bøni Hofstad, Iver Leirvik, Eirik Lund og Alvar Guddingsmo

Februar 2024

Tittelside Bacheloroppgave BIELEKTRO

Oppgavetittel: Vanninntrengningsmonitor (Water Ingress Monitor)		
Forfattere:	Prosjektnummer:	39
Georg Bøni Hofstad	Innleveringsdato:	20.05.2024
Iver Leirvik	Gradering:	<input checked="" type="checkbox"/> åpen
Eirik Lund		<input type="checkbox"/> lukket
Alvar Guddingsmo		
Studium:	Elektroingeniør - BIELEKTRO	
Studieretning:	Elektronikk og sensorsystemer	
Veileder internt:	Terje Mathiesen	
Institutt:	Institutt for Elektriske Systemer	
Oppdragsgiver:	Proserv Norge AS	
Kontaktperson:	Erik Lyng, erik.lyng@proserv.com, 98644799	
Sammendrag (norsk og engelsk):		
<p>Forprosjektet tar for seg planlegging av bacheloroppgavens gjennomføring. Temaet for prosjektet er utviklingen av en løsning som kan måle tilstedeværelse av vann, samt vannivået i subsea control-systemer. Formålet med forprosjektrapport er å definere og avgrense oppgaven, samt prosjektplanlegging.</p>		
<p>The pre-project focuses on planning the implementation of the bachelor's thesis. The topic of the project involves the development of a solution capable of measuring the presence of water and the water level in subsea control systems. The purpose of the pre-project report is to define and delimit the task, as well as project planning.</p>		
Stikkord norsk:	Stikkord engelsk:	
energi, elektrisitet, vannkraft, programmering, klima, miljø	energy, electricity, hydropower, programming, climate, environment	

Innhold

1 Innledning	4
1.1 Bakgrunn	4
1.2 Oppgaveteksten	4
Ordlister	5
Forkortelser	5
2 Teknisk del	6
2.1 Problemstilling	6
2.2 Prosjekt mål	6
2.2.1 Effektmål	6
2.2.2 Resultatmål	6
2.2.3 Prosessmål	7
2.3 Prosjektbeskrivelse	7
2.4 Spesifikasjoner	7
2.5 Problemområder	8
2.6 Målemetoder	9
2.6.1 Kapasitiv sensor	9
2.6.2 Ultralydsensor	9
2.6.3 Optisk sensor	10
2.6.4 Guidet radar	10
3 Arbeidspakker	11
3.1 Forprosjekt	11
3.2 Teori	12
3.3 Simulering	12
3.4 Prototyping	12
3.5 Design/utvikling	12
3.6 Konstruksjon og lodding	12
3.7 Testing	12
3.8 Rapport	12
4 Prosjektorganisering	13
4.1 Prosjektdeltagere	13
4.2 Utstyr og ressurser	13
4.3 Prosjektleveranser	13
4.4 Tids- og kostnadsplan	14

4.5	Kvalitetssikring	16
4.6	Risikovurdering	17
4.6.1	Sikkerhet	17
5	Vedlegg	21
5.1	Vedlegg 1	21
5.2	Vedlegg 2	24

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Prosjektoppgaven kommer fra Proserv, et selskap som tilbyr produkter og tjenester innenfor offshore energi. Selskapet leverer elektroniske systemer som gir kundene kontroll, overvåkning og datainnsamling for anleggene deres. Herunder finnes blant annet undervanns- og overflatekontrollsystemer. Samtidig tilbyr proserv også tjenester innen optimalisering og dataanalyse.

Proserv legger vekt på at deres løsninger gir lettere tilgjengelighet til informasjon om tilstand av anlegg. I tillegg har Proserv som ambisjon å optimalisere ytelsen og forlenge levetiden til anlegget. Dette oppsummeres tydelig gjennom en setning i 'about us'-siden deres der de skriver:

”Our intelligence insights allow more effective operations and maintenance (O&M) while the improved visibility on the integrity and condition of assets enables better performance, sustained reliability and ultimately extended life of critical infrastructure”(Proserv, 2023)

1.2 Oppgaveteksten

I oppgavebeskrivelsen formulerer proserv problemet slik:

”I våre Subsea Control-systemer er det avgjørende å opprettholde kontroll over vanninntrenging, da dette i verste fall kan føre til systemfeil. For øyeblikket bruker vi en enkel indikator som signaliserer tilstedeværelsen av vann, men gir ikke informasjon om vannivået. Det er et betydelig behov for nivåovervåking, da dette kan gi oss muligheten til å vurdere omfanget av vanninntrengingen. På denne måten kan vi planlegge utskiftingen av en defekt modul i god tid og dermed unngå nedetid og produksjonsstans. Enhver utskifting eller produksjonsstans medfører betydelige kostnader. Jo mer informasjon vi har om tilstanden, desto bedre kan vi planlegge operasjonene og bidra til å redusere kostnadene for våre kunder”

For den fulstendige oppgaveteksten se vedlegg 1.

Ordliste

FAT Factory acceptance test er en test som utføres hos produsenten eller fabrikken for å vise til kunden at produktet fungerer. I en FAT vil kundens system og det rundtliggende systemet være simulert. 16

Gantt sitat: "Et Gantt-diagram, noen ganger kalt Gantt-skjema, er en type søylediagram som illustrerer et prosjekts tidsplan og avhengigheter mellom forskjellige arbeidsoppgaver. Gantt-skjemaet illustrerer datoer for start- og sluttidspunkt for oppgavene i prosjektet og viser et sammendrag av prosjektet" (Wikipedia, 2023a). 14

Intromission Beskriver når signalet blir overført fra ett medie til et annet. Høy intromission vil si lite refleksjoner. Ofte i sammenheng med lyd og elektromagnetiske bølger når en eksempelvis går fra olje til vann (Han mfl., 2019). 9

Kretskort (PCB) : "Innen elektronikk brukes kretskort til montering av elektroniske komponenter. Foruten å samle og holde komponentene fast er kretskortets oppgave å lage elektriske forbindelser mellom komponentenes bein."(Wikipedia, 2015) . 12

Lint sitat: "Lint is the computer science term for a static code analysis tool used to flag programming errors, bugs, stylistic errors and suspicious constructs. The term originates from a Unix utility that examined C language source code. A program which performs this function is also known as a linter."(Wikipedia, 2024). 16

LTSpice LTSpice er et "Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis" (SPICE) program utviklet av Analog devices for å simulere elektroniske kretser. 12

