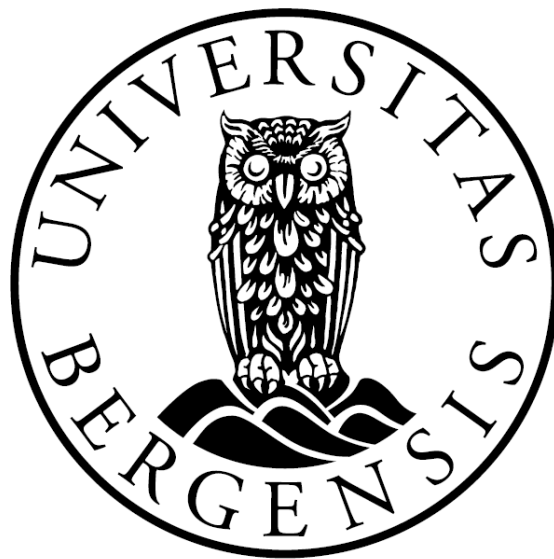


Optisk goniometer for optimalisering av retningsbestemt solenergi



Kristian Frette

Masteroppgave i målevitenskap og instrumentering

Institutt for fysikk og teknologi

Sammendrag

Det er et økende fokus på fornybar energi og bærekraftig matproduksjon, det vil derfor være nyttig med teknologi som kan føre til økt effektivitet i produksjon av dette. Utnyttelse av solenergi er et felt som er mye brukt, og kan blant annet brukes til å produsere strøm med solcellepanel eller til å dyrke alger i tanker for matproduksjon. Alger vil både kunne brukes som kosttilskudd og som fiskefôr i oppdrettsnæringen.

I dette prosjektet er det undersøkt hvilken effekt det har å orientere en flate i forskjellige retninger mot himmelen. En slik flate kan for eksempel være et solcellepanel eller en tank med alger. For å automatisere disse målingene er det utviklet et instrument som kan gjøre målinger i ønskede retninger til ønskede tider. Det er også utviklet et styringssystem for å kontrollere instrumentet.

Målingene som er gjort viser at det å ha et mekanisk system som orienterer flaten mot solen øker produksjonen på dager med klart vær. For en måling som ble gjort den 4. mai 2017, en dag med klart vær, var den gjennomsnittlige irradiansen 40% høyere for en flate som var orientert mot solen enn for en som var orientert horisontalt. Irradians er et mål på strålingsenergien som mottas og den oppgis i W/m^2 . Når det er overskyet er det vist at denne fordelingen forsvinner, og at den også kan ha en negativ effekt. En måling som ble gjort 9. mai 2017, en dag det var overskyet og regn, viste at den gjennomsnittlige irradiansen som traff en horisontal flate var 14% høyere enn den som traff flaten som orienterte seg etter solen.

Forord

Dette prosjektet er utført i samarbeid med Institutt for fysikk og teknologi ved Universitetet i Bergen og markerer avslutningen av mine studier ved Universitetet i Bergen.

Først vil jeg takke mine utmerkede veiledere, Børge Hamre og Bjørn Tore Hjer-taker, for god hjelp og støtte gjennom hele prosjektperioden. Børge har vært en god støttespiller i forbindelse med datatolkning, og Bjørn Tore har vært en viktig bidragsyter i forbindelse med motorstyringen.

En stor takk rettes til Roald Langøen ved verkstedet på Institutt for fysikk og teknologi for hans bidrag til byggingen av goniometeret og for å alltid være vennlig og hjelpsom.

Jeg vil også takke Rachid Maad for hans innsats og hjelp med å programmere sensorene, selv om vi ikke kom helt i mål med å lage egen programmvare for styring av de.

Sist, men ikke minst ønsker jeg å takke mine studiekamerater, venner, familie og min kjære Anita for deres støtte og motiverende ord.

Blank side

Innhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduksjon | 1 |
| 1.1 | Mål med prosjektet | 3 |
| 1.1.1 | Design og sammenstilling av goniometeret | 4 |
| 1.1.2 | Programvareutvikling | 4 |
| 1.1.3 | Eksperimenter | 4 |
| 1.2 | Bakgrunn og motivasjon | 4 |
| 1.3 | Rapportens disposisjon | 5 |
| 2 | Design av optisk goniometer | 6 |
| 2.1 | Mekanisk design | 6 |
| 2.2 | Elektrisk design | 13 |
| 2.3 | Steppermotor | 21 |
| 2.4 | Styring av motorene | 24 |
| 2.4.1 | FPGA-VI | 25 |
| 2.4.2 | Host-VI | 26 |
| 2.5 | Kabelhåndtering | 32 |
| 3 | Ramses radiometer | 36 |
| 3.1 | Innebygget spektrometer | 37 |
| 3.1.1 | Spektral radians og spektral plan irradians | 38 |
| 3.1.2 | Irradianssensor | 40 |
| 3.1.3 | Radianssensor | 42 |
| 3.2 | Datagrensesnitt mot Ramses radiometer | 44 |
| 4 | Eksperimenter | 49 |
| 4.1 | Plassering av goniometeret | 49 |
| 4.2 | Karakterisering | 51 |
| 4.3 | Databehandling | 53 |
| 4.4 | Målinger | 57 |
| 4.4.1 | Irradiansmålinger | 58 |
| 4.4.2 | Aerosolmålinger | 64 |
| 4.5 | Feilkilder i målingene | 72 |
| 5 | Oppsummering og konklusjon | 73 |
| 6 | Videre arbeid | 74 |
| | Referanser | 75 |

Tabeller

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Fasene de ulike ledningene fra steppermotorene hører til. | 15 |
| 2 | Motorkonstantene for steppermotorene [10]. | 27 |
| 3 | For å kunne måle mot alle punkter må noen omregninger gjøres. Hvilke avhenger av asimutvinkelen. | 34 |
| 4 | Innstillinger som må brukes for å kommunisere med TriOS Ramses, via RS232. | 44 |
| 5 | Beskrivelse av de 8 bytene som sendes til sensoren. | 46 |
| 6 | Beskrivelse av bytene som mottas fra sensoren. Det er noen som har faste verdier, mens resten er målte verdier. | 46 |
| 7 | Kommandoene som sendes til sensorene fra programvaren MSDA_XE. | 47 |

Figurer

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Det elektromagnetiske spekteret. | 2 |
| 2 | Figuren viser et spekter ved en måling av himmelen med tilhørende bølgelengder og farger. | 2 |
| 3 | Koordinatene goniometeret kjører etter er basert på asimutvinkel, ϕ og polarvinkel, θ | 6 |
| 4 | Første goniometerdesign. | 7 |
| 5 | Klammer for feste av radiometer. Boltene gjør det enkelt å stramme klammene rundt radiometeret som skal brukes. | 8 |
| 6 | Motvekten (1), motorholderen (2), motoren (3), og sensorholderen (4 og 5) lager moment om festepunktet. Er det likevekt om festepunktet, vil rotasjon av radiometerholderen kreve så lite energi som mulig, samtidig som det vil føre til mer stabile bevegelser. | 9 |
| 7 | Inspirasjon til strukturen av understellet er hentet fra I-bjelker. . . | 11 |
| 8 | Motoren som styrer asimutvinkelen er festet til en plate som igjen er festet til understellet. | 11 |
| 9 | Gjengeverktøyet som ble brukt til å lage gjenger i aluminiumsprofilene. | 12 |
| 10 | Skjematisk oppstilling av det elektriske styringssystemet. 9503 er stepperdrivere og 9215 utfører spenningsmålingene. Grønne piler viser data som blir sendt fra cRIO, blå piler viser data som blir sendt til cRIO og røde piler viser strømtilførsel. | 13 |
| 11 | cRIO-9063, benyttet i prosjektet. | 13 |
| 12 | NI-9503, stepperdriveren som er brukt i prosjektet. | 14 |
| 13 | Stepperdriver med kabler koblet til strøm og motor. | 15 |
| 14 | Ledningene som ble brukt ble loddet for å gjøre dem mer robuste. . | 16 |
| 15 | Referansebrytere av denne typen er brukt for å finne startposisjonen før målingene starter. | 16 |
| 16 | Når bryteren ikke er trykket ned, vil det være kobling mellom A og C, men ingen kobling mellom B og C. I dette prosjektet gjøres spenningsmålingen mellom B og C, og det vil derfor måles en spenningsforskjell når bryteren er i denne posisjonen. | 17 |
| 17 | Når bryteren er trykket ned, vil det ikke være kobling mellom A og C, men det vil være kobling mellom B og C. I dette prosjektet gjøres spenningsmålingen mellom B og C, og det vil derfor ikke måles noen spenningsforskjell når bryteren er i denne posisjonen. | 17 |
| 18 | Skjematisk tegning av oppsettet med brytere og analog inputmodul som brukes når goniometeret skal gå til startposisjonen. Loddede knutepunkt er markert med en rød prikk. | 18 |

| | | |
|----|---|----|
| 19 | Knutepunktene i kretsen det gjøres spenningsmålinger over referansebryterene er loddet og isolert med krympestrømper. | 19 |
| 20 | NI-9215, analog inputmodul som er brukt i prosjektet. | 19 |
| 21 | NI PS-15, strømforsyningen som er brukt for å gi strøm til cRIO og stepperdriverene. | 20 |
| 22 | Bilde av en av de to steppermotorene som er brukt i prosjektet. Denne styrer asimutvinkelen. | 21 |
| 23 | Rundt rotoren i steppermotorene er det 8 elektromagneter, og ved strømsetting av disse, blir rotoren satt i bevegelse. | 22 |
| 24 | Når elektromagneten er nordpol og rotoren er sørpol, vil tennene trekkes mot hverandre. Dette er drivkraften i en hybrid steppermotor. | 23 |
| 25 | Flytdiagrammet viser rekkefølgen på operasjonene i motorstyringen. | 24 |
| 26 | Motorene er styrt av en datamaskin, og kommunikasjonen går gjennom en host-VI og en FPGA-VI. | 24 |
| 27 | Det første som skjer i motorstyringen er at kommunikasjon med motorene opprettes via FPGA-VI-en, motorene nullstilles og motorkonstantene lastes inn. | 26 |
| 28 | En VI fra National Instruments ble brukt til å bestemme koeffisienterne <i>torque smoothing gain</i> og <i>torque smoothing phase</i> , som skal sørge for glattere kjøring. | 27 |
| 29 | Flytdiagrammet viser prosessen som utføres når motorene går til referansebryterene. | 28 |
| 30 | VI som omformer koordinatene til bevegelseskommandoer som sendes til motorene. | 30 |
| 31 | Den utviklede programvaren som er brukt for å styre motorene. . . | 31 |
| 32 | Startposisjonen til asimutvinkelen er satt slik at en forandring i polarvinkelen vil peke sensoren rett mot sør eller nord. Polarvinkelens startposisjon er rett opp. | 32 |
| 33 | For å unngå at kablene skades i tannhjulene eller vindes opp er toppen av goniometeret satt til å kun rotere ± 90 grader fra startposisjonen. Det skraverete området viser hvilke punkter sensoren kan måle mot om det brukes positive polarvinkler. | 33 |
| 34 | Ved å bruke negative polarvinkler og regne om noen av koordinatene vil det kunne måles mot alle punkt i den øvre halvkule, selv om det kun brukes asimutvinkler mellom 180- og 360 grader. Posisjonene som er markert med røde kryss kan nås ved å gå til posisjonene med grønne haker, og bruke negativ polarvinkel med samme verdi. . . . | 34 |
| 35 | Ramses radianssensoren montert i goniometeret. | 36 |

| | | |
|----|---|----|
| 36 | Flytsdiagrammet viser hvordan kommunikasjonen mellom datamaskinen og radiometeret går via TriOS PS101 plus, og at det brukes en USB-RS232 kabel. | 37 |
| 37 | Lysset som måles kommer inn gjennom en optisk kabel og går gjennom en <i>slit</i> , en liten åpning før det blir spredt av et gitter. Hvor mye lyset blir spredt er avhengig av bølgelengden, det vil derfor treffe forskjellige elementer på fotodioderekken som måler intensiteten for de forskjellige bølgelengdene. De mørke kanalene er brukt for å redusere støy i målingene. | 37 |
| 38 | Irradianssensoren har en flat, spredende måleflate, noe som gjør at den måler den plane irradiansen over alle retninger i den øvre halvkule. | 40 |
| 39 | Lambert's cosine law beskriver hvordan lys som kommer inn skrått, B, brer seg over et større areal, og da får lavere intensitet enn lys som treffer vinkelrett på flaten man måler på, A. X viser at bredden på lysstrålene som kommer inn er lik. | 41 |
| 40 | Radianssensoren slipper kun inn stråling som kommer fra det området man peker sensoren mot. Kragen som er rundt linsen er bare for beskyttelse, og det er optikken som avgjør vinkelåpningen. . . . | 42 |
| 41 | Radianssensoren måler stråling fra et mindre område enn det irradianssensoren gjør. | 43 |
| 42 | VI for kommunikasjon med sensor, der innstillinger settes, integrasjonstid settes og måling gjøres, før kommunikasjonen avsluttes. . . . | 45 |
| 43 | En aluminiumskasse ble brukt for å skjerme cRIO, PC-en og strømforsyningen fra regnet. | 50 |
| 44 | Laserpeker brukt i eksperiment for å karakterisere nøyaktigheten til bevegelsene til motorene. | 51 |
| 45 | For å karakterisere hvor nøyaktige motorbevegelsene er, ble det festet en laser på goniometeret, og punktet den pekte på ble markert på et ark. | 51 |
| 46 | Den gule linjen viser solbanen 4. mai 2017, og tallene langs den angir klokkeslettene for når solen er i de forskjellige posisjonene. De svarte ringene viser solbanen på årets lengste og korteste dag. Når linjen for solbanen krysser den blå ringen, betyr det at solen er gått ned. Nord er opp på figuren [17]. | 53 |
| 47 | Den gule linjen viser solbanen 4. mai 2017. De svarte kurvene er solbanen på øvrige dager, der den øverste og nederste kurve er for årets lengste- og korteste dag. Linjen som har form som et 8-tall angir solposisjonen hver dag kl. 13 [17]. Det at solen ikke står i samme punkt hver dag, skyldes at jorden går rundt solen i en ellipsebane. . . | 54 |

| | | |
|----|--|----|
| 48 | Koordinatene for solposisjonen gis i en slik tabell. Det er høyden på solen som oppgis, og må derfor regnes om til polarvinkel [17]. | 55 |
| 49 | Filen som leses inn i LabVIEW-programmet inneholder koordinater og tidspunkter for når goniometeret skal iverksette bevegelsene. | 56 |
| 50 | Goniometeret under måling. | 57 |
| 51 | Den røde kurven er målingen som er gjort mens programmet som styrer motorene kjører. Den blå er før strømmen kobles til og den grønne er før programmet startes. | 58 |
| 52 | Irradians, integrert over bølgelengde er plottet gjennom en hel dag. Den røde kurven viser resultater fra målingene som fulgte solbanen og den blå er resultater fra målingene som er gjort rett opp. | 60 |
| 53 | Den blå kurven representerer målingen som er gjort mot solen og den røde representerer målingen som er gjort rett opp. Det var skyfritt når målingene ble utført. | 61 |
| 54 | Irradians, integrert over bølgelengde, er plottet gjennom en hel, overskyet dag. Den røde kurven viser resultater fra målingene som fulgte solbanen og den blå er for målingene som er gjort rett opp. | 62 |
| 55 | Grafen viser målinger som er gjort i regnvær. Den røde kurven er en måling som er gjort rett opp, og den blå er en måling som er gjort mot solen. | 63 |
| 56 | Får sensoren inn for mye lys, får man feilmelding og ubrukelige måledata som ser slik ut. | 65 |
| 57 | Målinger gjort for å karakterisere målestøy. Rød kurve representerer målingen som er gjort når motorene er aktivert, blå representerer målingenn som er gjort før strømmen kobles til og den grønne representerer målingen som er gjort med strømmen tilkoblet, før motorene aktiveres. | 66 |
| 58 | Målingen er gjort en solfylt dag, og det er sveipet over asimutvinkelen, mens polarvinkelen har vært konstant. Polarvinkelen ble satt til 46 grader for å få sveipet over solen. Dette skannemønsteret kalles almucantar. | 67 |
| 59 | Grønn kurve representerer målingen som er gjort mot maksimum, blå representerer målingen som er gjort vinkelrett på solretningen og den røde representerer målingen som er gjort i motsatt retning av solen. Alle målingene hadde samme polarvinkel, 46 grader og er hentet fra målingene som ble gjort i almucantarmønsteret. | 68 |
| 60 | Målingen er gjort en skyfri dag, asimutvinkelen er 163 grader for alle målingene, og det er sveipet over polarvinkelen. | 69 |

| | | |
|----|--|----|
| 61 | Den grønne kurven representerer maksimumsmålingen som ble gjort i principal-planet. Den blå representerer målingen som er gjort rett opp og den røde representerer målingen som er gjort bort fra solen, med samme verdi på polarvinkelen som maksimumsmålingen, bare med motsatt fortegn. | 70 |
|----|--|----|

Blank side

1 Introduksjon

Optimal utnyttelse av solenergi vil mest sannsynlig bli meget viktig i årene fremover. Effektiviteten av strømproduksjon, oppvarming og matproduksjon vil variere med orienteringen til flatene som blir eksponert for sollys. Den optimale orienteringen vil igjen variere med solens posisjon, skydekke og hvilke bølgelengdeområder som er mest effektive for den gitte utnyttelsen. For eksempel vil kortbølget stråling ha et stort bidrag fra diffust lys spredt på molekyler og partikler i atmosfæren, og dermed vil kanskje ikke den optimale orienteringen alltid være i retning rett mot solen. Solcellepaneler og klorofyll har optimal effekt i ulike bølgelengdeområder. Det er derfor grunn til å tro at en orientering som er optimal for strømproduksjon ikke nødvendigvis er optimal for matproduksjon.