Ruting ruting beskriver prosessen å bestemme hvor og hvordan de elektriske koblingene i kretskortdesignet skal legges. 12

SAT Site acceptance test er en test av produktet i det reelle miljøet det skal benyttes. I en SAT vil kundens system og det reelle rundtliggende systemet vær benyttet. 16

Transduser sitat: "En transduser (engelsk: transducer) er en komponent som omvandler en form av energi til en annen. Eksempel på typer energi er elektrisk, mekanisk, elektromagnetisk (for eksempel lys), kjemisk, akustisk og termisk energi." (Wikipedia, 2023b). 9

Utlegg Utlegg er filene og designet av mønsterkortet. 12

Forkortelser

O&M operations and maintenance. 4

PUKK Planlegging, utføring, kontroll og korrigerings. 16

ROHS Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment. 18

SIIS Subsea Instrumentation Interface Standardisation. 7, 8

ToF Time-of-Flight. 9

2 Teknisk del

2.1 Problemstilling

I Proserv's undervanns kontroll-systemer er vanninntrenging et problem, som i verste fall kan føre til systemfeil. På grunn av dette, ønsker Proserv en måte å oppdage og overvåke hvor raskt en eventuell vanninntrenging skjer. Dagens løsning benytter en resistiv måling for å få to alarmnivåer. Denne løsningen sier ikke noe om hvor fort vannet trenger inn eller det aktuelle nivået. De har også laget en prototype med kapasitiv måling som kan måle i et kontinuerlig område. Denne prototypen ga et ustabil signal på grunn av mye støy. Hensikten med prosjektet blir derfor å forbedre eller erstatte dagens løsning for å gi mer nøyaktig, presis og pålitelig informasjon om vanninntrengingen.

2.2 Prosjekt mål

2.2.1 Effektmål

Effektmålet som er ønsket, er å redusere den totale nedetiden til anlegget. Bedre informasjon om vanninntrengning, vil gjøre det mulig å planlegge utskiftingen av defekte moduler i god tid og dermed unngå nedetid og produksjonsstans.

2.2.2 Resultatmål

Gjennom prosjektet skal det utvikles et produkt som oppfyller spesifikasjonene som er gitt av oppdragsgiver. Det skal også leveres en utdypende rapport om produktet og alternative løsninger. Tidsfristen for innlevering av rapport er 20. mai.

2.2.3 Prosessmål

Gruppens hovedmål er å levere et godt arbeid, og derigjennom oppnå en god karakter på oppgaven. Et annet viktig mål er å få innsikt i arbeidslivet og erfaringer knyttet til å jobbe ute i en bedrift. Videre er det ønskelig å tilegne seg erfaring ved å jobbe med et prosjekt som er av et større omfang enn en har gjort tidligere, og derigjennom bli bedre på å utvikle elektronikk.

2.3 Prosjektbeskrivelse

Bacheloroppgaven går ut på å lage en vannintrengingsmonitor innenfor gitte spesifikasjoner som skal forbedre, eller erstatte dagens løsning for å gi mer nøyaktig, presis og pålitelig informasjon om vanninntrenging. For å få en bedre oversikt over oppgaven har den blitt delt inn i fire faser med sammenlagt ni arbeidspakker. Prosjektet starter med en teoretisk fase der det jobbes med undersøkelse av sensorteori og målesystemet. Denne fasen inneholder tre arbeidspakker. Disse er forprosjekt, generell teori og simulering. Når dette er ferdig begynnes det på utviklingsfasen der det skal testes kretser og målemetoder. Videre skal mønsterkort designes, bestilles og loddes opp. Denne fasen er delt opp i prototyping, design, bestilling og lodding, tilsammen fire arbeidspakker. For å forsikre kvalitet på sluttresultatet trenges det en testfase, der det jobbes med testing og testutvikling for å oppdage mulige feil. Siste fase av prosjektet består av utbedring og ferdigstilling av rapporten. Rapportskrivningen vil skje parallelt med deler av utviklingsfasen og hele testfasen.

2.4 Spesifikasjoner

Prosjektet har flere spesifikasjonskrav, både fra Proserv's interne krav og begrensninger relatert til produktets plassering. Nedenfor presenteres en tabell over spesifikasjoner knyttet til oppgaven. Her inkluderes spesifikasjoner for måleområdet til produktet, samt krav til målenøyaktighet og presisjon. Det er også spesifisert fysiske krav til produktet, som omhandler temperatur, trykk og toleranse til sjøvann. Til slutt må produktet overholde industristandarden SIIS level 1.

Beskrivelse	Krav	Kommentar
Grensesnitt (Interface)	SIIS Level 1 Interface (4-20mA)	Dette er en industristandard som er mye brukt for eksterne sensorer i Subsea-instrumentering. Denne standarden muliggjør strøm- og datatilgang via et enkelt kablepar uten behov for avanserte modulasjonsteknikker.
Målområde (Range)	0-20cm	Ikke et definitivt krav.
Nøyaktighet (Accuracy)	+/-4mm (2%)	Målenøyaktighet kan kalibreres, derfor kan det gis noe rom her.
Målepresisjon (Precision/Zero Drift)	+/-1mm (+0.5%)	Vi må kunne stole på at vi oppdager forandringer, men det er ikke et definitivt krav.
Temperatur	-18 til +70 Grader celsius	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Trykk	1-350 Bar	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Vann	Må tåle sjøvann	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
MTBF (Mean time between failures)	25år	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.

2.5 Problemområder

Det er to hovedproblemer i dette prosjektet. Det er effektbegrensningen og stabilitet. På grunn av at produktet skal benytte SIIS level 1 for strømtilførsel og kommunikasjon er det begrenset med effekt som kan benyttes. Dette begrenser måleprinsipper som kan benyttes og gjør at en må være konservativ med effektforbruk i design. Det andre hovedproblemet er stabilitet. I oppdragsgiver sin prototype var det dårlig stabilitet. Produktet må designes slik at det er innenfor spesifikasjonene (nøyaktighet og presisjon) på tross av støy og usikkerhet iboende i valgt design og målemetode. Dette trenger ikke være et problem, men det er begrenset med designiterasjoner så det er lite rom for å gjøre feil eller lære fra erfaring.

2.6 Målemetoder

Det er mange forskjellige metoder for vannivå- og vannmengdemåling. Det ble derfor nødvendig å konsentrere seg om noen få målemetoder. I løpe av forprosjektet har vi utforsket mange forskjellige måleprinsipper, men valgte å finne ut mer om fire målemetoder. Målemetodene vi mente egnet seg best var de som baserte seg på kapasitans, ultralyd, optikk og radar.

2.6.1 Kapasitiv sensor

En kapasitiv sensor fungerer som en kondensator. En metallplate i følerflaten til sensoren er elektrisk koblet til en intern oscillatorrets. Målet som skal detekteres fungerer som kondensatorens andre plate. Kapasitive sensorer produserer et elektrostatisk felt (Moermond, 2024). Kapasitiv deteksjon har blitt en populær metode for å måle væsknivå. Fordelene med kapasitiv deteksjon sammenlignet med andre deteksjonsmetoder er at den kan detektere forskjellige typer materialer. For eksempel hud, plast, metall, væske. Den behøver ikke direkte kontakt, er slitasjefri og har evnen til å detektere over store avstander med små sensorstørrelser. Designes sensoren som en del av et mønsterkort vil den være billig, og det er en løsning som bruker lite strøm (Wang, 2022). Det er ingen bevegelige deler og krever minimalt vedlikehold. Måleprinsippet er bredt testet, effektivt og sikkert (Point, 2022). Det er flere måter en kapasitiv sensor kan designes. Større sensorflate øker følsomheten og dynamikkområdet til målingene, men gir også høyere sjanse for at sensoren påvirkes av støy eller forstyrrelser i det omkringliggende miljøet (Wang, 2022).

2.6.2 Ultralydsensor

Ultralyd for avstandsmåling baserer seg på Time-of-Flight (ToF). Det er et prinsipp der det måles hvor lang tid det går fra det sendes ut en puls fra en transducer til refleksjonen av pulsen kommer tilbake. For å kunne bruke ToF er det nødvendig å vite lyd hastigheten i mediumet som blir målt. Lyd hastighet varierer med tetthet, salinitet, temperatur og trykk (Webb, 2023). Hvor stor sensitiviteten til lyd hastigheten er i forhold disse faktorene er ikke funnet ut, den mistenkes å være liten (The University of Rhode Island, 2021). Sensiviteten kan nok påvirke målenøyaktighet, men svaret blir nok ikke misvisende. Den neste utfordringen med ultralyd er refleksjoner. Refleksjoner oppstår når lyd hastigheten til to forskjellige medium er ulik. Olje og vann har lyd hastigheter som ikke ligger langt fra hverandre (Precision Flow Ltd, 2015). Ved rette forhold, f. eks temperatur kan det oppstå intromission (Han mfl., 2019). Det er når all effekten til lyden blir overført til det neste mediumet. Dette betyr at det ikke er refleksjoner. Selv om "intromission"-problemet er usannsynlig, kan det fortsatt bli svake refleksjoner som er vanskelig å måle blant all støyen. Sist, men ikke minst det største problemet med ultralyd er transduseren. Det

er ikke blitt funnet noen transduser som passer til problemstillingen. Størrelse, effektbruk, frekvensområde, retning og trykk er alle variabler som gjør det vanskelig å finne en passende transduser. Dette må ikke misforstås som at måleprinsippet ikke er mulig for oppgaven, men at en passende transduser ikke har blitt funnet. Det er mulig å lage en egen transduser som svarer på alle variablene nevnt ovenfor, men det ville tatt tid og ikke blitt ferdig i løpe av bacheloroppgaven. Det er derfor vurdert at det bør ses på andre måleprinsipper før det eventuelt velges ultralydsensor. Måleprinsippet stiller sterkt, muligens som plan B.

2.6.3 Optisk sensor

Ved undersøkelse av optiske sensormetoder finnes det mest teori om bruk ved skille mellom luft og væske (Junfeng Ge mfl., 2019), (Xingqiang Chi, 2022). Disse sensormetodene fungerer ikke når en prøver å finne skillet mellom olje og vann. En artikkel som omhandler sensormetoder for skillet mellom vann i bensin- og diesel-tanker gir en mulighet. (Antonio M. Pozo, 2016) Det er usikkerhet om dette fungerer i forhold til vår oppgave, siden den er brukt for å oppdage skille mellom diesel eller bensin mot vann. Metoden er ny for prosjektdeltagerene. Den vil kreve tid og resurser til teori og konstruksjon av sensoren. Eventuelt kan det testes en målemetode basert på forskjellen på absorpsjon av lys i vann og olje. Usikkerheten i denne målemetoden er stor og hadde krevd mye tid til testing. Alternativet er å se på alternativ lyskilde. Videre måtte en sett på forskjell mellom LED, laser og om det er mulig å få tak i disse. Det er en mulighet for at dette ikke fungerer på grunn av at olje absorberer for mye lys.

Det er stor usikkerhet koblet til optiske målemetoder. Av de fire det alternativene det har blitt sett på kommer den optiske dårligst ut.

2.6.4 Guidet radar

Radar benytter mange av de samme teknikkene som ultralydsensor, men i stedet for å sende et signal som lyd sendes signalet som elektromagnetisk stråling. Måling av skillet mellom vann og dielektrisk olje er allerede utprøvd og skal ikke være et problem (ABM, 2024). Radar har de samme problemene med strålingsvinkel som ultralyd har. En vanlig metode for å minske strålingsvinkelen er å benytte en stav for å guide strålene langs staven.

Det finnes ferdige integrerte kretser (IC) som krever lite kunnskap om radar for å benytte måleprinsippet (Acconeer, 2024). Det er usikkert om det lar seg gjøre å feste en stav for guiding eller på annet vis redusere strålingsvinkelen.

Det finnes løsninger hvor store deler av radarsystemet er integrert i en eller flere ICer, men hvor antennen må designes selv. Dette kan gjøre det mulig å designe kretsen etter egen

bruk og gjøre det til en guidet radarsystem. Den største utfordringen ved en slik løsning er den økte kompleksiteten. Radar er i utgangspunktet en god løsning for problemet og den lar seg gjennomføre fra et teknisk ståsted. Derimot har gruppen ingen kjennskap til radar og det er trolig at løsningen vil kreve mer kunnskap, tid og resurser enn det som er planlagt i bacheloroppgaven.

I utforskningen av målemetoder har det blitt vurdert mange måleprinsipper, men bachelorgruppen har kommet til konklusjonen at det er tre målemetoder som er aktuelle. Det er de basert på kapasitans, ultralyd og radar. Disse måleprinsippene har gjennom teori og litteratur vist seg å være de best egnet i forhold til kompleksitet, tid, kvalitet og kost. I bacheloroppgaven vil det kun være tid til å utvikle et produkt basert på et av måleprinsippene. Ut av de tre målemetodene kommer målemetoden basert på kapasitans sterkest ut. Det er fordi bachelorgruppen tenker at det er det måleprinsippet som det er størst sjans for å få et tilfredstillende resultat i løpe av to designiterasjoner.