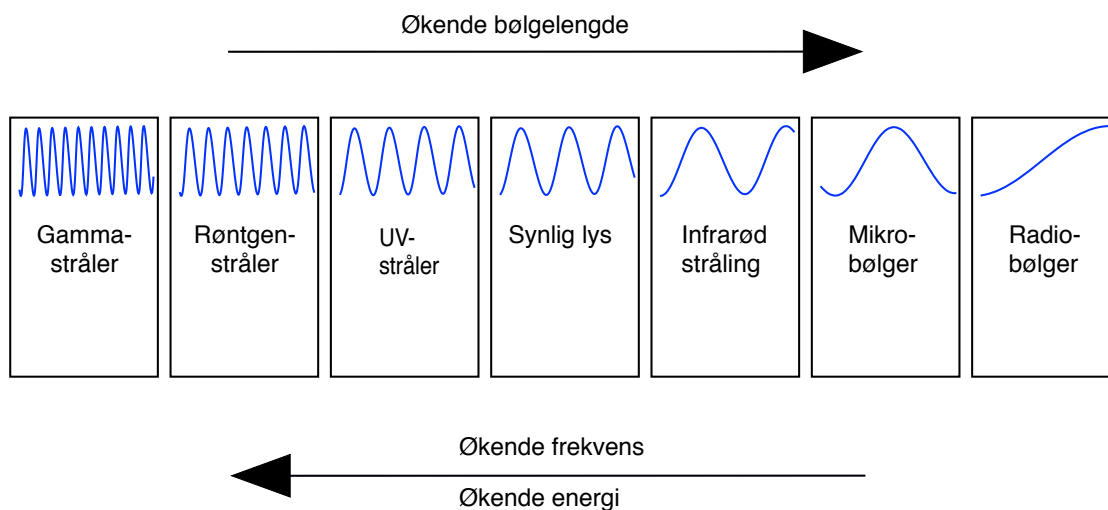
I dette masterprosjektet er det laget et goniometer som kan måle i alle retninger mot himmelen. Et goniometer er et instrument som kan måle vinkler eller rotere et objekt et gitt antall grader [1]. Det er sistnevnte som er utviklet i dette prosjektet. Målinger vil kunne gi informasjon om forskjellige bølgelengdeintervaller, avhengig av hvilken del av det elektromagnetiske spekteret det er ønskelig å studere. Ser man på solceller som produserer strøm, som kanskje er den mest kjente måten å utnytte solenergi, kan et panel som flyttes en gang annenhver måned produsere opp til 40% mer strøm enn et som står i samme posisjon hele året [2].

Goniometeret vil også kunne brukes i undervisning for å øke forståelsen av det elektromagnetiske spekteret. Spekteret som måles er mellom 320- og 950 nm [3], noe som vil si hele det synlige spekteret, i tillegg til noe ultrafiolett stråling (UV) og infrarød stråling (IR).

Elektromagnetiske bølger er elektriske- og magnetiske svinginger, som svinger normalt på hverandre og på propagasjonsretningen. Det er bølgelengden og frekvensen som avgjør hvilke egenskaper disse bølgene har. De med lang bølgelengde har lav frekvens og lav energi. De med kort bølgelengde har høy frekvens og høy energi. Forholdet mellom frekvens og bølgelengde er gitt av ligning 1:

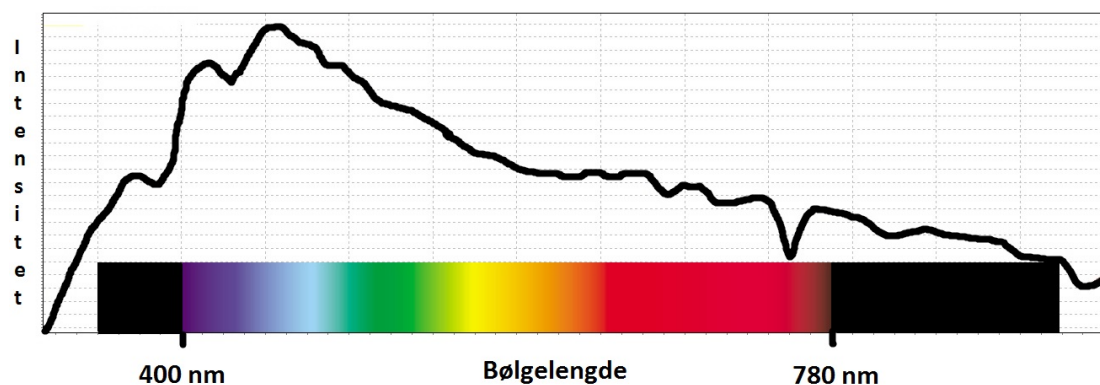
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Der λ er bølgelengde, c er lysfarten i vakuum og f er frekvensen. Figur 1 viser hvordan spekteret ser ut.



Figur 1: Det elektromagnetiske spekteret.

For å vise hvordan lyset som kommer fra himmelen ser ut, er det tatt en måling med radianssensoren, og fargene i det synlige lyset er tatt med. Se figur 2



Figur 2: Figuren viser et spekter ved en måling av himmelen med tilhørende bølgelengder og farger.

Det er tydelig at det er mest blått lys som kommer ned til oss. Dette skjer på grunn av rayleighspredning og er grunnen til at himmelen ser blå ut for oss [4].

Solceller av typen crystalline-silicone hadde i 2015 en markedsandel på 93%, og tynnfilm-solceller hadde 7%. Monocrystalline-silicon stod for 24% av den totale

mengden elektrisitet som ble produsert av solceller, mens multicrystalline-silicone stod for 70 % [5]. Crystalline-silicone evner å absorbere, og da lage strøm av elektromagnetiske stråler med bølgelengde mellom 320- og 1100 nm [6]. Sensoren kan måle stråling med bølgelengder mellom 320- og 950 nm, det vil si at den måler omtrent det samme bølgelengdeintervallet som et solcellepanel vil kunne utnytte. Det vil derfor være godt samsvar mellom irradiansen som måles av sensoren og mengden stråling som vil treffe et solcellepanel. For å beregne hvor mye strøm et solcellepanel vil kunne produsere må også virkningsgraden, som ikke er høyere enn 20-25% [5] regnes med. I denne rapporten vil ikke virkningsgraden tas med i beregningene. Grunnen til dette er at det bare regnes på hvor store forskjeller det er under forskjellige forhold. Verdien vil derfor ende opp med å være like om man velger å ta med virkningsgrad eller ikke.

Det finnes pilotprosjekter som utnytter fotosyntesen for algeproduksjon. Alger, næringsstoffer, vann og CO₂ utsettes for sollys, noe som fører til at algene former seg. Når konsentrasjonen av alger når ønsket nivå, sentrifugeres blandingen før den frysetørkes [7]. Dette blir da en biomasse som blant annet kan brukes som fiskefôr i oppdrettsnæringen for å gjøre produksjonen mer bærekraftig. Algene utnytter energien fra synlig lys, da klorofyllet i algene kan absorbere lys med bølgelengder mellom 420- og 680 nm [8].

Det er utført målinger som har som hensikt å øke forståelsen av vinkelfordelingen av strålingen som når jorden. Vinkelfordelingen av målt lys vil kunne si noe om partikler i atmosfæren som påvirker strålingstransporten. Slike partikler, som kalles aerosoler, er en av de største feilkildene for fjernmålinger fra satellitter [9]. Det er utført målinger, men de simuleringene som er nødvendige for å finne aerosolkonsentrasjonen er ikke utført. Dette skyldes at de er komplekse, og er utenfor dette prosjektets omfang.

1.1 Mål med prosjektet

I dette masterprosjektet ble det utviklet et goniometer for å styre plasseringen til et instrument som måler radians eller irradians. Goniometeret retter instrumentet i ønsket retning mot himmelen. Instrumentet kan måle eksponering for ulike spektre, altså forskjellige bølgelengdeintervall. To slike spektre er effektivitetsspektret til solceller og absorpsjonsspektret til alger. Goniometeret kan logge den totale eksponeringen under ulike skyforhold ved ulike tider på dagen gjennom ulike årstider. Forskjellige design og optimaliseringsmetoder er blitt undersøkt, og til slutt i prosjektet ble goniometeret brukt til å finne anbefalte orienteringer under ulike værforhold for solcellepanel og panel det dyrkes alger i. Prosjektet er delt inn i tre hoveddeler: 1) design og sammenstilling av goniometeret, 2) programvareutvikling

og 3) eksperimenter.

1.1.1 Design og sammenstilling av goniometeret

Konstruksjonen ble designet og tegnet, før delene ble produsert i samarbeid med verkstedet ved Institutt for fysikk og teknologi, Universitetet i Bergen. Konstruksjonen ble så montert. Det endelige designet ble en løsning med to motorer som gjør det mulig å måle i alle ønskede himmelretninger. Den er enkel å reprodusere, siden fullstendige arbeidstegninger ligger vedlagt (Vedlegg A). Konstruksjonen er i hovedsak basert på aluminiumsprofiler som har et godt styrke/vekt-forhold.

1.1.2 Programvareutvikling

Radiometeret og motorene blir styrt av en datamaskin. Et styringssystem for motorene ble laget i LabVIEW, og programvaren MSDA_XE, som er utviklet av TriOS brukes for å kommunisere med radiometeret. Det er en målsetning at brukergrensesnittet skal være enkelt å operere. Det skrives inn hvilke retninger man ønsker å rette sensoren mot, samt tidspunktene målingene skal utføres. Dataene som kommer fra sensoren er filer med informasjon om spekteret, i hvilken retning målingene er gjort, når målingene er gjort og hvilket radiometer som er brukt. Flere MATLAB-program er utviklet for å gi grafiske fremstillinger av målingene.

1.1.3 Eksperimenter

Det er gjennomført en rekke forskjellige målinger med goniometeret. Både radianssensoren og irradianssensoren er benyttet, og det er målt i forskjellige mønstre og i forskjellig vær. Det er gjort eksperimenter for å karakterisere hvor nøyaktige bevegelsene til goniometeret er. MATLAB er benyttet til å tolke informasjonen som er samlet inn og til å fremstille spektrene grafisk.

1.2 Bakgrunn og motivasjon

Å produsere solcellepaneler er kostbart og forurensende. Dersom dette instrumentet gjør det mulig å øke mengden energi som produseres av et solcellepanel vil det kreves færre solcellepanel for å møte energikravet brukere har. Det vil gjøre det billigere å starte opp med solenergiproduksjon, noe som gjør at det vil ta kortere tid å spare inn investeringen, som igjen kan føre til at flere vil starte med dette.

1.3 Rapportens disposisjon

Første kapittel beskriver hvordan det optiske goniometeret er designet, hvilke komponenter som er brukt og det elektriske oppsettet. Motorstyringen, som er programmert i LabVIEW er også beskrevet i dette kapitlet. Det andre kapitlet beskriver radiometerene som er benyttet, med virkemåte og programmering. Tredje kapittel beskriver eksperimentene som er gjennomført og inneholder matematiske og grafiske tolkninger av dataene fra disse. Kapitlet inneholder også diskusjon av måleresultatene.

2 Design av optisk goniometer

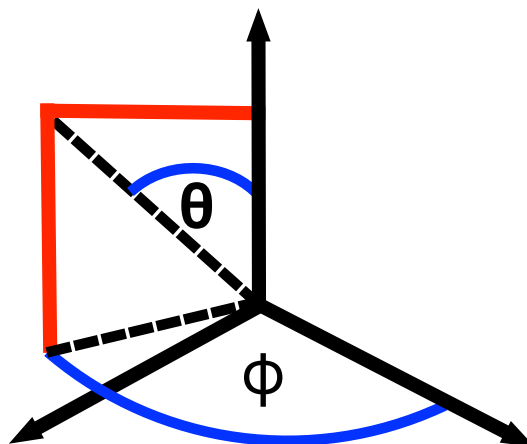
I dette kapitlet beskrives det mekaniske- og elektriske designet av goniometeret. Motorstyringen, som er programmert i LabVIEW, er også beskrevet.

2.1 Mekanisk design

Det optiske goniometeret skal styre en irradianssensor eller radianssensor og består av et mekanisk system som styres av en datamaskin. Kravene for designet av goniometeret er som følger:

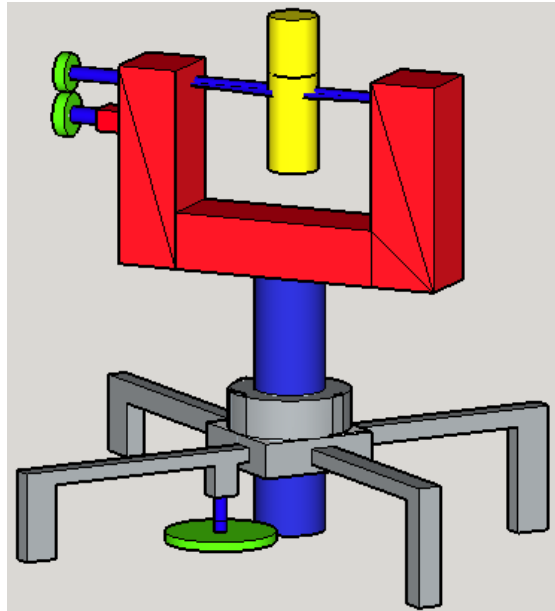
- Skal kunne stå ute, selv ved regn
- Skal kunne rette sensoren mot alle punkt på himmelen
- Skal være fullstendig fjernstyrt fra en datamaskin

Flere design er blitt undersøkt, men det har vist seg å være en utfordring å peke radiometeret, altså sensoren, i alle retninger. Løsningen ble å benytte kulekoordinater. Det ble nødvendig å finne en mekanisme for å styre asimutvinkelen, og en for å styre polarvinkelen. Asimutvinkel og polarvinkel kan forklares med at om en person ser rundt seg, forandres asimutvinkelen, og ser personen opp eller ned, forandres polarvinkelen. Figur 3 viser hvordan asimutvinkelen, ϕ , og polarvinkelen, θ , er definert.



Figur 3: Koordinatene goniometeret kjører etter er basert på asimutvinkel, ϕ og polarvinkel, θ .

Basert på det ovenfornevnte ble et design som vist i figur 4 utviklet. Mindre forandringer ble gjort, men grunnprinsippene i designet ble beholdt.



Figur 4: Første goniometerdesign.

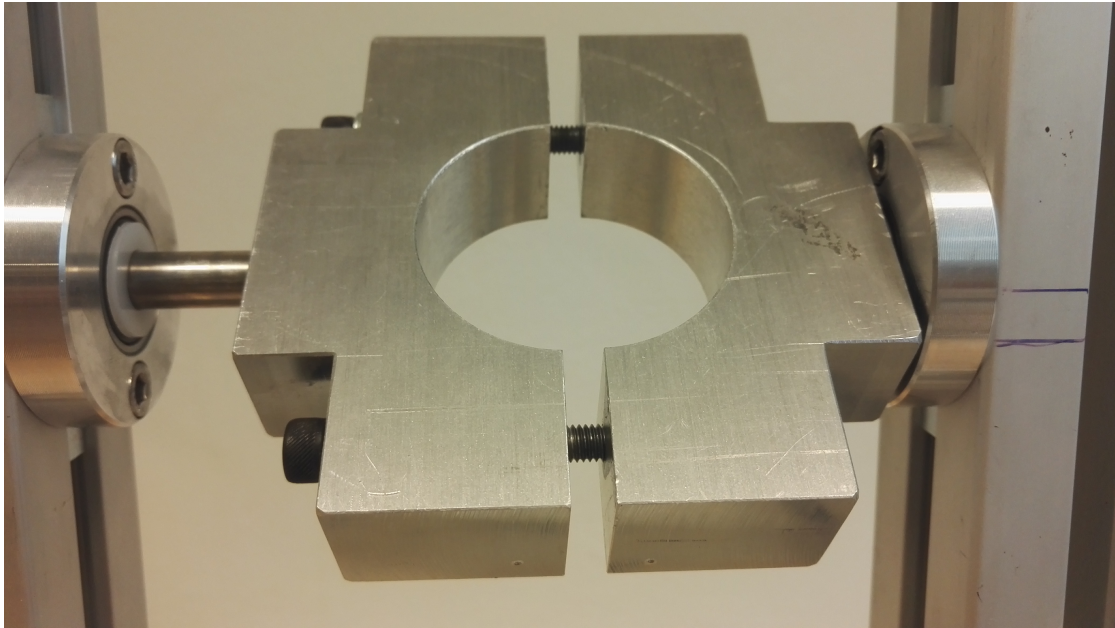
Radiometerholder

I figur 4 er radiometerholderen tegnet i rødt. Ved design av denne var det viktig at den var høy nok til at radiometeret og ledningen kunne bevege seg fritt. Høyden ble bestemt ved å anta at radiometeret skulle festes på midten. Dette for å få minst mulig moment på motoren fra sensoren.

Bredden på radiometerholderen ble bestemt med krav om at det skulle være enkelt å komme til med verktøy for å løsne boltene på klammene for bytte av sensor. Radiometerholderen er laget med 3 aluminiumsprofiler, en på 250 mm og to på 275 mm. Arbeidstegninger av disse profilene kan ses i vedlegg A, tegning 1 og 2.

Klammer

I radiometerholderen er det designet klammer som har som oppgave å feste radiometeret. Figur 5 viser hvordan disse ser ut.



Figur 5: Klammer for feste av radiometer. Boltene gjør det enkelt å stramme klammene rundt radiometeret som skal brukes.