3 Arbeidspakker

3.1 Forprosjekt

Forprosjektet skal leveres som en skriftlig rapport tidlig i prosjektperioden. Forprosjektet setter rammene for resten av bacheloroppgaven. Den skal blant annet ha en forstudie og definere problemstillingen. I forstudien ble det valgt bort målemetoder som er for kompliserte, for dyre, tar for lang tid eller usikkerhet er høy. Videre skal den inneholde beskrivelse av arbeidspakker, tidsplan og oversikt over tilgjengelig ressurser (penger og tid). Forprosjektet leveres til veileder og oppdragsgiver og skal godkjennes av disse (NTNU, 2023). Kulepunkttoppsummering:

- Beskrivelse av prosjektet med problemstilling.
- Organisering, mål og rammer, i prosjektet.
- Plan for gjennomføring, oppfølging og kvalitetssikring av prosjektet.
- Oversikt over utstyr, arbeidsplass, osv.
- Risikovurdering.
- Mulige samfunnseffekter av arbeidet.

3.2 Teori

Når forprosjektet er ferdig, går en videre over til teori. Teorien vil gå ut på å gjøre et dypdykk i en eller flere målemetoder. Dette er for å få full forståelse for hvordan målemetodene fungerer. Teorien vil også handle om å få en forståelse for målemiljøet og hvordan det påvirker målesystemet. Denne kunnskapen tar en med seg videre til prototypefasen.

3.3 Simulering

Simuleringer er satt av til å skje samtidig som teorien. Kunnskapen fra teorien vil legge grunnlaget for simuleringene. Ideen er å simulere elektronikken og bruke LTSpice som simuleringsverktøy.

3.4 Prototyping

For å teste funksjonaliteten til de simulerte kretsene, er det nødvendig å utvikle en eller flere prototyper. Målet med dette er å sikre at kretsene fungerer som forventet innenfor det tiltenkte bruksområdet. Ved å oppdage eventuelle mangler og uønskede oppførsler tidlig, kan vi starte feilsøking og rette feil før vi går videre med utviklingen av mønsterkort.

3.5 Design/utvikling

Design og utvikling av mønsterkort er en viktig del av prosjektet. Utviklingsprosessen starter med et skjematisk design som er basert på prototypen. Deretter er det valg av komponenter og ruting, etterfulgt av utlegg av kretskort.

3.6 Konstruksjon og lodding

Består av plassering av komponenter og lodding.

3.7 Testing

Testingen starter med en visuell inspeksjon for å identifisere åpenbare feil. Det neste steget er funksjonstesting. Dette gjennomføres ved å sette opp et testscenario som ligner på det reelle bruksområdet. Denne testen vil gi gode indikasjoner på om produktet oppfyller designspesifikasjonene.

3.8 Rapport

Til slutt skal det ferdigstilles en rapport som skal gi en helhetlig oversikt over bakgrunn, gjennomføringen og resultatene til prosjektet, samt konsekvensene av disse. Rapporten skal leveres inn senest 20. mai.

4 Prosjektorganisering

4.1 Prosjektdeltagere

Ansvar for aktiviteter i bacheloroppgaven blir fordelt når det blir aktuelt. I bacheloroppgaven er det flat gruppestruktur. Avgjørelser blir tatt i samråd med alle prosjektdeltagerne og uenigheter blir avgjort ved flertall.

- Eirik Lund går elektronikk og sensorsystemer. Han gikk idrett på videregående og tok et halvt års forkurs.
- Georg Bøni Hofstad går elektronikk og sensorsystemer. Han har tatt fagbrev og er utdannet automatiker. Han har jobbet et halvt år for Tine med dette. Videre gikk han på forkurs.
- Alvar Guddingsmo går elektronikk og sensorsystemer. På fritiden har han et frivillig verv hos Vortex. De lager marine droner. Han har hatt vervet i et halvt år.
- Iver Leirvik går elektronikk og sensorsystemer. På videregående gikk han automatisering, men tok påbygg og spesiell studiekompetanse. På fritiden har han hatt design og konstruksjon av motorkontroller som hobbyprosjekt.

4.2 Utstyr og ressurser

1. LTspice XVII: Program for simulering av kretser.
2. Altium Designer: Program for utvikling av mønsterkort.
3. JLCPCB: firma som produserer mønsterkort.
4. Dielektrisk olje: Oljen systemet skal stå i.
5. Komponenter og utstyr: Mulighet til å bestille ønsket komponenter og utstyr, i samråd med oppdragsgiver.
6. Grupperom: Rom der gruppen kan jobbe med bacheloroppgaven hos oppdragsgiver.

4.3 Prosjektleveranser

Prosjektet har mottakerene Proserv og NTNU. Proserv skal kunne benytte, produsere, videreutvikle og validere produktet. Det vil også være relevant å oppfylle dokumentasjonskravene i **forskrift om elektrisk utstyr** (EUropean-Union, 2011a), vedlegg II). Dette gir at Proserv trenger:

1. EDA-filer av kretskortdesignet.

2. El-skjema.
3. Kildekoden til programmet.
4. Testprosedyrer med resultat.
5. Dokumentasjon som beskriver bruk.
6. Kjente problemer og merknader ved produktet.

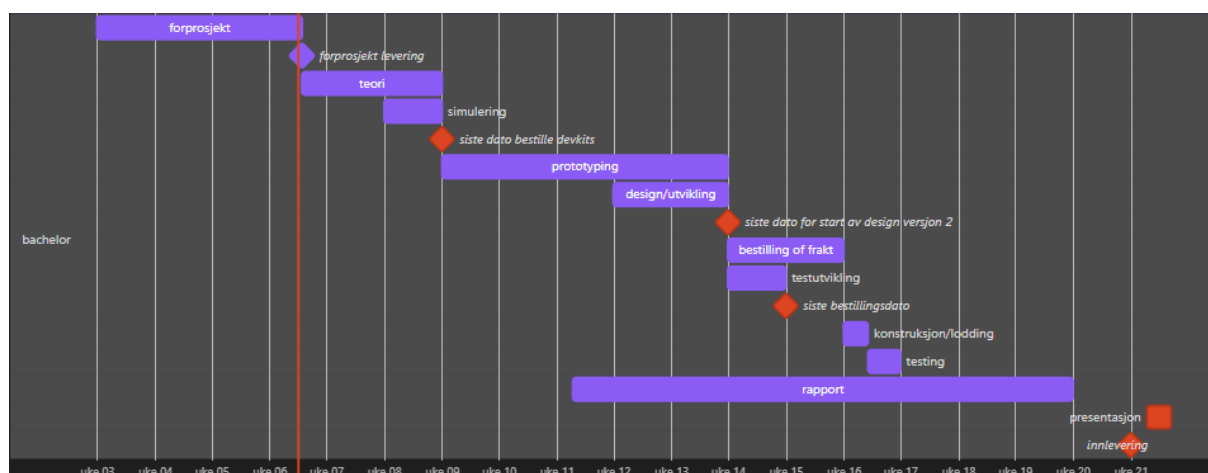
Siden arbeidet foregår hos Proserv vil oppfølging av leveransen trolig ikke trenge en fremgangsrapport.

NTNU som mottaker av prosjektet skal kunne vurdere prosjektet og prosjektprosessen. NTNU sin veileder skal også kunne følge med på framgangen til prosjektet. Dette gjør at NTNU som mottaker trenger:

1. Forprosjektet.
2. Prosjektrapport.
3. Presentasjon.
4. Fremgangsrapport underveis.

En god del av hva NTNU og Proserv skal ha av leveransen vil være sammenfallende. En prosjektrapport vil måtte nevne tesprosedyre, bruk av produktet og problemer. Forskjellen ligger i dybden og måten temaene blir presenter og vil være forskjellig fra tekniske dokumenter som Proserv har nytte av.

4.4 Tids- og kostnadsplan

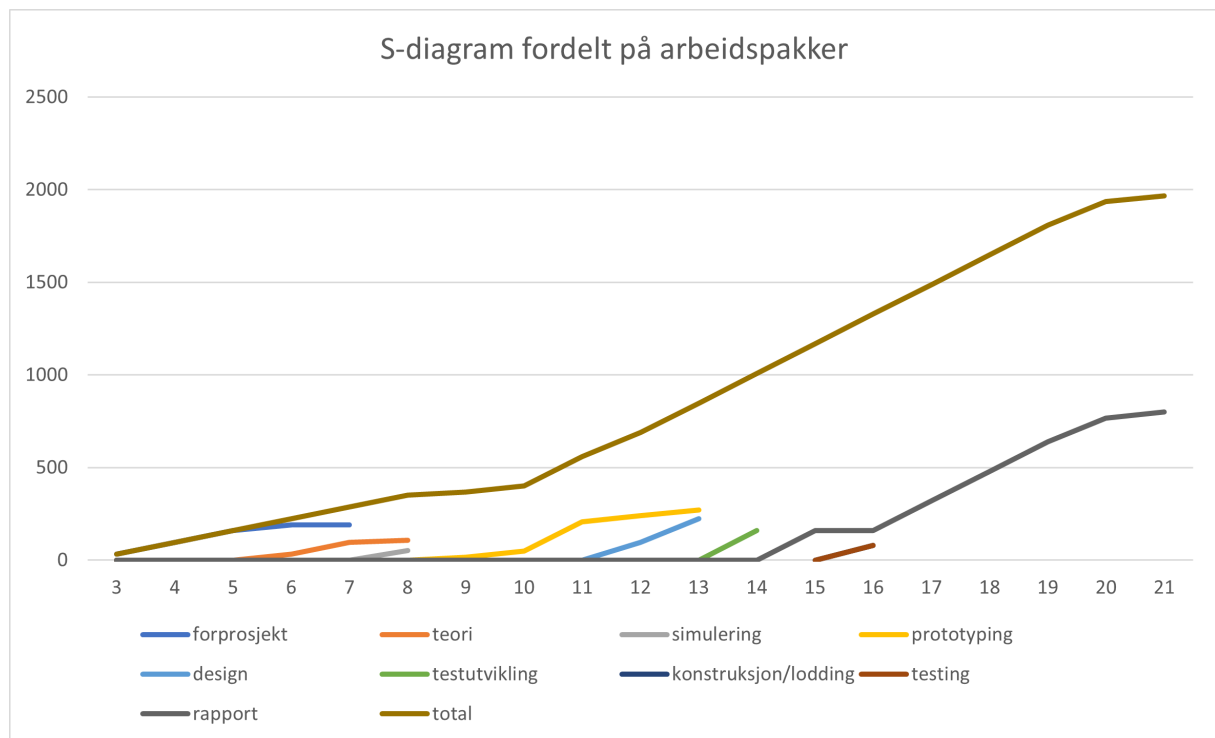


Figur 1: gannt diagram over de viktigste prosjektfasene og milepærlene. Skalaen i Gannt-diagrammet viser uken i året det aktuelle arbeidet skal foregå.

tilgjengelige ressurser per. Uke	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Total
																				2208
uke (timer)																				
forprosjekt	32	64	64	32																192
teori				32	64	12,8														108,8
simulering							51,2													51,2
prototyping								16	32	160	32	32								272
design											96	128								224
testutvikling													160							160
konstruksjon/lodding															80					80
testing														80						80
rapport													160		160	160	160	128	32	800

Figur 2: oversikt over tilgjengelig tid og anslag av hvor mye tid hver arbeidspakke får tilgjengelig ut i fra gantt-diagrammet

Det er antatt å ha tilgjengelig rundt 2200 arbeidstimer. Dette er basert på åtte timer arbeid per dag. Grunnen til at det ikke er på 2400 som antatt i oppgavemanualen er fordi det er antatt mindre arbeidskapasitet frem til uke 10. Dette medfører også at visse arbeidspakker som simulering får veldig liten tid.



Figur 3: S-diagram som viser antatt akkumulert arbeidsmengde for de forskjellige arbeidspakkene samt total arbeidsmengde

4.5 Kvalitetssikring

For å kvalitetssikre sluttrapporten vil Planlegging, utføring, kontroll og korrigerings (PUKK) være en viktig metode for å sikre kvalitet over prosjektet. PUKK beskriver en iterativ prosess for å oppdage avvik gjennom kontroll. For å så korrigere kvalitetsavvik og bruke dette for å endre framtidig planlegging og utføring. Dette er en overordnet metode for selve prosjektprosessen og sier ingenting om verktøy som skal benyttes for å sikre god kvalitet.

Statusrapportering er en måte å sikre at partene er informert om gjeldene status i prosjektet og er dermed en del av kontroll i PUKK-metoden. Innad i gruppen vil statusrapportering stor grad bestå av verbal kommunikasjon. Det samme gjelder tildels opp mot Proserv siden gruppen jobber i deres lokaler, men noe av statusrapporteringen vil måtte være en skrevet statusrapport. NTNU vil i større grad kreve statusrapporter og dokumenter for å kunne følge med på fremgang og kvalitet av det de skal ha i leveransen.