Klammene strammes enkelt med to M6-bolter med unbrako-hode. Det er også plassert en skive mellom bolthodene og klammen, dette for å fordele trykket bedre for å unngå skader på aluminiumsklammen. Klammen som er til venstre er gjennom-boret, slik at boltene kan gli fritt gjennom, mens klammen til høyre har innvendige M6-gjenger som da passer med de utvendige M6-gjengene på boltene. Klammene festes til stagene ved at stagene går inn i hull på klammene og festes ved bruk av bolter, en til hver klamme. Arbeidstegninger av disse klammene kan ses i vedlegg A, tegning 3 og 4.

Stag

Klammene festes til radiometerholderen ved hjelp av to stag. Disse stagene er 10 mm i diameter og det er frest inn hakk der boltene kommer inn for bedre feste. De går gjennom et rullelager som er festet på radiometerholderen for å minske

friksjonen når de roterer. Arbeidstegninger av disse stagenes kan ses i vedlegg A, tegning 5 og 6.

Tannhjul

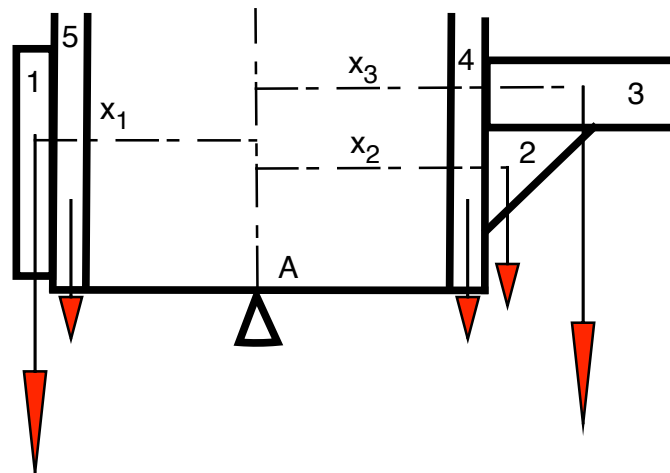
For å få overført kraft til å rotere radiometeret er det montert et tannhjul på staget, på utsiden av radiometerholderen. Dette er festet med en bolt som treffer et hakk som er frest inn i staget. Arbeidstegning av tannhjulet kan ses i vedlegg A, tegning 7.

Motorholder

Steppermotoren som skal rotere radiometeret, er festet på utsiden av radiometerholderen. Det er brukt en trekantstruktur for å lage et platå som motoren er festet på. Motorholderen er markert med tallet 2 i figur 6. Arbeidstegning av motorholderen kan ses i vedlegg A, tegning 8.

Likevekt radiometerholder

For å sørge for glattest mulig kjøring når radiometerholderen roteres, er det viktig at radiometerholderen er i likevekt. For å få likevekt om festepunktet til holderen, er det satt på en motvekt til motoren. Den nødvendige massen til motvekten er funnet ved å regne på momentet om festepunktet, A i figur 6.



Figur 6: Motvekten (1), motorholderen (2), motoren (3), og sensorholderen (4 og 5) lager moment om festepunktet. Er det likevekt om festepunktet, vil rotasjon av radiometerholderen kreve så lite energi som mulig, samtidig som det vil føre til mer stabile bevegelser.

Man bruker da at summen av kraftmomentene skal være null.

$$\begin{aligned}0 &= \sum_i m_i \cdot g \cdot x_i \\0 &= m_1 \cdot g \cdot x_1 - m_2 \cdot g \cdot x_2 - m_3 \cdot g \cdot x_3 - m_4 \cdot g \cdot x_4 + m_5 \cdot g \cdot x_5 \\m_1 &= \frac{m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4 - m_5 \cdot x_5}{x_1} \\m_1 &= \frac{0,140 \text{ kg} \cdot 0,137 \text{ m} + 1,358 \text{ kg} \cdot 0,160 \text{ m} + 0,629 \text{ kg} \cdot 0,090 \text{ m} - 0,629 \text{ kg} \cdot 0,106 \text{ m}}{0,140 \text{ m}} \\m_1 &= 1,66 \text{ kg}\end{aligned}\tag{2}$$

Lengdene x_1 , x_2 og x_3 er beregnet ut fra festepunktet og ut til tyngdepunktet til motvekten, motorholderen og motoren. Motvekten er firkantet, og har derfor tyngdepunktet i senter. Det samme gjelder motoren, men det trekantede festet har tyngdepunktet $\frac{1}{3}$ av den totale bredden fra den tyngste siden. Lengdene x_4 og x_5 er fra festepunktet ut til midten av aluminiumsprofilene. Det at disse ikke er symmetriske om likevektspunktet gjør at momentet de lager må tas med i beregningen.

Det ble festet et lodd på 1,7 kg på sensorholderen, og ved å rotere sensorholderen var det tydelig at rotasjonen gikk mye lettere enn før loddet ble plassert, og at det tilfredstilte våre krav.

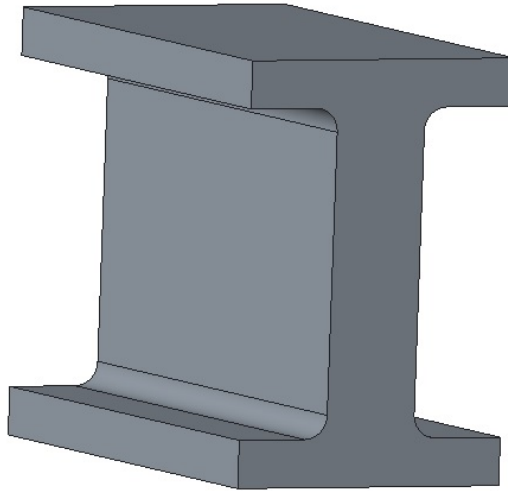
Siden klammene og stagene er symmetriske og ligger rett over festepunktet, er de ikke tatt med i denne beregningen.

Sylinder

Under sensorholderen, som nå er i likevekt, er det plassert en sylinder for å gjøre friksjonen mot understellet minst mulig, samtidig som den skal holdes stabil. Den må også løftes litt for å få plass til motoren som driver sensorholderen. Mellom sylinderen og sensorholderen er det festet et tannhjul som skal overføre kraft fra steppermotoren som styrer asimutvinkelen. Arbeidstegning av sylinderen kan ses i vedlegg A, tegning 9.

Understell

Understellet består av en struktur som er designet for å være mest mulig stabil, samtidig som den ikke skal være for tung. Det er hentet inspirasjon fra I-bjelker som er mye brukt i forskjellige konstruksjoner. Understellet har en form som ligner en I-bjelke, og er laget av de samme aluminiumsprofilene som sensorholderen. Arbeidstegninger i vedlegg A, figur 13 og 14 viser disse. Figur 7 viser hvordan en I-bjelke ser ut.

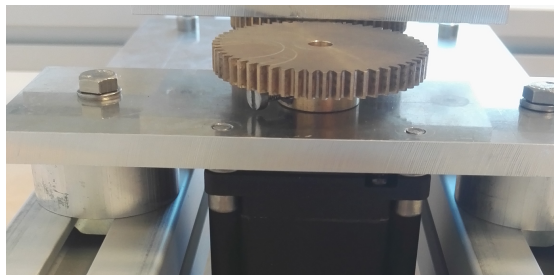


Figur 7: Inspirasjon til strukturen av understellet er hentet fra I-bjelker.

Mellom understellet og sylindere er det plassert en plate, som sylindere er plassert på. Arbeidstegninger av platen kan ses i vedlegg A, tegning 10.

Feste av motor for styring av asimutvinkel

For å feste motoren som styrer asimutvinkelen, er det festet to små sylindere på aluminiumsprofilene som er i midten av understellet. På toppen av sylindrene er det festet en liten plate med innvendige gjenger som motoren er skrudd fast i. Også her er det tannhjul som overfører kraften fra motoren til radiometerholderen. Figur 8, som er et utsnitt fra Figur 22, viser hvordan motoren er festet.



Figur 8: Motoren som styrer asimutvinkelen er festet til en plate som igjen er festet til understellet.

Arbeidstegninger av denne platen og sylindrene kan ses i vedlegg A, tegning 11 og 12.

Stillbare ben og endebeskyttere

Under understellet er det montert fire ben som kan skrues på for å justere lengden. Disse kan stilles på for å sørge for at goniometeret står i vater. Det er brukt plastpropper for å beskytte mot skarpe kanter ved endene av aluminiumsprofilene.

Gjenging

Aluminiumsprofilene har et festesystem for å feste dem sammen. Dette systemet er også brukt for å feste motorholderen og motvekten, men for feste av referansebryterne kan det ikke brukes, og det trengs en annen løsning. For å få finest og mest mulig solide festepunkter, er det ønskelig å bruke bolter. For å få festet disse, trengs det innvendige gjenger, og for å lage det trengs det et spesialverktøy, gjengetapp. Figur 9 viser verktøyet som er brukt i prosjektet, tre gjengetapper og en gjengetappholder.

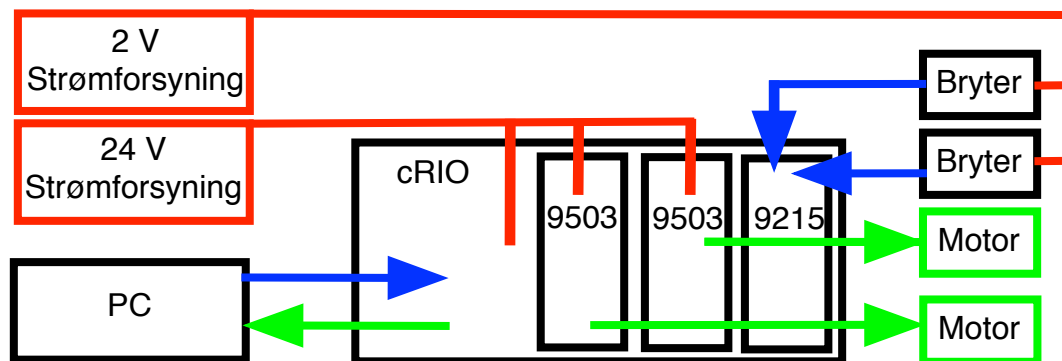


Figur 9: Gjengeverktøyet som ble brukt til å lage gjenger i aluminiumsprofilene.

Verktøyet som er vist i figur 9 er brukt for å lage M4-gjenger. Først må det bores et hull på 4 mm før gjengetappen merket med én strek festes i gjengetappholderen. Den må så skrues gjennom hullet. Når dette gjøres, er det viktig å skru gjengetappen litt inn, før den skrues ut igjen for fjerning av metallspen og fortsette i dette mønsteret til man er så dypt i godset som ønskelig. Gjengetappen fjerner da litt av materialet, og lager grove M4-gjenger. Prosessen gjentas så med gjengetappen med to streker og avsluttes ved å bruke gjengetappen uten streker. De to siste gjengetappene gjør gjengene finere. For å gjøre gjengingen enklere, sprayes gjengetappene med isopropanol før de entres.

2.2 Elektrisk design

I tillegg til steppermotorene, som er beskrevet i neste delkapittel, er det flere komponenter som er brukt i prosjektet. Det er en Compact RIO, to stepperdrivere, en analog inputmodul, to strømforsyninger og to referansebrytere. Figur 10 viser det elektriske styringssystemet.



Figur 10: Skjematisk oppstilling av det elektriske styringssystemet. 9503 er stepperdrivere og 9215 utfører spenningsmålingene. Grønne piler viser data som blir sendt fra cRIO, blå piler viser data som blir sendt til cRIO og røde piler viser strømtilførsel.

Compact RIO

En Compact RIO (cRIO) er en enkel datamaskin som inneholder *Field Programmable Gate Array* (FPGA), en *real time-controller* og rekonfigurerbare innganger og utganger (RIO). cRIO kan modifiseres med forskjellige moduler, og i dette prosjektet trengtes tre moduler, to stepperdrivere og et analog inputmodul. Derfor er cRIO-9063, med sine fire porter valgt. cRIO programmeres gjennom dens ethernet-port, og i figur 11 vises cRIO-9063, som er brukt i prosjektet.



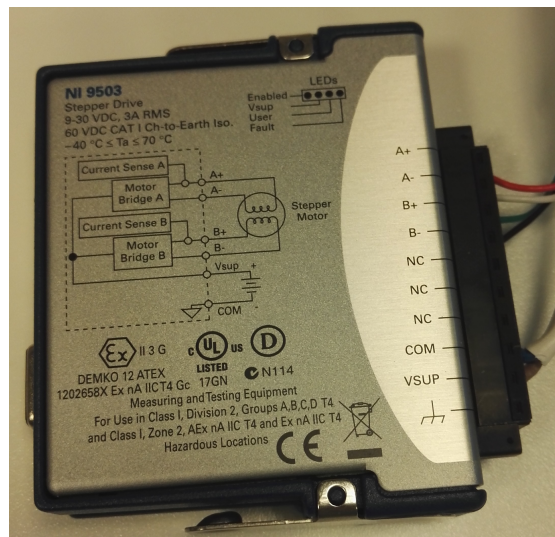
Figur 11: cRIO-9063, benyttet i prosjektet.

FPGA

Field Programmable Gate Array (FPGA) er en halvlederkræts som inneholder programmerbar logikk. *Field programmable* betyr at kretsen kan programmeres, og reprogrammeres av brukeren. Den inneholder et stort antall logikkmoduler, og kan programmeres til å utføre mange forskjellige prosesser.

Stepperdriver

For å styre en motor trengs det en drivermodul. En stepperdriver formaterer spenningsignalene fra PC-en til strømsignal som sendes til motorene. Drivere fra National Instruments, som er produsenten av LabVIEW, er å valgt for å gi enklest mulig samhandling. Driveren NI-9503 er brukt i dette prosjektet og figur 12 viser hvordan den ser ut.



Figur 12: NI-9503, stepperdriveren som er brukt i prosjektet.

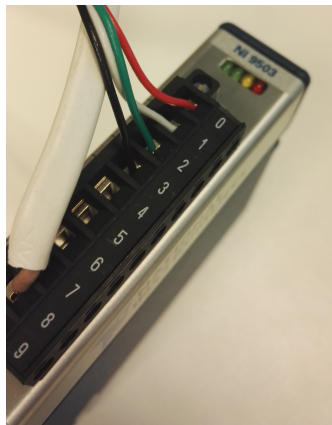
Kobling mellom driver og motor

For at steppermotorene skal bevege seg riktig er det viktig å koble de og driverene sammen på riktig måte. Motorene har fire faser, A+, A-, B+ og B-. Hvilke kabler som hører til hvilke faser er listet i tabell 1 [10].

| | | |
|-------|--------|----|
| Rød | Fase 1 | A+ |
| Hvit | Fase 3 | A- |
| Grønn | Fase 2 | B+ |
| Svart | Fase 4 | B- |

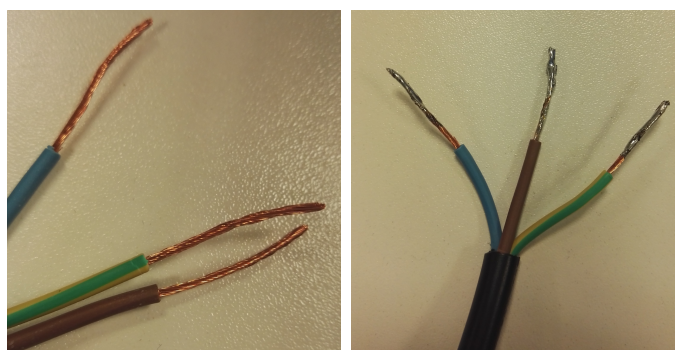
Tabell 1: Fasene de ulike ledningene fra steppermotorene hører til.

I figur 13 vises driveren med kablene fra steppermotoren koblet i riktige utganger. Den tykke, hvite kabelen er strøm som kommer fra strømforsyningen, og de fire tynne går til motoren.



Figur 13: Stepperdriver med kabler koblet til strøm og motor.

Kablene som er brukt mellom strømforsyningene og komponentene er gjenbrukte kabler fra kasserte elektriske komponenter. De ble først strippet, se figur 14a, før de ble dekket med loddetinn for å gjøre de mer robuste og for å forlenge levetiden, se figur 14b.



(a) Strippede ledninger. (b) Loddede ledninger.

Figur 14: Ledningene som ble brukt ble loddet for å gjøre dem mer robuste.

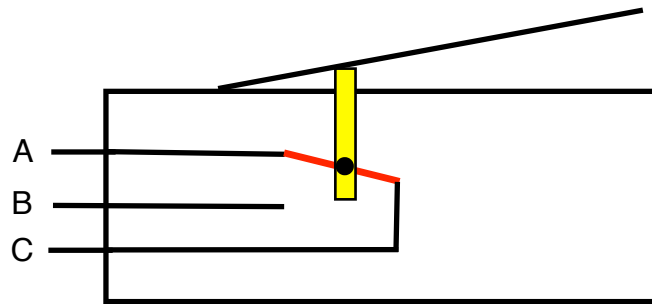
Referansebrytere

Siden steppermotorene ikke har noen tilbakekobling som kan huske hvor de er når de slås på, trengs det et referansepunkt. I dette prosjektet er løsningen referansebrytere. Det vil si at motorene er satt til å gå til de treffer en bryter som sender et signal når de blir aktivert. Motorene vil så gå til startposisjonen før bevegelsene kan starte. I dette prosjektet er det brukt brytere av merket Omron Industrial Automation, type D2VW-5L1B-1, som kan ses i figur 15.