For å kunne si konkret hvordan en ligger an tidsmessig vil en tidsplan være nødvendig. Tidsplanen er brukt for å få ett overordnet blikk over hvor lang tid hver del av prosjektet vil bruke. Denne kan brukes for å estimere hvordan avvik til tidsfrister vil forplante seg i resten av prosjektet.

De ulike arbeidspakkene har ulike verktøy og metoder for å sikre god kvalitet. Disse metodene kommer i tillegg til verktøy som trengs for å sikre kvaliteten til prosjektgjennomføringen:

- Kretskortdesign.
 - Prototyping.
 - Simulering.
 - Validering tilgjengelig gjennom Altium.
- Programmering
 - linter.
 - Testsystem.
 - Kodestandard.
 - Statisk analyseverktøy.
 - Debugging verktøy.
- Ferdig produkt
 - Testing.
 - Testing ved bruk av Proserv sine testmetoder.
 - FAT og SAT.

- Rapportskriving.
 - Rapportmal.
 - Rettskrivningsprogrammer.
 - Gjennomlesning.

4.6 Risikovurdering

I denne rapporten blir risikoer fordelt inn i to kategorier, gjennomførbarhet og sikkerhet. Gjennomførbarhet går ut på om prosjektet lar seg gjennomføre. Sikkerhet handler om hva som kan skade mennesker.

Faktorer som kan true gjennomførbarheten til prosjektet kan være forsinkelser, sykdom, oppgavens kompleksitet og andre uforutsette hendelser. Siden oppgaven blir skrevet hos en bedrift kan det nevnes mulighet for konkurs og manglende økonomisk støtte. Det kan være flere forskjellige typer forsinkelser. Det kan være utenforstående forsinkelser som bestillinger og leveranser, men også innad i prosjektgruppen. Sykdom i prosjektgruppen kan føre til forsinkelser og i verste fall prosjektstopp.

Flere av arbeidspakkene er en del av prosjektets kritiske vei. Dette medfører at disse oppgavene vil føre til forsinkelse i hele prosjektet hvis de blir forsinket. Dette er tildels kritisk for oppgaver, eksempelvis kretskortutlegget, som er vanskelig å dele mellom flere gruppe-medlemmer. Uforutsette hendelser kan være konflikt i verden eller pandemi.

4.6.1 Sikkerhet

Sikkerheten under bacheloroppgaven er begrenset til arbeidsplass og praktisk arbeid som vil bli utført. Brann kan forekomme. Det er derfor viktig å skrive seg inn i Proserv sin gjestebok slik at alle vil bli gjort rede for.

Ved praktisk arbeid er de to største risikoene varme og strømgjennomgang. I utgangspunktet er det kun 24V strømforsyninger som er nødvendige for prosjektgjennomføring. Det skal derfor ikke være fare for liv og helse grunnet strømgjennomgang så lenge utstyret er i god stand og blir brukt riktig.

Loddebolter har temperaturer på flere hundre grader celsius. det er dermed fare for brannskader ved berøring av varm del. Det er viktig å benytte personlig verneutstyr som briller, langærmet genser og hansker. I tillegg vil det under lodding dannes gasser som er giftige.

Det må derfor være god ventilasjon for å unngå at giftige gasser blir inhalert ved lodding (farnell, 2013).

Loddetin og komponenter kan inneholde bly. Regelverket for bruk av bly er veldig strengt. Dette medfører at det er forbudt å selge elektronikk som inneholder bly, med noen unntak (Lovdata, 2013) (EUropean-Union, 2011b). Import fra andre land medfører risiko for å få tak i komponenter og loddetin med bly og det vil dermed være nødvendig å sjekke om produktene har ROHS eller tilsvarende godkjenning. Hvis produktene ikke er det, må enten en erstatning benyttes eller ekstra sikkerhetstiltak iverksettes.

For å sikre at utstyr blir brukt på riktig måte er det viktig at det gis tilstrekkelig opplæring. Dette er spesielt viktig å påpeke siden bacheloroppgaven foregår hos Proserv, hvor ingen av gruppedeltakerene har kjennskap til utstyret. Det er lite trolig feil bruk medfører stor fare for liv og helse, men det kan føre til materielle skader.

Under testing er det nødvendig å simulere miljøet hvor sensoren skal benyttes. Dette betyr at det vil benyttes dielektrisk olje. Dielektrisk olje er irriterende for hud og øyne og er farlig ved svelging. Oljen er merket med **kronisk helsefare**. Sikkerhetsdatabladet anbefaler å benytte håndvern og hudvern hvis langvarig kontakt er sannsynlig. Øyevern med sidebeskyttelse hvis kontakt er sannsynlig. Det skal benyttes åndedretsvern hvis det mangler tilstrekkelig ventilasjon. Det er også anbefalt å praktisere god personlig hygiene ved å vaske seg etter håndtering samt vaske arbeidstøy regelmessig (ExxonMobil, 2022).

Kortslutning av kretskort vil medføre partikkel- og gassdannelse. Det er utydelig hvor mye farlige stoffer som dannes, men det vil dannes stoffer når kretskortet varmes opp til et par hundre grader (Guo mfl., 2020, s. 5). For å unngå dette vil en strømforsyning som er stilt inn for å begrense utgangseffekten, samt tilstrekkelig ventilasjon være nok.