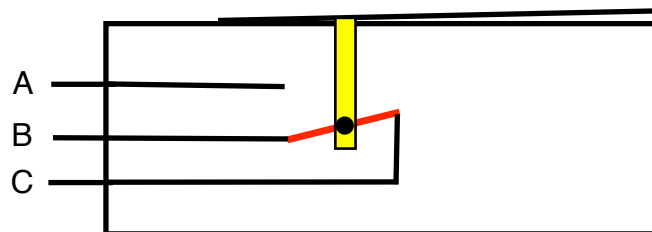


Figur 15: Referansebrytere av denne typen er brukt for å finne startposisjonen før målingene starter.

Bryterene har tre terminaler, hvor en er merket NC (A), en er merket NO (B), og en er merket COM. NC betyr *normally closed* og NO betyr *normally open*. COM er referansepunktet, og skal alltid være koblet til. Bryterene kan altså settes til å være lukket til de blir trykket på, eller til å være åpne til de blir trykket på, avhengig om A eller B er tilkoblet, se figur 16 og 17.

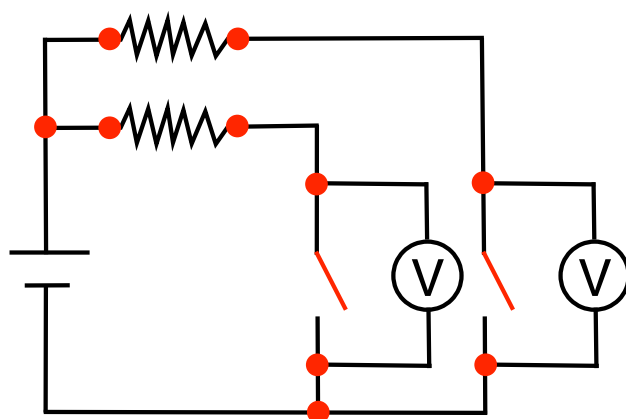


Figur 16: Når bryteren ikke er trykket ned, vil det være kobling mellom A og C, men ingen kobling mellom B og C. I dette prosjektet gjøres spenningsmålingen mellom B og C, og det vil derfor måles en spenningsforskjell når bryteren er i denne posisjonen.



Figur 17: Når bryteren er trykket ned, vil det ikke være kobling mellom A og C, men det vil være kobling mellom B og C. I dette prosjektet gjøres spenningsmålingen mellom B og C, og det vil derfor ikke måles noen spenningsforskjell når bryteren er i denne posisjonen.

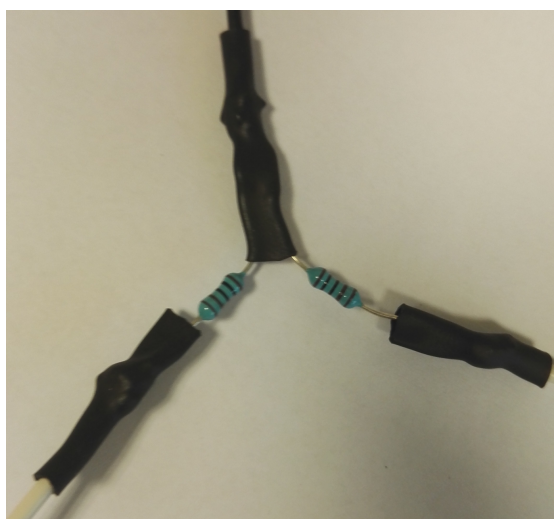
I dette prosjektet er det valgt å bruke NO-terminalen, B. Den andre ledningen er da koblet til C, og det er spenningsforskjellen mellom B og C som måles. Ved å bruke *normally open* vil det være enklere å oppdage brudd eller andre feil i kretsen, da den kun skal vise 0 V når knappen er trykket ned. Figur 18 viser hvordan oppsettet med bryterne er.



Figur 18: Skjematisk tegning av oppsettet med brytere og analog inputmodul som brukes når goniometeret skal gå til startposisjonen. Loddede knutepunkt er markert med en rød prikk.

Det er en analog inputmodul som utfører spenningsmålingene. Det er en NI-9215 modul som står i cRIO, og hver bryter bruker to terminaler. Bryterkretsene deler en 2 V spenningskilde. Motstandene er på 1 k Ω . Det gjør at den målte spenningen er 2 V når bryterne er åpne. Når bryterne er lukket, vil all strømmen gå gjennom bryterne, da motstanden i den analoge inputmodulen er mye større enn gjennom bryteren. Det vil derfor ikke være noen spenningsforskjell, og det vil bli en måling på 0 V.

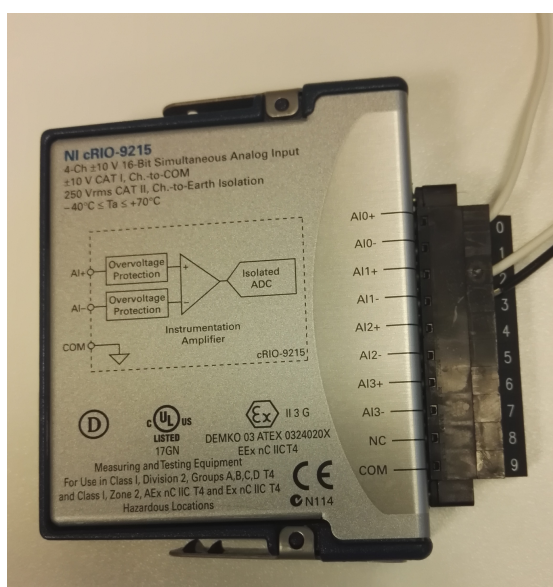
Hvert knutepunkt i figur 18 er festet med lodding. For å beskytte loddepunktet, hindre kortslutning, samt gjøre koblingene mer bestandige mot vann, bør de dekkes til. For å gjøre dette er det brukt krympestrømper. Figur 19 viser knutepunktet med motstandene, ferdig loddet og med ferdig monterte krympestrømper.



Figur 19: Knutepunktene i kretsen det gjøres spenningsmålinger over referansebryterene er loddet og isolert med krympestrømper.

Analog inputmodul

For å måle spenningsforskjeller over referansebryterene for å detektere når de er blitt aktivert, brukes en modul i cRIO, NI-9215. Modulen er en analog inputmodul som kan gjøre fire samtidige spenningsmålinger. I dette prosjektet blir det utført to, en over hver referansebryter. Figur 20 viser den analoge inputmodulen.



Figur 20: NI-9215, analog inputmodul som er brukt i prosjektet.

Strømforsyning

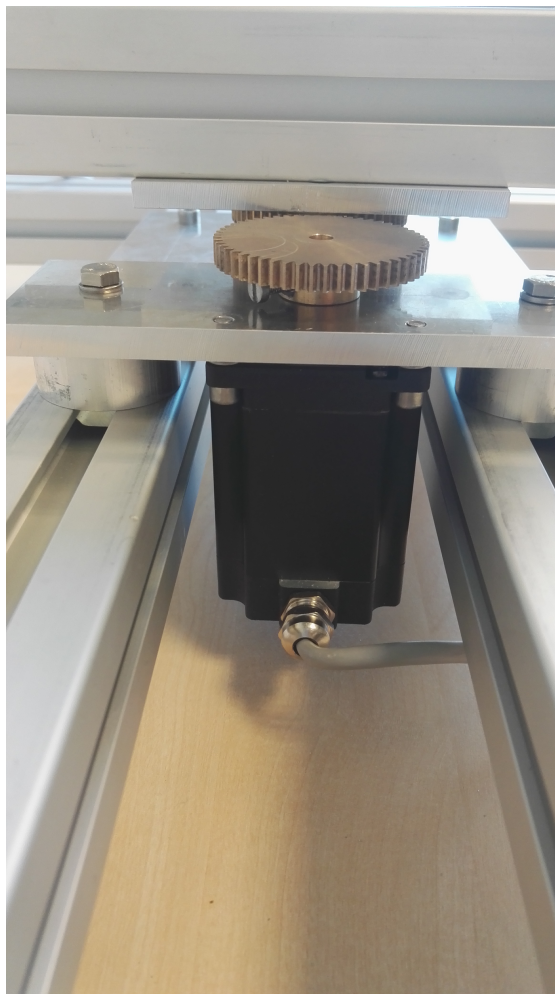
cRIO-en og stepperdriverene trenger strøm for å fungere. Strømmen driverene trekker brukes til å drive motorene. Strømforsyningen som er brukt i dette prosjektet er 24 V NI PS-15 fra National Instruments, som vist i figur 21. Det er også brukt en 2 V strømforsyning for å gi strøm til referansebryterne.



Figur 21: NI PS-15, strømforsyningen som er brukt for å gi strøm til cRIO og stepperdriverene.

2.3 Steppermotor

En steppermotor er en børsteløs DC-motor som deler rotasjonen opp i flere diskrete trinn. Motoren kan stoppe og holde posisjonen i hvert av disse trinnene. Figur 22 viser et bilde av en av steppermotorene som er brukt i prosjektet.



Figur 22: Bilde av en av de to steppermotorene som er brukt i prosjektet. Denne styrer asimutvinkelen.

I dette prosjektet er det valgt å bruke steppermotorer. Grunnen til det, er at disse kan stoppe og holde en posisjon, og at de er mye mer presise enn DC-motorer. Motorene som er valgt til dette prosjektet er av merket Anaheim Automation, type Nema 23 23Y65. De valgte motorene har innkapslingsgrad IP65, og tilfredstiller

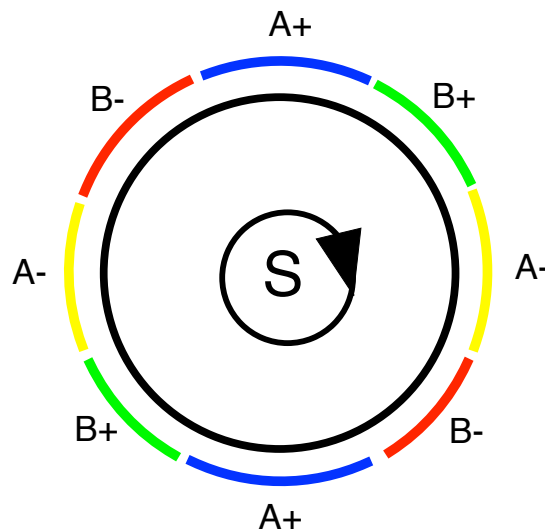
derfor kravet om å tåle regn. Motorene er kraftige nok til å rotere sensoren med mindre den festes helt i enden, noe den ikke vil bli. Hadde sensoren blitt festet helt i enden, slik at den hadde påført motorene maksimalt moment, hadde de måtte tåle:

$$M = F \cdot l = m \cdot g \cdot l = 0.9\text{kg} \cdot 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,15\text{m} = 1.32\text{Nm} \quad (3)$$

Da radiometeret skal festes på midten, vil det være tilstrekkelig med dreiemoment på 1 Nm, som den valgte motoren har.

De tre vanligste typene steppermotorer er variable reluktans (VR), permanent magnet (PM) og hybrid. I VR er rotoren i stål, i PM er rotoren en magnet, og i en hybrid steppermotor kombineres det beste fra VR og PM. Da det er en hybrid steppermotor som er brukt i dette prosjektet, vil den beskrives nærmere under.

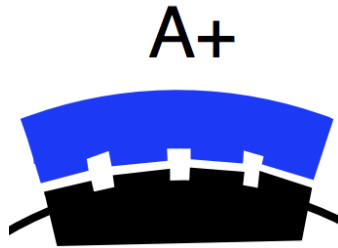
Rotoren i en hybrid steppermotor er en rund stavmagnet, der sørpolen har tenner og det er plassert 8 elektromagneter rundt. Figur 23 viser hvordan magnetene er stilt opp rundt rotoren, som er en stavmagnet, og det er sørpolen vi ser.



Figur 23: Rundt rotoren i steppermotorene er det 8 elektromagneter, og ved strømsetting av disse, blir rotoren satt i bevegelse.

Elektromagnetene har også tenner, men har totalt to færre tenner enn rotoren har. Motoren drives ved å strømsette elektromagnetene. Elektromagnetene A blir strømsatt som gjør A+ magnetene til nordpoler som vil tiltrekke seg tennene på rotoren, se figur 24. Samtidig vil A- magnetene bli til sørpoler som vil frastøte seg

tennene på rotoren. I denne situasjonen er elektromagnetene plassert slik at rotorens tenner vil treffe perfekt på tennene til A+magnetene, midt mellom tennene til A- magnetene og halvveis på tennene ved alle de fire B magnetene.



Figur 24: Når elektromagneten er nordpol og rotoren er sørpol, vil tennene trekkes mot hverandre. Dette er drivkraften i en hybrid steppermotor.

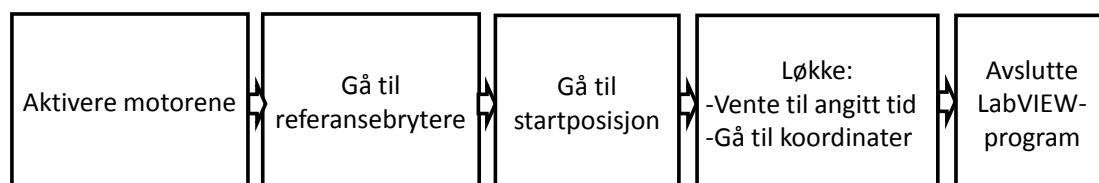
Dersom B magnetene strømmettes, samtidig som A magnetene slås av, vil B+ magnetene bli til nordpoler, og da trekke til seg tennene på rotoren. B- magnetene blir da sørpoler og vil derfor frastøte seg tennene på rotoren. Det neste som skjer er at A magnetene strømmettes, men denne gangen motsatt. Da blir A+ magnetene sørpoler, og vil frastøte rotoren, mens A- magnetene blir nordpoler og vil tiltrekke seg rotoren. Den siste bevegelsen er at B magnetene blir strømsatt motsatt retning av sist, slik at B+ magnetene frastøter tennene på rotoren og B- magnetene tiltrekker tennene på rotoren. Disse prosessene kjøres kontinuerlig når motoren kjører.

Hver av disse bevegelsene er det samme som et *step*, et steg. I motorene som er brukt i dette prosjektet tilsvarer et steg 1.8 grader. Det gjør at hver rotasjon er delt opp i 200 steg [11]. Blir strømmen stående på, uten å veksle, vil motoren holde posisjonen.

Dersom motorene skal gå i motsatt retning, må rekkefølgen på prosessene byttes om.

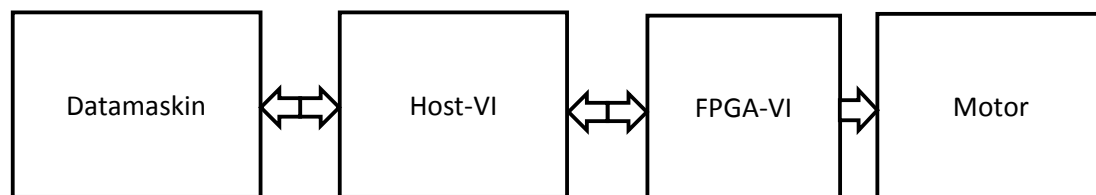
2.4 Styring av motorene

For styring av motorene er LabVIEW brukt. LabVIEW er et grafisk programmeringsprogram, og i dette prosjektet er det LabVIEW 2016, (32 bit) som er brukt. Det er også installert flere tilleggsmoduler i LabVIEW, inkludert: FPGA, Real-Time og SoftMotion. Et program som programmeres i LabVIEW kalles et Virtual Instrument (VI). Flytdiagrammet i figur 25 viser rekkefølgen på operasjonene i LabVIEW-koden som kontrollerer motorene.



Figur 25: Flytdiagrammet viser rekkefølgen på operasjonene i motorstyringen.

Et LabVIEW prosjekt som inkluderte cRIO ble opprettet. Det kan velges mellom scan mode og FPGA mode. Velges FPGA mode må det legges et LabVIEW-program (en VI) over på FPGA-en til cRIO-en. Stepperdriverene som er brukt i dette prosjektet, NI-9503, er kun compatible med FPGA mode [12]. Prosjektet består i hovedsak av to VI-er, en FPGA-VI som er compilert over på cRIO-ens FPGA, og en host-VI som ligger på PC-en og styrer FPGA-VI-en. FPGA-VI-en brukes til å skrive og lese *input* og *output* på cRIO, mens host-VI-en brukes til å kommunisere med FPGA-VI-en og gjøre datalogging og analyse [13]. FPGA-VI-en må kompileres over på FPGA-en, og gjøres det forandringer i VI-en må den kompileres på nytt. Figur 26 viser hvordan datamaskinen styrer motorene via host-VI og FPGA-VI.



Figur 26: Motorene er styrt av en datamaskin, og kommunikasjonen går gjennom en host-VI og en FPGA-VI.

2.4.1 FPGA-VI

For å styre motorer via FPGA-en i cRIO, må følgende løkker inkluderes i FPGA-VI-en:

Statusløkke

Aktiverer eller deaktiverer driverene og viser status på driverene.

Posisjonsløkke

Leser *First In First Out* (FIFO) posisjonspunkter fra host-VI. Når alle bevegelsene er utført, låses motorene i siste posisjon.

Spline og strømgenereringsløkke

Genererer mellompunkt for en glattere bevegelse. Løkken implementerer også mikro-steg og lager strømsignalet for hver motorfase.

Strømløkke

Lager *Pulse Width Modulation* (PWM)-syklusene som brukes når PWM-signalene skal lages.

PWM-løkke

Lager PWM-signalene som forandrer den aktive pulslengden i firkantsignalet.

I dette prosjektet er det to motorer som styres, med to drivere, og derfor inneholder FPGA-VI-en to av hver av disse løkkene.

Spenningsmålingsløkke

Denne løkken sørger for kommunikasjon med NI-9215-modulen som måler spenningen over referansebryterene. Siden det bare er en slik analog inputmodul, er det bare en spenningsmålingsløkke.

2.4.2 Host-VI

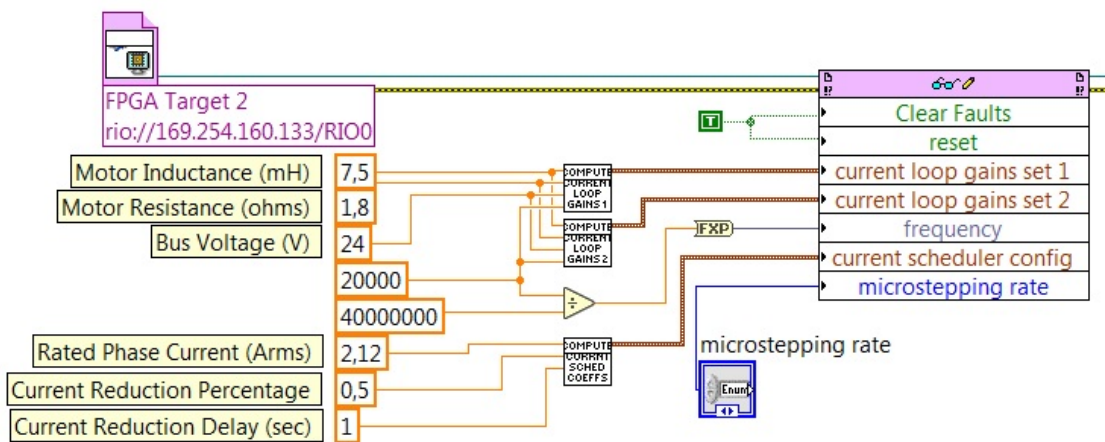
Host-VI-en kjører på PC-en. Det kontrollerer motorene via FPGA-VI-en. Host-VI-en må inneholde en link til FPGA-VI-en, en kontroller som kan sette motorkonstanter, den må kunne lese inn fil og må iverksette bevegelsene når tiden stemmer. Den må også inneholde en funksjon som avslutter kommunikasjonen med FPGA-VI-en. For at posisjonene skal bli riktige, må VI-en også inneholde en løkke som gjør at motorene går til referansebryterne før de går til sine startposisjoner. Host-VI-en inneholder, som FPGA-VI-en, to like programsekvenser siden det er to motorer som styres. Hovedfunksjonene i host-VI-en er:

- **Open FPGA Link**

Dette er en funksjon som gjør det mulig å kommunisere med FPGA-VI-en. Figur 27 viser FPGA linken. Den viser også IP-adressen til cRIO-en.

- **Motorkonstanter**

En *read/write control* gjør det mulig å sette motorkonstantene. Først nullstilles motorene før verdiene leses inn. Figur 27 viser hvordan funksjonen ser ut. Motorkonstantene, som er hentet fra databladet [10], er også listet i tabell 2.

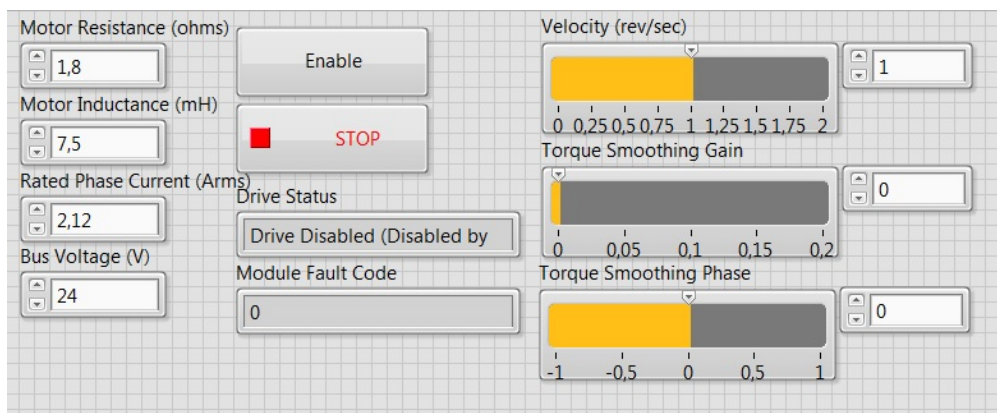


Figur 27: Det første som skjer i motorstyringen er at kommunikasjon med motorene opprettes via FPGA-VI-en, motorene nullstilles og motorkonstantene lastes inn.

| | |
|----------------------------|--------------|
| Motormotstand | 1.8 Ω |
| Motorinduktans | 7.5 mH |
| Rated phase current | 2.12 A |
| Spenning | 24 V |
| Strømreduksjonsprosent | 0.5% |
| Strømreduksjonsutesettelse | 1 sek |

Tabell 2: Motorkonstantene for steppermotorene [10].

To av motorkonstantene som kan leses inn er glattningskoeffisienter som skal sørge for glattere kjøring ved lave hastigheter. For å sette disse må *current scheduler*, en funksjon som står i spline og strømgenereringsløkken i FPGA-VI-en, settes i avansert modus. Man kan da skrive inn to koeffisienter, *torque smoothing phase* og *torque smoothing gain*. *Phase* må være mellom $-\pi$ og π radianer. *Gain* må være mellom 0 og 1. For å bestemme disse verdiene ble LabVIEW-programmet *9503 Stepper Drive (Torque Smoothing Coeff).proj* kjørt. Dette er et eksempelprogram som har som oppgave å kjøre motorene slik at brukeren kan prøve seg frem til passende verdier på koeffisientene. Figur 28 viser hvordan frontpanelet ser ut.



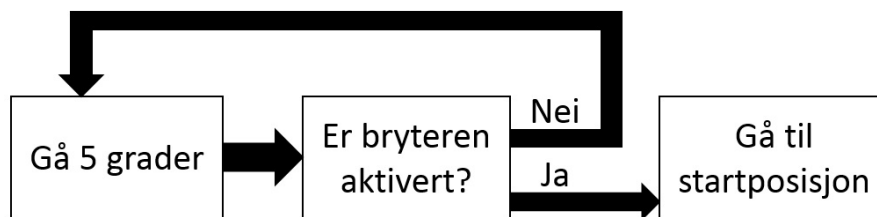
Figur 28: En VI fra National Instruments ble brukt til å bestemme koeffisienterne *torque smoothing gain* og *torque smoothing phase*, som skal sørge for glattere kjøring.

Etter instruksjon i programmet ble motorene kjørt med en hastighet på én runde pr sekund. Verdien for *torque smoothing gain* ble stilt inn til verdien som ga minst vibrasjoner i motoren. Videre skulle man stille på *phase* for

videre forbedring. Etter testing kom det frem at motorene gikk glattest når begge verdiene var lik null. På grunn av dette ble *current scheduler* satt tilbake til enkel modus, og glattningskoeffisientene var da ikke lengre nødvendige å ha med.

- **Gå til referansebrytere**

For å bestemme posisjonen brukes referansebryterene. Motorene settes til å gå til bryterene treffes. En spenningsmåling over bryterene angir når de er aktivert. Figur 29 viser hvordan programmet er satt opp for å finne bryterene.



Figur 29: Flytdiagrammet viser prosessen som utføres når motorene går til referansebryterene.

Motorene er satt til å gå 5 grader, som er passende lengde fordi det da ikke vil ta så lang tid før de når bryterene. Motorene kan ikke gå lengre enn punktet der bryterene blir aktivert. De vil derfor stoppe samme sted hver gang.

- **Gå til startposisjon**

For alltid å starte fra samme sted, er motorene satt til å gå et visst antall grader etter referansebryterene er aktivert. Startposisjonen er satt til å være når sensoren peker rett opp og sensorholderen står parallelt med de lengste profilene i understellet. Motoren som styrer polarvinkelen må gå 115 grader, og motoren som styrer asimutvinkelen må gå 109 grader for å komme til startposisjonen.

- **Gå til koordinater**

Hoveddelen av programmet er delen der en fil med informasjon leses inn, og goniometeret går til de ønskede posisjonene til angitt tid. Det er en for-løkke som består av flere elementer: les fra fil, iverksette når tiden stemmer og bevegelseskommandoer. Disse er beskrevet under. I dette prosjektet leser programmet sine posisjoner fra en fil, og kjører deretter løkken like mange ganger, en gang for hver posisjon.

- **Les fra fil**

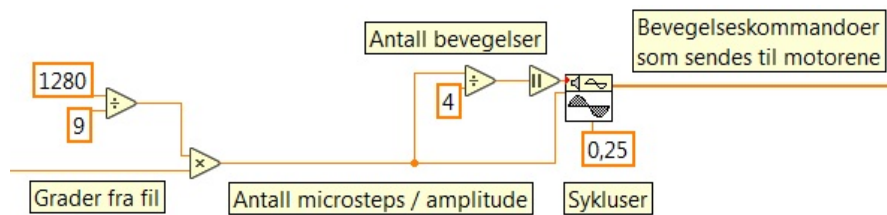
Det første som bestemmes når filen leses inn i styringsprogrammet er hvor mange posisjoner den inneholder. Filen som leses inn inneholder også informasjon om når motorene skal aktiveres. Koordinatene for posisjonene hentes ut ved at hele filen leses inn og alt unntatt den aktuelle rekken tas bort. Koordinatene hentes så ut fra denne rekken med to *index array*-funksjoner, en for hver motor. Valgene som er gjort er at hele filen skal leses, og at den skal leses fra starten av.

- **Iverksette når tidspunktene stemmer**

For-løkken inneholder en while-løkke som leser klokken til PC-en, og sammenligner tiden med tidspunktene fra filen. Når tidspunktene stemmer overens sendes det et *true*-signal, som stopper løkken, aktiverer motorene og sender koordinatene videre for å generere bevegelseskommandoer.

- **Bevegelseskommandoer**

En sinusfunksjons-VI konverterer koordinatene fra filen til bevegelseskommandoer som sendes til motorene. Figur 30 viser sinusfunksjons-VI-en.



Figur 30: VI som omformer koordinatene til bevegelseskommandoer som sendes til motorene.

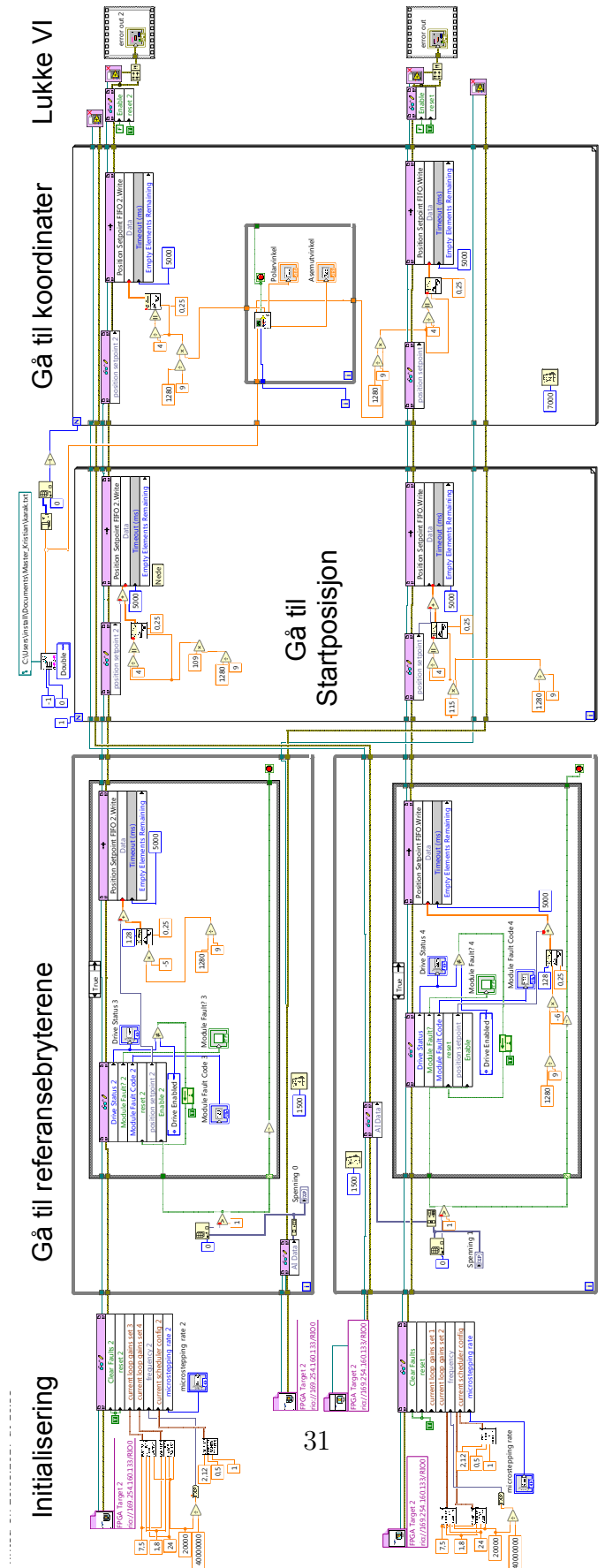
Følgende verdier må skrives inn for å generere bevegelseskommandoene:

Amplitude angir hvor stort utslag motorene skal gjøre, altså hvor mange mikrostep de skal rotere. I figur 30 er det vist hvordan antallet mikrostep motorene skal rotere blir omregnet fra antall grader. Omregningen ganger antall grader med 1280, delt på 9. **Antall bevegelser**, som angir hvor mange deler bevegelsen skal deles opp i. Den er satt til å være en firedel av absoluttverdien til amplituden, for å få en passende hastighet på motoren. **Sykluser**, antall sykluser angir hvor mange svingninger som skal gjøres. En syklus er fra nullpunktet, til toppunktet før den går til null via bunnpunktet. I dette prosjektet er antallet sykluser satt til 0.25. Den vil da kun bevege motorene i én retning.

- **Avslutte program**

For-løkken kjører en gang for hver posisjon, og etter at alle kommandoene er utført skal programmet lukkes. Først er det en *read/write control* for å deaktivere og nullstille motorene før kommunikasjonen avsluttes ved å bruke funksjonen *close FPGA VI reference*. Da dette er det siste som skal skje, avsluttes programmet når dette er gjort.

Figur 31 viser hele host-VI-en.

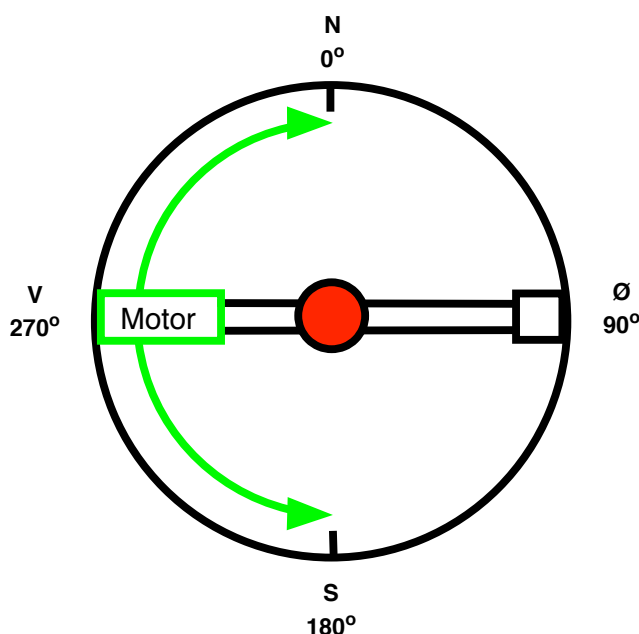


Figur 31: Den utviklede programvaren som er brukt for å styre motorene.

2.5 Kabelhåndtering

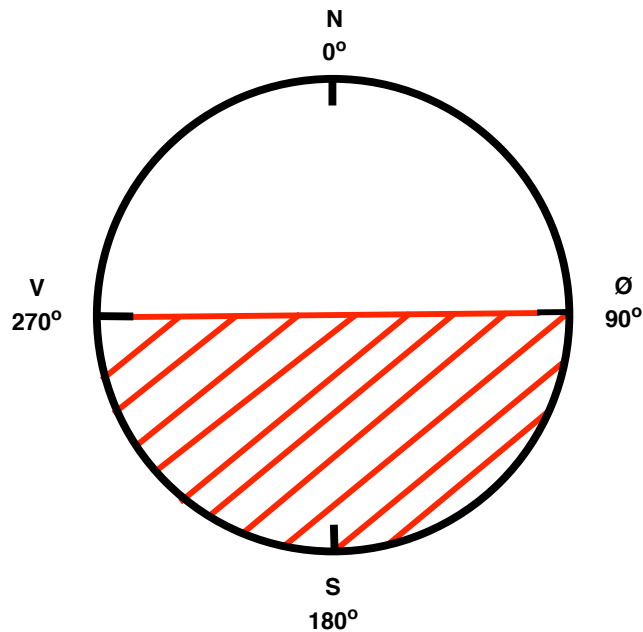
For å unngå at kablene skal vinde seg opp rundt sensorholderen eller skades i tannhjulene, er det ønskelig at toppen av goniometeret kun skal rotere ± 90 grader fra startposisjonen. Et av kravene som ble stilt ved design av goniometeret var at det skulle være mulig å måle mot alle punkter i øvre halvkule. Dette vil kunne oppnås ved å bruke både positive og negative polarvinkler mellom 0 og 90 grader, og asimutvinkler mellom 180 og 360 grader.

Startposisjonen vil være med motoren som styrer polarvinkelen mot vest, se figur 32. Settes polarvinkelen til 90 grader vil sensoren peke mot sør. Brukes de negative polarvinklene, slik at den settes til -90 , vil sensoren peke mot nord. For asimutvinkelen tilsvarende nord 0° , øst 90° , sør 180° , og vest 270° grader. Motoren vil da kunne bevege seg mellom nord, vest og sør. Kablene vil da være i trygg avstand fra tannhjulene som vil føre til en trygg drift.