Referanser

- ABM. (2024). *Oil Water Interface Level Detection*. <https://abmsensor.com/oil-water-interface-detector/> Hentet. 08.02.2024.
- Acconeer. (2024). *products*. <https://www.acconeer.com/products/> Hentet. 08.02.2024.
- Antonio M. Pozo, F. P.-O. O. R. (2016). *A Continuous Liquid-Level Sensor for Fuel Tanks Based on Surface Plasmon Resonance*. *Sensors*, 16(5), Artikkel 5. <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/5/724> Hentet. 08.02.2024.
- EUropean-Union. (2011a). *DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF Forskrift om elektrisk utstyr*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-10-10-1598> Hentet. 02.02.2024.
- EUropean-Union. (2011b). *DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipmen*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065> Hentet. 01.02.2024.
- ExxonMobil. (2022). *SIKKERHETSATABLAD, MOBILECT 44*. <https://www.mobil.no/nb-no/consumer-products/mobilect-44> Hentet. 01.02.2024.
- farnell. (2013). *sikkerhetsdatablad, HMP 362 5C*. <https://www.farnell.com/datasheets/1812724.pdf> Hentet. 01.02.2024.
- Guo, J., Luo, X., Tan, S., Ogunseitan, O. A., & Xu, Z. (2020). *Thermal degradation and pollutant emission from waste printed circuit boards mounted with electronic components*. <https://escholarship.org/uc/item/25d3g0fp> Hentet. 01.02.2024.
- Han, D.-G., Seo, H.-C., Cho, S., & Choi, J. W. (2019). *Measurements of Normal Incidence Reflection Loss as a Function of Temperature at the Water-Castor Oil Interface*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6696023/#B47-sensors-19-03289> Hentet. 07.02.2024.
- Junfeng Ge, M., IEEE, C. Z., Xin Cheng, Gui, K., Zhang, W., Cheikh, F. A., & Ye, L. (2019). *Reflected light intensity-modulated continuous liquid level sensor based on oblique end face coupling optical fibers*. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2642030/F1.pdf?sequence=1> Hentet. 08.02.2024.
- Lovdata. (2013). *Forskrift om begrenning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter. Kapittel 2a*. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922/KAPITTEL_3#KAPITTEL_3 Hentet. 01.02.2024.
- Moermond, J. (2024). *Hva er en kapasitiv sensor?* <https://automation-insights.blog/2017/06/07/what-is-a-capacitive-sensor/> Hentet. 08.02.2024.
- NTNU. (2023, 8. desember). *Prosjektmanual Bacheloroppgave 2023/2024*.
- Point, C. (2022). *Capacitive Level Sensors – The Right Choice*. <https://crosspoint.it/en/capacitive-level-sensors-the-right-choice/> Hentet. 07.02.2024.

- Precision Flow Ltd. (2015). *Speed of Sound in Common Liquids*. http://www.precisionflow.co.uk/speed_of_sound.htm Hentet. 07.02.2024.
- Proserv. (2023). *Technology ethos - Proserv*. <https://www.proserv.com/technology-ethos/> Hentet. 09.02.2024.
- The University of Rhode Island. (2021). *Sound Travel in the SOFAR Channel*. <https://dosits.org/science/movement/sofar-channel/sound-travel-in-the-sofar-channel/#:~:text=On%20the%20left%20is%20a%20plot%20of%20sound,waves%20as%20they%20travel%20away%20from%20the%20source>. Hentet. 07.02.2024.
- Wang, D. (2022). *FDC1004: Basics of Capacitive Sensing and Applications*. https://www.ti.com/lit/an/snoa927a/snoa927a.pdf?ts=1705610489111&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F Hentet. 07.02.2024.
- Webb, P. (2023). *Introduction to oceanography: Sound*. <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/6-4-sound/#:~:text=The%20temperature%20effects%20dominate%20at%20the%20surface%2C%20so,low%2C%20the%20speed%20of%20sound%20increases%20with%20depth>. Hentet. 07.02.2024.
- Wikipedia. (2015). *Kretskort*. <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Kretskort&oldid=15193045> Hentet. 09.02.2024.
- Wikipedia. (2023a). *gannt*. <https://no.wikipedia.org/wiki/Gantt-diagram> Hentet. 09.02.2024.
- Wikipedia. (2023b). *transduser*. <https://no.wikipedia.org/wiki/Transduser> Hentet. 09.02.2024.
- Wikipedia. (2024). *Lint (software)*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lint_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lint_(software)) Hentet. 09.02.2024.
- Xingqiang Chi, X. K., Xiangjun Wang. (2022). *Optical Fiber-Based Continuous Liquid Level Sensor Based on Rayleigh Backscattering*. <https://www.mdpi.com/2072-666X/13/4/633#B6-micromachines-13-00633> Hentet. 08.02.2024.

5 Vedlegg

5.1 Vedlegg 1

Oppgaveforslag bacheloroppgave elektroingeniør (BIELEKTRO) i Trondheim, vårsemester 2024

Navn bedrift: Proserv Norge As	Kontaktperson: Erik Lyng / Håken K. Lunn Epost: erik.lyng@proserv.com / haken.lunn@proserv.com Telefon/mobil: 98644799 / 40095222	
Tittel på oppgave: Vanninntrengningsmonitor (Water Ingress Monitor)		
Hvilke studieretninger passer oppgaven for? (kryss av for alle aktuelle retninger; flervalg er mulig):	Automatisering og robotikk	<input checked="" type="checkbox"/>
	Elektronikk og sensorsystemer	<input checked="" type="checkbox"/>
	Elkraft og bærekraftig energi	<input type="checkbox"/>
Er oppgaven reservert for noen bestemte studenter? (skriv navnene på studentene inn til høyre)		
Har dere arbeidsplass for studentene	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> usikker?	
Er dette en lukket oppgave? Dvs. at sluttrapporten ikke kan publiseres fordi den inneholder sensitiv informasjon.	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> ikke enda bestemt	

Kort beskrivelse av oppgaven med problemstilling.

I våre Subsea Control-systemer er det avgjørende å opprettholde kontroll over vanninntrenging, da dette i verste fall kan føre til systemfeil. For øyeblikket bruker vi en enkel indikator som signaliserer tilstedeværelsen av vann, men gir ikke informasjon om vannivået. Det er et betydelig behov for nivåovervåking, da dette kan gi oss muligheten til å vurdere omfanget av vanninntrengingen. På denne måten kan vi planlegge utskiftingen av en defekt modul i god tid og dermed unngå nedetid og produksjonsstans. Enhver utskifting eller produksjonsstans medfører betydelige kostnader. Jo mer informasjon vi har om tilstanden, desto bedre kan vi planlegge operasjonene og bidra til å redusere kostnadene for våre kunder.

Vi ønsker å holde denne oppgaven åpen og gir derfor kun noen veiledende tekniske krav. Vi ser for oss at systemet skal bygges rundt en mikrokontroller, der filtrering og data prosessering skal utføres av kontrolleren. Vi ønsker også å utforske ulike måleteknikker for vannivåavlesning for å evaluere hvilken som best egner seg for et Subsea Control-system.

Vi foretrekker at gruppen jobber hos oss, og vi vil legge til rette for dette så godt vi kan.