Figur 32: Startposisjonen til asimutvinkelen er satt slik at en forandring i polarvinkelen vil peke sensoren rett mot sør eller nord. Polarvinkelens startposisjon er rett opp.

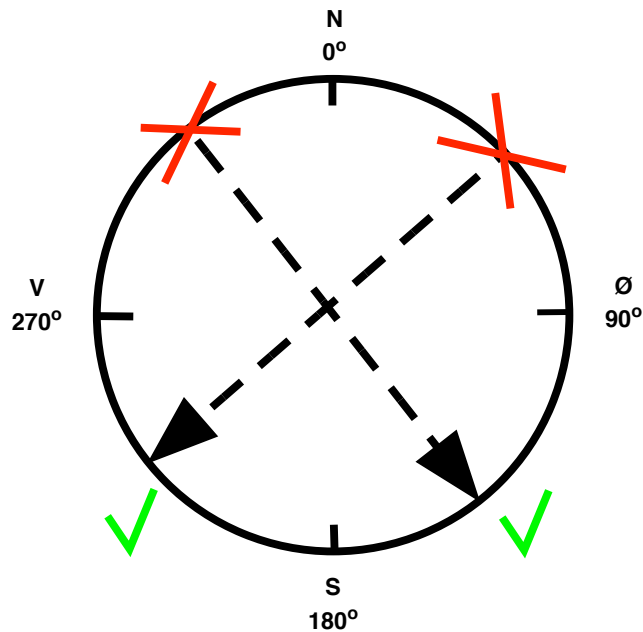
Er det kun mulig å bevege den øverste delen av goniometeret ± 90 grader fra startposisjonen, vil det være problemfritt å måle i alle sørlige retninger. Det skraverte området i figur 33, viser området sensoren kan måle mot når det brukes positive polarvinkler, altså når sensoren roteres med klokken, sett fra motoren.



Figur 33: For å unngå at kablene skades i tannhjulene eller vindes opp er toppen av goniometeret satt til å kun rotere ± 90 grader fra startposisjonen. Det skraverte området viser hvilke punkter sensoren kan måle mot om det brukes positive polarvinkler.

For å tilfredstille kravet som ble stilt, må det være mulig å orientere sensoren mot alle punkt i den øvre halvkule. Derfor må også de nordlige retningene kunne måles mot. Måten dette er løst på er at alle koordinater som er i nordlig retning blir omregnet. Omregningene gjøres automatisk i programmet, slik at brukeren skriver inn en verdi mellom 0- og 360 grader for asimutvinkel og en verdi mellom 0- og 90 grader for polarvinkelen.

Skrives det inn en verdi for måling mot nord-øst vil programmet gå mot sør-vest, men bruke negativ polarvinkel, slik at sensoren vil peke mot nord-øst, som var den ønskede retningen. Det blir det samme om man ønsker å måle mot nord-vest. Programmet vil da gå mot sør-øst og bruke negativ polarvinkel og måle mot nord-vest. Figur 34 viser hvordan posisjonene omregnes når det skal måles mot nord. På denne måten vil alle punkter i den øvre halvkule kunne måles.



Figur 34: Ved å bruke negative polarvinkler og regne om noen av koordinatene vil det kunne måles mot alle punkt i den øvre halvkule, selv om det kun brukes asimutvinkler mellom 180- og 360 grader. Posisjonene som er markert med røde kryss kan nås ved å gå til posisjonene med grønne haker, og bruke negativ polarvinkel med samme verdi.

Når motoren som styrer asimutvinkelen er kommet til sin startposisjon er den kommet til sitt nullpunkt, og verdiene som sendes til motoren må være verdier relative til det. Det vil si at om man ønsker å måle mot øst må motoren bevege seg 90 grader, og for målinger mot vest må motoren gå -90 grader. Positive verdier gjør altså at motoren går mot klokken, og negative verdier gjør at den går med klokken, sett ovenfra. Motorene må altså få verdier mellom -90 og 90 grader, og derfor må noen omregninger gjøres. Hvilke omregninger som må gjøres med asimutvinkelen og polarvinkelen for forskjellige asimutvinkler er listet i tabell 3.

| Asimutvinkel, x | Omregning asimutvinkel | Omregning polarvinkel |
|-----------------|------------------------|-----------------------|
| 0-90 | Bytte fortegn | Bytte fortegn |
| 90-270 | 180-x | Ingen omregning |
| 270-360 | 360-x | Bytte fortegn |

Tabell 3: For å kunne måle mot alle punkter må noen omregninger gjøres. Hvilke avhenger av asimutvinkelen.

På denne måten vil alle verdiene ende mellom -90- og 90 grader. Disse omregningene er implementert i LabVIEW, og det er brukt *case structure*-funksjoner for å bestemme hvilket intervall verdiene er i.

Da det ikke er tilbakekobling, kreves det hele tiden relative koordinater. Det løses ved å trekke verdien som skal brukes fra forrige omregnede verdi.

Mikrosteg

Hvert steg steppermotoren tar er på 1.8 grader, som oppgitt i databladet til motoren. 1.8 grader for hvert steg gjør at en full rotasjon består av 200 steg. Hvert av disse stegene kan igjen deles opp i mikrosteg. Motorene som er brukt i dette prosjektet tillater å dele hvert steg i opptil 256 mikrosteg, som gir 51 200 mikrosteg for en hel rotasjon. Deler man 51 200 steg på 360 grader, ser man at $\frac{1280}{9}$ mikrosteg tilsvarer en grad. Verdien som kommer fra filen er en verdi som er oppgitt i grader. Denne må da ganges opp med denne omregningskonstanten for å få motorene til å bevege seg riktig antall steg.

Kommunikasjonen med motorene er basert på *First In First Out* (FIFO). Det vil si at de kommandoene som sendes inn først, er de som blir iverksatt først. Det er to FIFO-buffere, en på PC-en og en på FPGA-en.

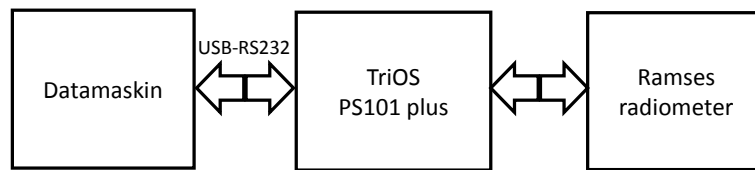
3 Ramses radiometer

I dette prosjektet er to radiometer fra produsenten TriOS benyttet, en radianssensor, Ramses SAM ARC VIS og en irradianssensor, Ramses SAMIP ACC-2 VIS. Begge sensorene måler bølgelengder mellom 320- og 950 nm. Figur 35 viser radianssensoren montert i goniometeret.



Figur 35: Ramses radianssensoren montert i goniometeret.

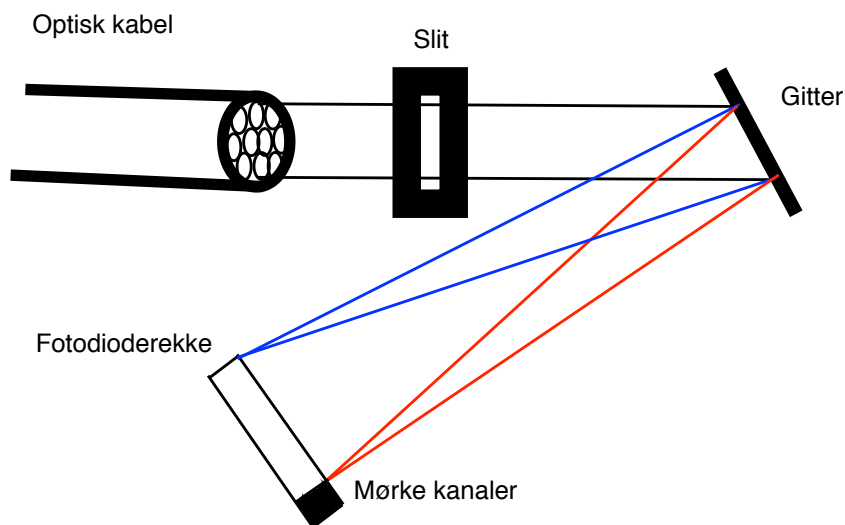
Sensorene ble koblet til PC-en via TriOS PS101 plus, som inneholder en strømforsyning som sensorene bruker og en RS232 kommunikasjonsport. Programvaren MSDA_XE, som er utviklet av TriOS [14], er brukt for å kommunisere med sensorene. Det er versjon 8.9.2 som er brukt i dette prosjektet. Flyttdiagrammet i figur 36 viser hvordan kommunikasjonen mellom datamaskinen og instrumentene går via TriOS PS101 plus.



Figur 36: Flytsdiagrammet viser hvordan kommunikasjonen mellom datamaskinen og radiometeret går via TriOS PS101 plus, og at det brukes en USB-RS232 kabel.

3.1 Innebygget spektrometer

I hvert Ramses radiometer er det integrert et spektrometer produsert av Carl Zeiss AG. Det får inn lyset via en optisk kabel med 30 separate fibre. De elektromagnetiske strålene går så gjennom en *slit*, en liten åpning, før de treffer et gitter som reflekterer lys med ulike bølgelengder i ulike retninger. Flaten de så treffer er en fotodioderekke som består av 256 elementer. Forskjellig retning gjør at de ender på forskjellige elementer, som brukes til å måle hvor mye stråling som er kommet inn ved ulike bølgelengder, som vist i figur 37.



Figur 37: Lyset som måles kommer inn gjennom en optisk kabel og går gjennom en *slit*, en liten åpning før det blir spredt av et gitter. Hvor mye lyset blir spredt er avhengig av bølgelengden, det vil derfor treffe forskjellige elementer på fotodioderekken som måler intensiteten for de forskjellige bølgelengdene. De mørke kanalene er brukt for å redusere støy i målingene.

For å fjerne noe støy er noen av kanalene dekket med en sort film som ikke slipper

gjennom noe lys. Det som disse kanalene måler er da ikke fra lyset som er ønskelig å måle, og klassifiseres som støy i målingene som gjøres. Verdien disse kanalene plukker opp blir trukket fra alle de andre verdiene, da man antar at alle de andre kanalene også plukker opp det samme støysignalet. Det mørke området på fotodioderekken i figur 37 illustrerer de mørke kanalene.

Sensorene kan måle bølgelengder mellom 320- og 950 nm. Det vil si hele det synlige spekteret, noe ultrafiolett stråling og litt infrarød stråling. Stråling med bølgelengder over eller under disse verdiene spres i retninger som gjør at de ikke treffer fotodioderekken. De vil derfor ikke kunne måles.

3.1.1 Spektral radians og spektral plan irradians

Definisjonen på spektral radians og spektral plan irradians er som følger:

Radians er definert som energien per tid til strålingen som mottas av en gitt flate, innenfor en gitt romvinkel, delt på arealet av flaten og størrelsen på romvinkelen [9]. Enheten for radians er $W m^{-2} sr^{-1}$, der sr er romvinkelen i steradianer, som angir hvor stort-, og hvilket område den målte strålingen kommer fra. Matematisk er radiansen, $L_{e,\Omega}$ uttrykt på følgende måte:

$$L_{e,\Omega} = \frac{\partial^2 \Phi_e}{\partial \Omega \partial A \cos \theta}, \quad (4)$$

der:

Φ_e er strålingsfluksen

Ω er romvinkelen

$A \cos \theta$ er det eksponerte området.

Spektral radians er den målte radiansen per bølgelengde eller frekvens. I dette prosjektet er det benyttet bølgelengde, og enheten som er brukt for spektral radians er derfor $W m^{-2} nm^{-1} sr^{-1}$, der nm er bølgelengden på strålingen i nanometer. Matematisk er spektral radians, $L_{e,\Omega,\lambda}$ uttrykt på følgende måte:

$$L_{e,\Omega,\lambda} = \frac{\partial L_{e,\Omega}}{\partial \lambda}, \quad (5)$$

der:

λ er bølgelengde.

Plan irradians er definert som strålingsenergien som mottas av en gitt flate, per tid og areal, og finnes ved å integrere over radiansen ganget med cosinus til polarvinkelen. Enheten for irradians er W m^{-2} . Matematisk blir plan irradians, E_e uttrykt på følgende måte:

$$E_e = \int_0^{2\pi} L_{e,\Omega} \cos \theta d\Omega, \quad (6)$$

$$E_e = \frac{\partial \Phi_e}{\partial A}, \quad (7)$$

der:

Φ_e er den mottatte strålingsfluksen

A er det eksponerte området.

Spektral plan irradians gir plan irradians per bølgelengde eller frekvens. I dette prosjektet er bølgelengde benyttet, og enheten er derfor $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$. Matematisk blir spektral plan irradians, $E_{e,\lambda}$ uttrykt på følgende måte:

$$E_{e,\lambda} = \frac{\partial E_e}{\partial \lambda}. \quad (8)$$

3.1.2 Irradianssensor

Ramses SAMIP ACC-2 VIS er irradianssensoren som er brukt i prosjektet. Det hvite feltet, som kan ses i figur 38, er selve måleflaten. Siden den er flat, spredende kan den måle stråling fra alle innfallsvinkler i den øvre halvkule.

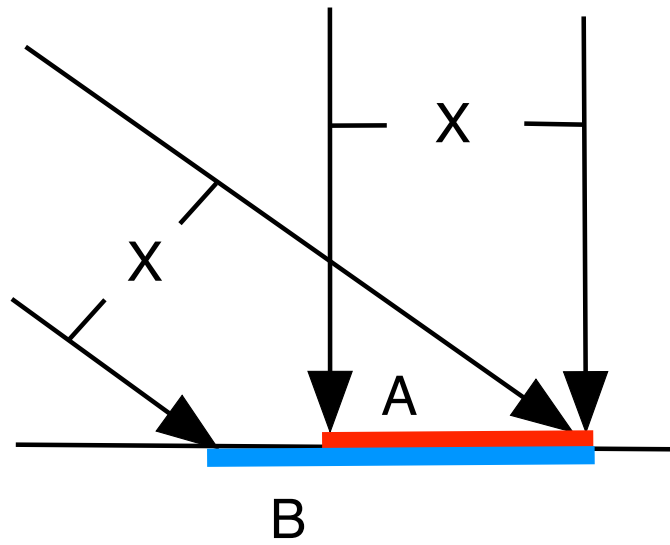


Figur 38: Irradianssensoren har en flat, spredende måleflate, noe som gjør at den måler den plane irradiansen over alle retninger i den øvre halvkule.

Denne typen irradians kalles også cosinus irradians. Det er fordi den målte intensiteten på strålingen vil være avhengig av vinkelen den kommer inn med. Stråler som treffer vinkelrett på flaten vil gjøre større utslag enn de som kommer inn med en mindre vinkel med flaten. Hvor mye denne effekten utgjør er beskrevet av Lambert's cosine law. Lambert's cosine law sier at intensiteten er direkte proporsjonal med cosinus av vinkelen mellom retningen på lyset og normalen til flaten den treffer [15]. Grunnen til dette, er at en større vinkel vil gjøre at lyset vil bre seg over en større flate, og dermed ha lavere fluks per flateenhet. Loven blir da matematisk uttrykt:

$$E_{e,\theta} = E_{e,0} \cdot \cos \theta \quad (9)$$

Der $E_{e,\theta}$ er den målte intensiteten, $E_{e,0}$ er den opprinnelige intensiteten og θ er vinkelen mellom lyset og normalen til flaten den treffer. Figur 39 illustrerer hvordan lyset brer seg over et større område om det kommer skrått inn. Dette vil følgelig gi lavere irradians.



Figur 39: Lambert's cosine law beskriver hvordan lys som kommer inn skrått, B, breder seg over et større areal, og da får lavere intensitet enn lys som treffer vinkelrett på flaten man måler på, A. X viser at bredden på lysstrålene som kommer inn er lik.

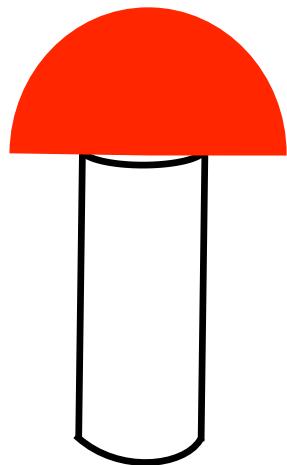
3.1.3 Radianssensor

Ramses SAM ARC VIS er radianssensoren som er brukt i prosjektet. Den måler kun lys som kommer fra et bestemt område. Det er fokallengden på linsen og avstanden fra linsen til de optiske fiberene, som bestemmer hvor stort område den kan måle stråling fra. Denne sensoren har en vinkelåpning på 7 grader. Figur 40 viser hvordan endestykket ser ut.

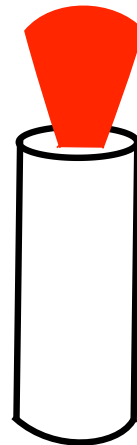


Figur 40: Radianssensoren slipper kun inn stråling som kommer fra det området man peker sensoren mot. Kragen som er rundt linsen er bare for beskyttelse, og det er optikken som avgjør vinkelåpningen.

Som man kan se i figur 41a, vil en irradianssensor måle stråling som treffer en flate fra alle retninger i den øvre halvkule. Figur 41b viser hvordan en radianssensor bare måler stråling som kommer fra et bestemt område.



(a) Irradianssensoren måler stråling fra alle punkt i den øvre halvkule.



(b) Radianssensoren måler kun stråling som kommer fra et bestemt område.

Figur 41: Radianssensoren måler stråling fra et mindre område enn det irradianssensoren gjør.

Innkapsling

Elektronikk er ofte merket med en IP-verdi. IP står for international protection, og sier noe om hvordan elektronikken er kapslet inn. Det er alltid et tosifret tall, der det første sier hvor bestandig det er mot støv, mens det andre tallet angir hvor bestandig det er mot vann. Høyere tall betyr bedre innkapsling, og den høyeste verdien er IP68. Sensorene har denne verdien, noe som betyr at de er helt støvtette, og at de tåler varig neddykking i vann.

3.2 Datagrensesnitt mot Ramses radiometer

Den opprinnelige planen i prosjektet var å ha motorstyring og sensorstyring i samme styringsprogram skrevet i LabVIEW, altså i samme VI. Det viste seg å være vanskelig å få til kommunikasjon med sensoren i LabVIEW, noe som førte til at TriOS program, MSDA_XE, ble brukt for å gjøre målingene. Det ble gjort et betydelig arbeid i prosjektet for å kunne lese data fra Ramses radiometeret via RS232-protokollen ved hjelp av LabVIEW, og dette arbeidet beskrives derfor i rapporten.

Det første som ble gjort i forsøket på å styre sensoren med LabVIEW var å bruke NI-MAX for å sjekke om det var kommunikasjon mellom instrumentet og PC-en. NI-MAX er et program utviklet av National Instruments som kan vise om det er kontakt med instrumenter som er koblet til PC-en. Det er også mulig å bruke programmet til å se hvilken port de står i og til å sende enkle kommandoer. Kommandoen som ble sendt var:

*IDN? n

Kommandoen, som betyr *identify?* spør sensoren om dens identitet. Sensoren vil da vanligvis svare med å sende modell- eller serienummer. Dersom sensoren svarer, bekrefter det at det er kontakt. Under vises svaret Ramses 810c sendte. Det at det kom et svar bekreftet at det var kontakt.

(C) sTriOS sGmbH s2002 r n

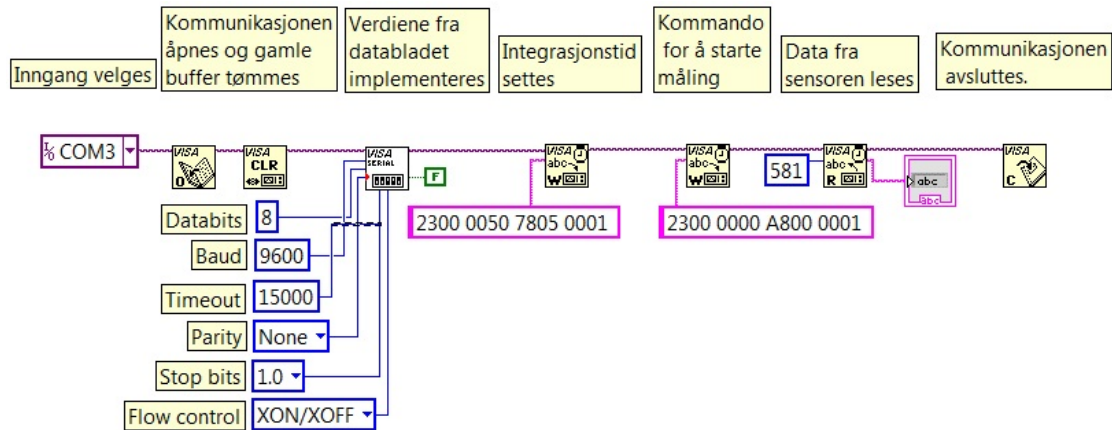
For å kunne kommunisere med sensoren, via RS232, må serieporten konfigureres i henhold til spesifikasjoner i databladet [3]. Disse verdiene vises i tabell 4.

| | |
|--------------|--------------------|
| Baud | 9600 |
| Databits | 8 |
| Parity | None |
| Flow Control | Software(xon/xoff) |

Tabell 4: Innstillinger som må brukes for å kommunisere med TriOS Ramses, via RS232.

Det ble så forsøkt å sende samme kommando fra LabVIEW. Det førte til noen problemer, og det viste seg at kommandoene måtte sendes som heksadesimaler. I databladet er det listet opp to kommandoer, en for å sette integrasjonstid, og en for å utføre måling. Det som da var ønskelig å få med i programmet var å åpne kommunikasjon, sette verdier fra datablad, sette integrasjonstid, gjøre måling, lese

målingen og til slutt avslutte kommunikasjonen. I figur 42 vises VI-en som inneholder dette.



Figur 42: VI for kommunikasjon med sensor, der innstillinger settes, integrasjonstid settes og måling gjøres, før kommunikasjonen avsluttes.

De heksadesimale kommandoene som ble brukt kan ses i de rosa rutene i figur 42. Kommandoene som ble sendt var listet i databladet, og kan også ses under:

2300 0050 7805 0001 for å sette integrasjonstid.
2300 0000 A800 0001 for å starte måling.

23 og 01 er kommandoer som starter og avslutter datapakken som sendes. Tallene mellom er til forskjellige typer kommandoer. Plassen 78 og A8 har, er listet som instruksjoner i databladet. Kommandoene som sendes består av 8 byte. Hver av disse bytene består av 8 bits, som er binære siffer. Databladet har beskrevet de forskjellige bytene slik det vises i tabell 5.

| Byte nr. | Navn | Beskrivelse |
|----------|-------------|---------------------------|
| 0 | Startbyte | Alltid 23 |
| 1 | Device id 1 | Identitet |
| 2 | Device id 2 | Identitet |
| 3 | i2C adress | Intern adresse |
| 4 | Instruction | Kommando skrives her |
| 5 | Parameter 1 | Tilleggsinfo til kommando |
| 6 | Parameter 2 | Tilleggsinfo til kommando |
| 7 | Checkbyte | Alltid 01 |

Tabell 5: Beskrivelse av de 8 bytene som sendes til sensoren.

Etter en kommando er sendt, kan programmet settes til å lese ut data som blir returnert av instrumentet. Dataene som kommer tilbake, har som datapakken man sender en startbyte og en *checkbyte*, altså en avslutningsbyte. Resten av bytene inneholder data, som er beskrevet i tabell 6:

| Byte nr | Navn | Beskrivelse |
|---------|--------------|---------------------|
| 0 | Startbyte | Alltid 23 |
| 1 | Device id 1 | Identitet |
| 2 | Device id 2 | Identitet |
| 3 | Modul id | Intern adresse |
| 4 | Frame byte | Antall byte mottatt |
| 5 | Reserved | Settes lik 0 |
| 6 | Reserved | Settes lik 0 |
| 7...x | n data bytes | Måledata |
| x+1 | Checkbyte | Alltid 01 |

Tabell 6: Beskrivelse av bytene som mottas fra sensoren. Det er noen som har faste verdier, mens resten er målte verdier.

Det som er ønskelig å få i retur når det gjøres en slik måling er et spekter. Ramses-sensoren måler 256 forskjellige intensitetsverdier, og det er 230 av disse som settes sammen til et spekter. Resten av intensitetsverdiene er fra de mørke kanalene. Disse dataene blir delt opp i 8 datapakker før det sendes fra sensoren.

Det ble mottatt data hver gang programmet ble kjørt. Problemet var at noen ganger ble det mottatt for mange byte. Det var ikke mulig å vite hvilken eller hvilke byte som måtte fjernes, noe som gjorde målingene ugyldige. Problematikken

med at for mange byte ble mottatt skjedde oftest når sensoren målte mye lys.

Etter e-postkorrespondanse med TriOS, produsenten av Ramses-instrumentene i Tyskland, ble det klart at det var mulig å bruke det medfølgende programmet, MSDA_XE, til å se kommandoene det brukte. Kommandoene her avvek noe fra kommandoene listet i databladet. Kommandoene fra MSDA_XE som sendes til radianssensoren og irradianssensoren vises i tabell 7.

| Kommando irradianssensor | Beskrivelse |
|--------------------------|------------------------|
| 2300 0030 7805 0001 | Bestem integrasjonstid |
| 2300 0080 A800 8101 | Gjør måling |
| Kommando radianssensor | Beskrivelse |
| 2300 0000 7805 0001 | Bestem integrasjonstid |
| 2300 0000 A800 8101 | Gjør måling |

Tabell 7: Kommandoene som sendes til sensorene fra programvaren MSDA_XE.

Det er den nest siste byten, de to tallene som kommer før 01 i integrasjonstidkommandoene, som bestemmer integrasjonstiden. 00 betyr at integrasjonstiden settes automatisk. Tiden er gitt i millisekund, og integrasjonstiden bestemmes av følgende formel:

$$T = 2^{(x+1)} \quad (10)$$

Der x er tallverdien som settes inn i kommandoen. Tallet må da skrives som heksadesimal. T er gitt i millisekund.

Det ble dessverre ikke bedre med de nye kommandoene, og det ble derfor tatt en beslutning om at programvaren MSDA_XE skulle brukes til målingene. Denne beslutningen ble tatt siden masterprosjektet er et tidsavgrenset prosjekt, og det er derfor også beskrevet under videre arbeid.

Spekter

Ber man om en måling fra Ramses radiometeret, er det et spekter man får i retur. Man får da verdier fra de 256 fotodiodene som sitter i det innebyggede spektrometeret. Hver fotodiode sender 2 byte med data med informasjon om intensitet. Spekteret deles inn i 8 datapakker som hver inneholder 64 byte data. Hver datapakke inneholder også kommunikasjonsinformasjon som ikke skal være med i spekteret, som da må fjernes. Totalt er det 72 byte i hver datapakke. Under vises hvordan

den første datapakken som mottas ser ut.

23A0 00 00 07 FEFE 0A 07 XXXX XXXX FB

X-ene her representerer data tilhørende spekteret. Resten må fjernes. 07 angir at det er pakke nummer 7. Pakkene med de lengste bølgelengdene (pakke 7) kommer først, og pakke 0 kommer sist. I tillegg blir datapakkene sendt med de høyeste bølgelengdene først, så hver pakke må også speilvendes for å få laget et spekter med stigende bølgelengde langs x-aksen.

4 Eksperimenter

Det er utført eksperimenter for karakterisering av goniometeret og det er gjort noen målinger med radiometeret. Karakteriseringen er gjort for å undersøke hvor nøyaktig startposisjonen vil være og tallfeste hvor nøyaktige bevegelsene til motorene er. Målingene med radiometeret er gjort utendørs, og har hatt som hensikt å validere bruken av instrumentet og øke forståelsen av strålingstransporten i atmosfæren.

4.1 Plassering av goniometeret

For at målingene skal bli korrekte, må man være helt sikker på hvilken retning goniometeret er plassert i. Måten dette blir løst på er å bruke et kompass, og vri på goniometeret til det er perfekt i nord-sør retning. Her er det viktig at man bruker kompasset før motorene aktiveres, da elektromagnetene i motorene er sterke nok til å påvirke kompasset. Den permanente magneten i rotoren kan også påvirke kompasset om det plasseres for nære motorene. Det er også viktig å huske på at den magnetiske nordpol og geografiske nordpol ikke er i samme punkt. I Bergen, som er stedet for målingene er det 3 graders vestlig misvisning, noe som betyr at kompasset vil vise nord til venstre for den geografiske nordpol [16]. Polarvinkelen kan også påvirkes av dårlig plassering, så det er også viktig at den står i vater. Måten dette løses på er å bruke et vaterpass. Bena på strukturen er justerbare, så de kan skrues på for finjustering.

Som en følge av at det kan være vanskelig å rotere goniometeret nøyaktig mot den geografiske nordpol, er det anslått en usikkerhet på ± 3 grader for asimutvinkelen. Det vil være enklere å få plassert goniometeret i vater, og det er derfor anslått en usikkerhet på ± 1 grad for polarvinkelen.

Goniometeret og radiometeret er designet for å tåle regn, men det er ikke cRIO, PC-en og strømforsyningen til radiometeret. Løsningen ble da å plassere disse i en aluminiumskasse. Figur 43 viser hvordan oppsettet er på en dag det er fare for regn.

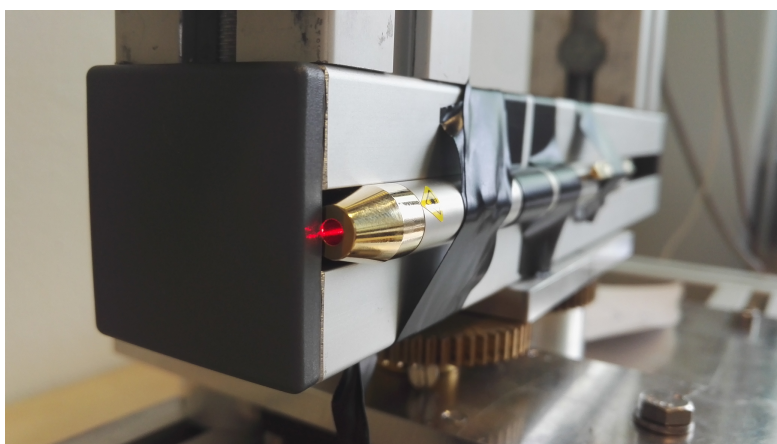


Figur 43: En aluminiumskasse ble brukt for å skjerme cRIO, PC-en og strømforsyningen fra regnet.

Å gjøre målinger en hel dag i regn fikk bekreftet at goniometeret tilfredstiller de satte kravene om å kunne operere i regn.

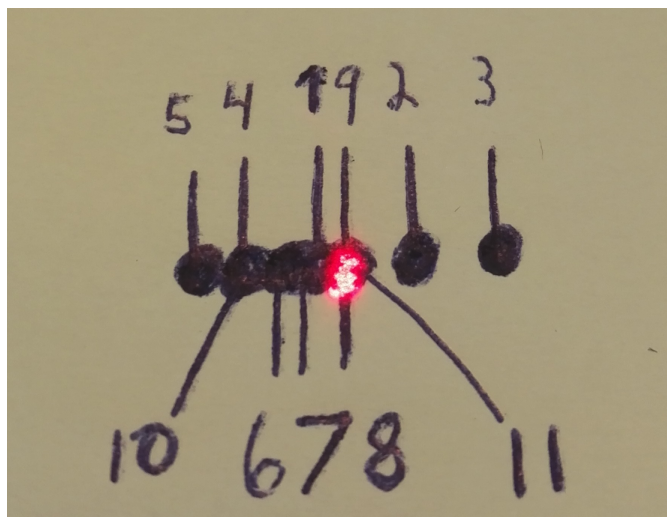
4.2 Karakterisering

Det ble gjort noen forsøk for å sjekke at goniometeret går til samme punkt hver gang det settes til å gå til startposisjonen. Motorene ble satt til å gå til referansebryterne, for så å gå til startposisjonen. For å sjekke hvor langt motorene går, ble det festet en laserpeker på goniometeret, se figur 44



Figur 44: Laserpeker brukt i eksperiment for å karakterisere nøyaktigheten til bevegelsene til motorene.

Punktene laserpekeren pekte på ble markert med kulepenn på et ark, se figur 45.



Figur 45: For å karakterisere hvor nøyaktige motorbevegelsene er, ble det festet en laser på goniometeret, og punktet den pekte på ble markert på et ark.

Arket var festet 266 cm fra goniometeret, og avstanden mellom de ytterste punktene var 5 cm, som tilsvarer 1.1 grad. Usikkerheten blir da ± 0.55 grader.

Den samme testen ble gjort for polarvinkelen, der et ark ble festet i taket, og en prikk ble markert der laseren traff. I dette eksperimentet traff laseren på samme prikken ti ganger på rad.

Testen ble så videreført ved å sette motorene til å gå til en koordinat etter at de er gått til startposisjonen. Koordinatet som ble valgt hadde asimutvinkel 90 grader og polarvinkel 75 grader. Punktet som var ønskelig å treffe ble så målt opp og markert på et ark som var festet på veggen. Programmet ble kjørt ti ganger, og punktene laseren traff ble markert. For asimutvinkelen var alle punktene innenfor en avstand som tilsvarer ± 4 grader fra det oppmålte punktet. For polarvinkelen var alle punktene innenfor en avstand som tilsvarer ± 2 grader fra det oppmålte punktet.

Usikkerhetene for plasseringen, startposisjonen og motorkjøringen er lagt sammen på følgende måte for asimutvinkelen.

$$k = \sqrt{3^2 + 0.55^2 + 4^2} = 5 \text{ grader} \quad (11)$$

Det samme er gjort for å summere usikkerhetene i polarvinkelen for plasseringen og motorkjøringen.

$$k = \sqrt{1^2 + 2^2} = 2.2 \text{ grader} \quad (12)$$

Den totale usikkerheten for asimutvinkelen er altså ± 5 grader, og ± 2.2 grader for polarvinkelen.

4.3 Databehandling

I dette delkapittelet vil datafilen som styringsprogrammet leser inn beskrives. Den vil inneholde en tabell med koordinater, dato og tidspunkter. Hvordan innsamlede data tolkes vil også beskrives.

Solposisjonskalkulator

For disse målingene er det ønskelig å vite koordinatene til solen, og hvilken bane den vil følge. For å finne koordinatene til solen kan det brukes en solposisjonskalkulator. Det skrives da inn tid og dato, samt posisjonen det er ønskelig å finne data for. I figur 46 vises solbanen hentet fra SunEarthTools.com [17]. Solbanen er sett fra Bjørn Trumpys hus, Universitetet i Bergen den 4. mai 2017.