System spesifikasjon:

Beskrivelse	Krav	Kommentar
Grensesnitt (Interface)	SIIS Level 1 Interface (4-20mA)	Dette er en industristandard som er mye brukt for eksterne sensorer i Subsea-instrumentering. Denne standarden muliggjør strøm- og datatilgang via et enkelt kablepar uten behov for avanserte modulasjonsteknikker.
Målområde (Range)	0-20cm	Ikke et definitivt krav.
Nøyaktighet (Accuracy)	+4mm (2%)	Målenøyaktighet kan kalibreres, derfor kan det gis noe rom her.
Målepresisjon (Precision/Zero Drift)	+1mm (+0.5%)	Vi må kunne stole på at vi oppdager forandringer, men det er ikke et definitivt krav.
Temperatur	-18 til +70 Grader celsius	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Trykk	1-350 Bar	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
Vann	Må tåle sjøvann	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.
MTBF (Mean time between failures)	25år	Krav til ferdig produkt, ikke nødvendigvis til konseptet.

5.2 Vedlegg 2

RISIKOANALYSE bacheloroppgave forprosjekt

Enhet/Institutt:	Insitutt for elektroniske systemer	Dato opprettet:	09.02.2024
Ansvarlig linjeleder (navn):		Sist revidert:	12.02.2024
Ansvarlig for aktiviteten som risikovurderes (navn):			
Deltakere (navn):	Iver Leirvik, Georg Bøni Hofstad, Alvar Guddingsmo og Eirik Lund		

Beskrivelse av den aktuelle aktiviteten, området mv.:

Risikoanalysen omfatter hele bacheloroppgaven. Det vil si prosjektgjennomføringen, rapportskrivning, prototyping, utvikling, konstruksjon og testing. Man kan dele risikoanalysen inn i det som påvirker gjennomføring og sikkerhet.

Aktivitet/ arbeidsoppgave	Mulig uønsket hendelse	Eksisterende risikoreducerende tiltak	Vurdering av sannsynlighet (S)	Vurdering av konsekvens (K)				Risikoverdi (S x K)	Forslag til forebyggende og/eller korrigerende tiltak Prioriter tiltak som kan forhindre at hendelsen inntreffer, foran skjerpet beredskap.	Restrisiko etter tiltak (S x K)
				Vurder en konsekvenskategori om gangen. Menneske skal alltid vurderes.						
			(1-5)	Menneske (1-5)	Øk/materiell (1-5)	Ytre miljø (1-5)	Omdømme (1-5)			
Prosjektgjennomføringen	Sykdom	Fortøpende dialog i bachelorgruppen. Kontakte veileder om	3	1	1	1	1	3		
Prosjektgjennomføringen	Leveranseforsinkelser	Leveranseforsinkelser er forventet i tidsplan. Det er planlagt å jobbe med andre oppgaver. F. eks rapport.	4	1	3	1	1	12		
Prosjektgjennomføringen	Arbeidsforsinkelser	Skulle det oppstå arbeidsforsinkelser må man legge en ny tidsplan og tiltak for å få løst oppgaven.	4	1	2	1	2	16		
Prosjektgjennomføringen	Konkurs	Arbeidet kan fortsettes på egenhånd. Kostnader knyttet til bacheloroppgaven er begrenset. Oppstår det hendelser utenfor vår kontroll må man være proaktiv og kontakte veileder.	1	1	2	1	1	2		
Prototyping/testing	Strømgjennomgang	Bruke strømforsyning	2	3	1	1	1	6	Vurder størrelsen på strømmen. Ved lave strømmen er risikoen lav. Ved større spenninger eller strømmen må man kontakte legehjelp.	3
Konstruksjon	Varme/brannskade	Vernebriller. Hansker.	2	3	2	1	2	24		
Konstruksjon	Innhalering av giftige gasser.	Luftavtrekk.	2	1	1	1	1	2		

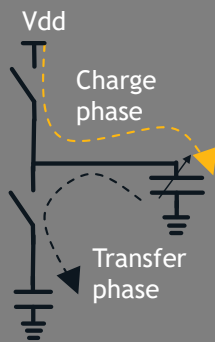
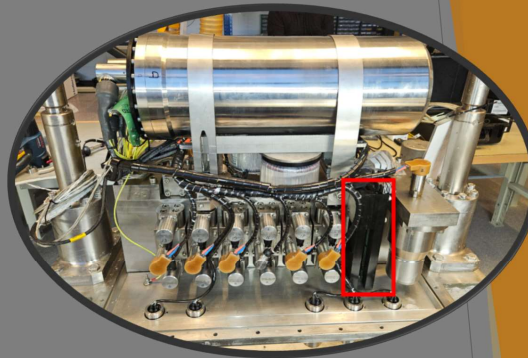
<i>Konstruksjon</i>	Eksponering for bly	Avtrekk. Forsikre seg at komponenter har RoHS-sertifisering har RoHS-sertifisering.	2	1	1	1	1	2		
<i>Testing</i>	Eksponering for dielektrisk olje.		2	2	1	1	2	8	Vurdere om kontakt med oljen er sannsynlig. Kontakt med oljen må skje med sikkerhetsstyr. Finnes det en risiko for kontakt med olje må vernebriller brukes.	4

Water Ingress Monitor for subsea control modules

The purpose of the project is to improve or replace the current solution to provide more accurate, precise, and reliable information about the water intrusion

Background:

In Proserv's subsea control module, water intrusion represents a significant challenge. In the most severe scenario, this can result in system failure, which in turn can lead to operational downtime. Proserv wants a way to detect and monitor how quickly any water intrusion occurs, in order to plan maintenance or replacement. The water ingress monitor must be able to distinguish between oil and water. This is because the subsea control module is filled with dielectric oil for pressure compensation.



Method:

Using STMicroelectronics capacitive touch capabilities to measure water intrusion and determine the water level. This method operated by placing 24 touch plates in a linear configuration, where each plate had its own measurement area. Upon contact with water, the capacitance of the respective touch plate will change. This change can then be registered by a microcontroller. This procedure ensures an accurate and reliable measurement of water intrusion.

Results:

The employed measurement methodology has exhibited a protracted stabilization period. However, this characteristic is deemed inconsequential due to the inherently slow nature of the process under observation. The overarching principle of measurement demonstrates promising potential for future applications. The developed prototype encompasses a measurement range extending from 0 to 21.6 cm. The system's accuracy is quantified at 0.36 mm, while the Precision/Zero Drift is measured at 7.2 μm . These metrics collectively underscore the system's precision and reliability in monitoring the specified process.

Conclusion:

Based on the tests and the results of the tests, it appears that the water ingress monitor is a good solution to the problem. The results show that it is very accurate and has good precision, but there are some deficiencies that need to be corrected, such as the SIIS Level 1 Interface, before it is a finished product.