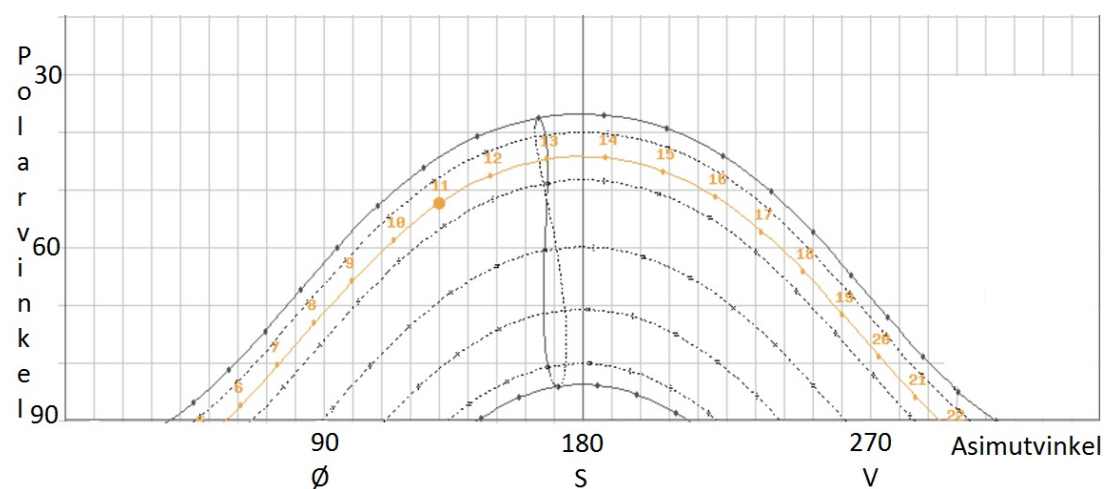


Figur 46: Den gule linjen viser solbanen 4. mai 2017, og tallene langs den angir klokkeslettene for når solen er i de forskjellige posisjonene. De svarte ringene viser solbanen på årets lengste og korteste dag. Når linjen for solbanen krysser den blå ringen, betyr det at solen er gått ned. Nord er opp på figuren [17].

Avstanden fra gule linjen til midtpunktet er proporsjonal med polarvinkelen. Når

den gule linjen krysser den blå ringen, er polarvinkelen lik 90.8. Dette er når toppen av solskiven er i samme punkt som horisonten. Den innerste, svarte ringen angir solbanen den 21. juli, altså den dagen solen er lengst oppe. Den ytterste, svarte ringen, som kan ses helt nede på figuren angir solbanen den 21. desember, altså dagen i året solen er kortest oppe. Det gule feltet er summen av alle solbaner gjennom året. Figuren tar ikke høyde for fjell og bygninger som skygger, og man vil derfor se mindre sol enn det som figuren viser.

Figur 47 viser hvordan asimutvinkelen og polarvinkelen til solen varierer i løpet av et år.



Figur 47: Den gule linjen viser solbanen 4. mai 2017. De svarte kurvene er solbanen på øvrige dager, der den øverste og nederste kurve er for årets lengste- og korteste dag. Linjen som har form som et 8-tall angir solposisjonen hver dag kl. 13 [17]. Det at solen ikke står i samme punkt hver dag, skyldes at jorden går rundt solen i en ellipsebane.

Figuren viser blant annet at solen aldri kommer høyere enn det som tilsvarer en polarvinkel lik 36 grader i Bergen.

Koordinatene for solposisjonen kan leses fra en tabell på nettsiden, eller de kan lastes ned som en Excel-fil. Det kan velges intervaller mellom 10- og 60 minutter, og i figur 48 vises det hvordan tabellen ser ut på nettsiden.

| Date: | 04/05/2017 GMT1 | |
|--------------|----------------------------------|---------|
| coordinates: | 60.3849429, 5.3294757 | |
| location: | Allégaten 44, 5007 Bergen, Norge | |
| hour | Elevation | Azimuth |
| 05:26:03 | -0.833° | 54.29° |
| 6:00:00 | 2.72° | 61.64° |
| 7:00:00 | 9.59° | 74.39° |
| 8:00:00 | 16.91° | 87.17° |
| 9:00:00 | 24.3° | 100.4° |
| 10:00:00 | 31.36° | 114.63° |
| 11:00:00 | 37.62° | 130.42° |
| 12:00:00 | 42.46° | 148.2° |
| 13:00:00 | 45.24° | 167.86° |
| 14:00:00 | 45.5° | 188.42° |
| 15:00:00 | 43.17° | 208.35° |
| 16:00:00 | 38.68° | 226.52° |
| 17:00:00 | 32.65° | 242.66° |
| 18:00:00 | 25.72° | 257.15° |

Figur 48: Koordinatene for solposisjonen gis i en slik tabell. Det er høyden på solen som oppgis, og må derfor regnes om til polarvinkel [17].

Nettsiden opererer med høyde istedenfor polarvinkel. Det betyr at man må trekke verdien fra 90 grader for å få polarvinkelen. Verdiene for asimutvinkelen er like som i denne rapporten, der 180 grader asimut er lik rett mot sør.

Figur 49 viser hvordan Excel-filen som inneholder koordinater og tidspunkter som leses inn ser ut.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|-----|-------|------|------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | Dag | Måned | År | Time | Minutt | Sekund | Asimut | Polar |
| 2 | 4 | 5 | 2017 | 8 | 51 | 0 | 100 | 65 |
| 3 | 4 | 5 | 2017 | 9 | 1 | 0 | 100 | 0 |
| 4 | 4 | 5 | 2017 | 9 | 11 | 0 | 105 | 63 |
| 5 | 4 | 5 | 2017 | 9 | 21 | 0 | 105 | 0 |
| 6 | 4 | 5 | 2017 | 9 | 31 | 0 | 110 | 60 |

Figur 49: Filen som leses inn i LabVIEW-programmet inneholder koordinater og tidspunkter for når goniometeret skal iverksette bevegelsene.

MATLAB

MATLAB er brukt for å tolke data som er mottatt fra sensoren. Skriptene som er skrevet utfører følgende kommandoer:

- Fjerner kommunikasjonsinformasjon
- Integrerer over bølgelengder
- Finner total energi flaten er eksponert for
Dette gjøres ved å integrere over tid, etter det er integrert over bølgelengdene.
- Plotter mot tid
- Plotter mot bølgelengde
- Lager contour-plot

4.4 Målinger

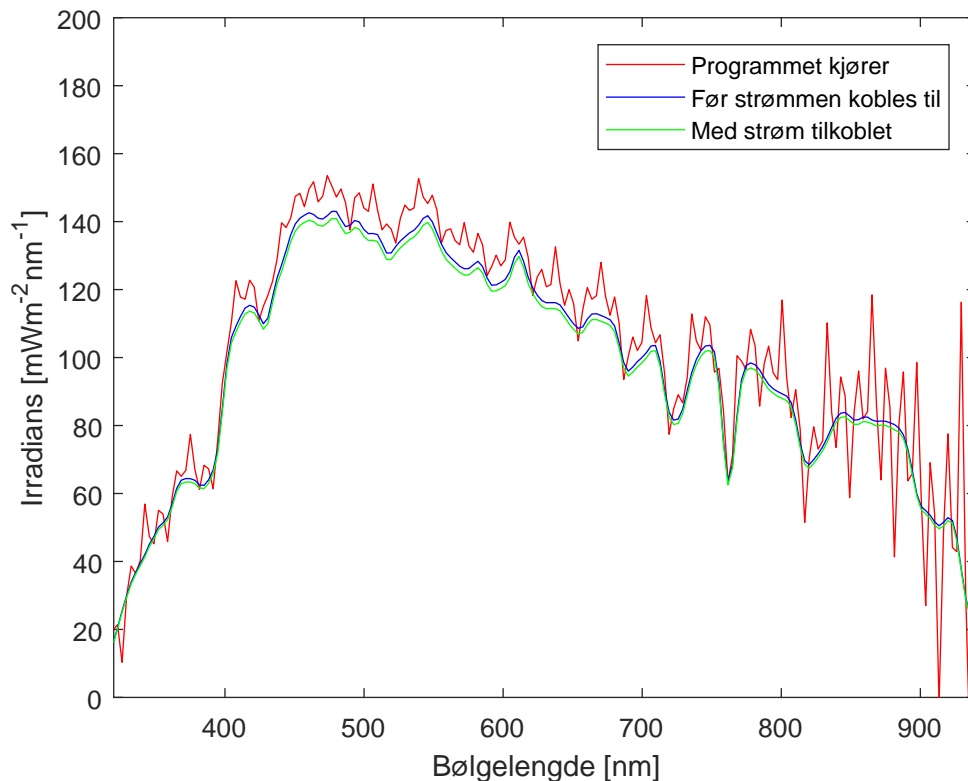
Målingene er gjort på taket av Bjørn Trumpys hus (Allégaten 55), Universitetet i Bergen (GPS-koordinat: 60.38, 5.33). Værforholdene er nærmere beskrevet under de forskjellige målingene. Figur 50 viser goniometeret plassert på taket.



Figur 50: Goniometeret under måling.

4.4.1 Irradiansmålinger

For å karakterisere hvilken effekt elektromagnetene i steppermotorene har på irradiansmålingene når de er aktivert, er det gjort tre målinger av utendørs spektralt sollys. En før strømmen kobles til cRIO, en når cRIO er koblet til strøm, og en når programmet som styrer motorene kjører. Figur 51 viser resultatet av disse målingene.



Figur 51: Den røde kurven er målingen som er gjort mens programmet som styrer motorene kjører. Den blå er før strømmen kobles til og den grønne er før programmet startes.

Det er tydelig at de aktiverte motorene fører til mye støy, spesielt ved de lengste bølgelengdene. Det er flere tiltak som kan gjøres for å begrense denne støyen. Fysisk separasjon, det å flytte støykilden bort fra instrumentet kunne vært et alternativ, men det vil ikke være mulig å flytte motorene lengre bort fra sensoren uten at det går ut over designet. Støyen vil kunne fjernes ved at motorene slås av når målingene gjøres. Det er vist at cRIO kan være koblet til strøm uten å lage støy, og at den først kommer når motorene aktiveres. Problemet med å deaktivere

motorene før måling, er at dersom de ikke er aktivert, vil de ikke kunne holde sensoren i samme posisjon, og den vil da ikke måle i riktig retning.

Den beste løsningen vil nok være å skjerme sensoren slik at støyen fra motorene ikke når sensoren. Det vil da kunne brukes et Faradaybur. Et Faradaybur er et skall som er laget av et elektrisk ledende materiale som kan bygges rundt det som er ønskelig å skjerme fra elektromagnetisk stråling. Det er viktig at buret ikke kommer i kontakt med sensoren, siden støyen da vil ledes til sensoren. Ved å koble buret til jord, samtidig som det ikke er i kontakt med sensoren, sørges det for at støyen som treffer buret vil ledes bort istedenfor til sensoren.

Irradiansmåling ved sol og skyfri himmel

Målinger med irradianssensoren rettet mot solen blir sammenlignet med målinger gjort rett opp. Målingen som er presentert i figur 52 er gjort 4. mai 2017, og det er integrert over bølgelengdene, slik at hvert punkt er en verdi på målt irradians. Matematisk blir dette uttrykt på følgende måte:

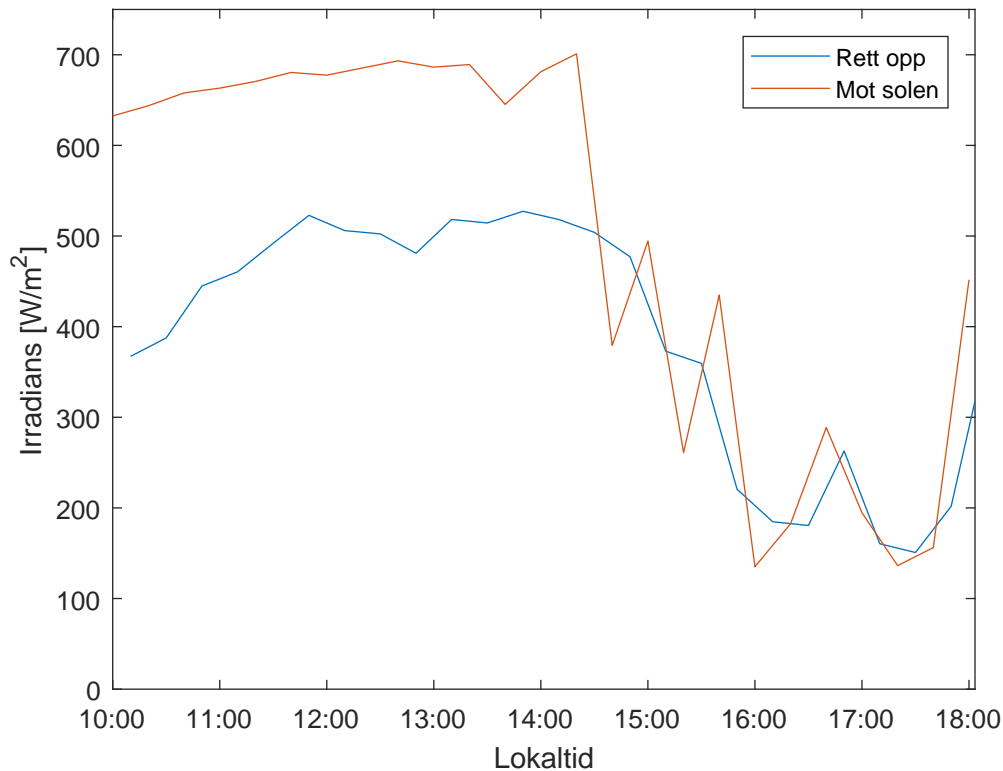
$$E_e = \int_{320}^{950} E_{e,\lambda} d\lambda, \quad (13)$$

der:

E_e er irradiansen

$E_{e,\lambda}$ er den spektrale irradiansen.

Det er integrert over alle bølgelengdene radiometeret kan måle, fra 320- til 950 nm. Dagen begynte med sol og blå himmel, før det skyet til utover dagen.



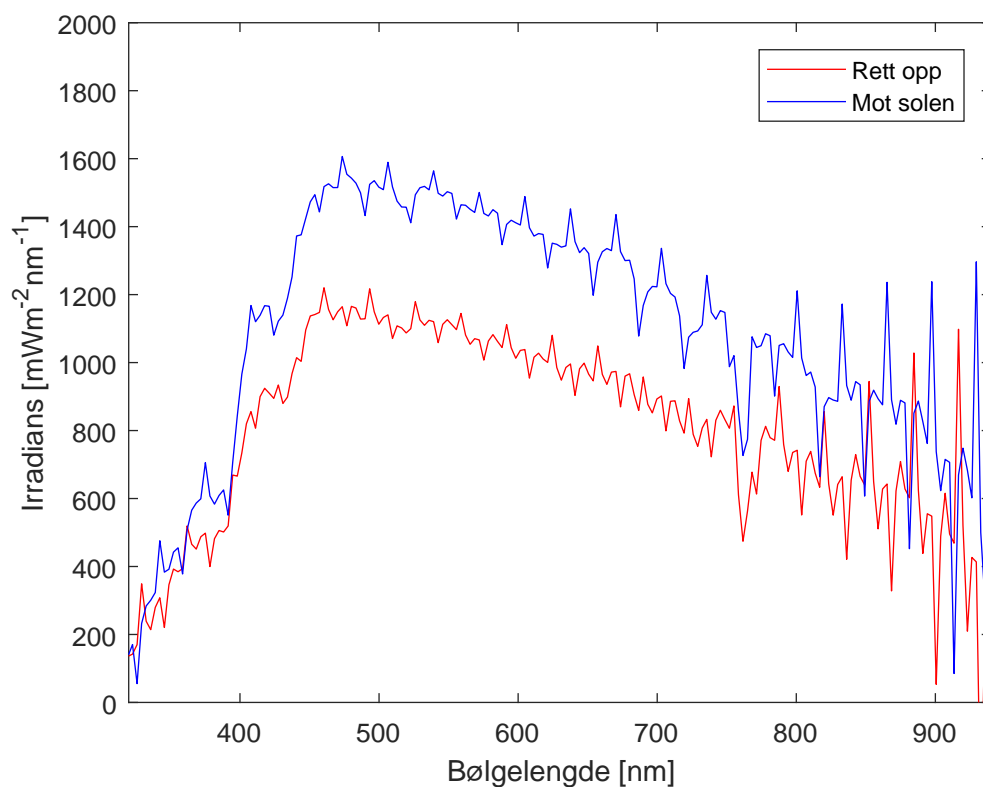
Figur 52: Irradians, integrert over bølgelengde er plottet gjennom en hel dag. Den røde kurven viser resultater fra målingene som fulgte solbanen og den blå er resultater fra målingene som er gjort rett opp.

Den røde kurven representerer målingene som er gjort mot solen og den blå representerer målingene som er gjort rett opp (mot senit). Det er klart mer effektivt for en flate å være orientert mot solen når det ikke er skyer. Men med en gang det skyer til er forskjellen ikke lenger så stor, og for noen målinger er det mer effektivt for flaten å være orientert horisontalt.

Gjennomsnittsverdien til målingene som er gjort før det skyet til rundt kl. 14, er 670 W/m^2 for målingene som er orientert mot solen og 480 W/m^2 for de som er gjort rett opp. Det vil si at under slike forhold vil det i snitt produseres 40% mer strøm med et solcellepanel som orienterer seg etter solen, enn et som ligger horisontalt.

Integreres det over bølglengdeintervallet som alger kan utnytte energien fra, 420 - 680 nm får man et gjennomsnitt på 365 W/m^2 for målingene mot solen, og 260 W/m^2 for målingene som er gjort rett opp. Det vil si at dersom et panel det dyrkes alger i orienteres etter solen på en dag med klart vær, vil 40% mer fotosyntetisk tilgjengelig stråling treffe enn det ville gjort om den var orientert horisontalt.

Figur 53 viser to av irradiansmålingene som ble gjort kl 12, en mot solen og en rett opp.

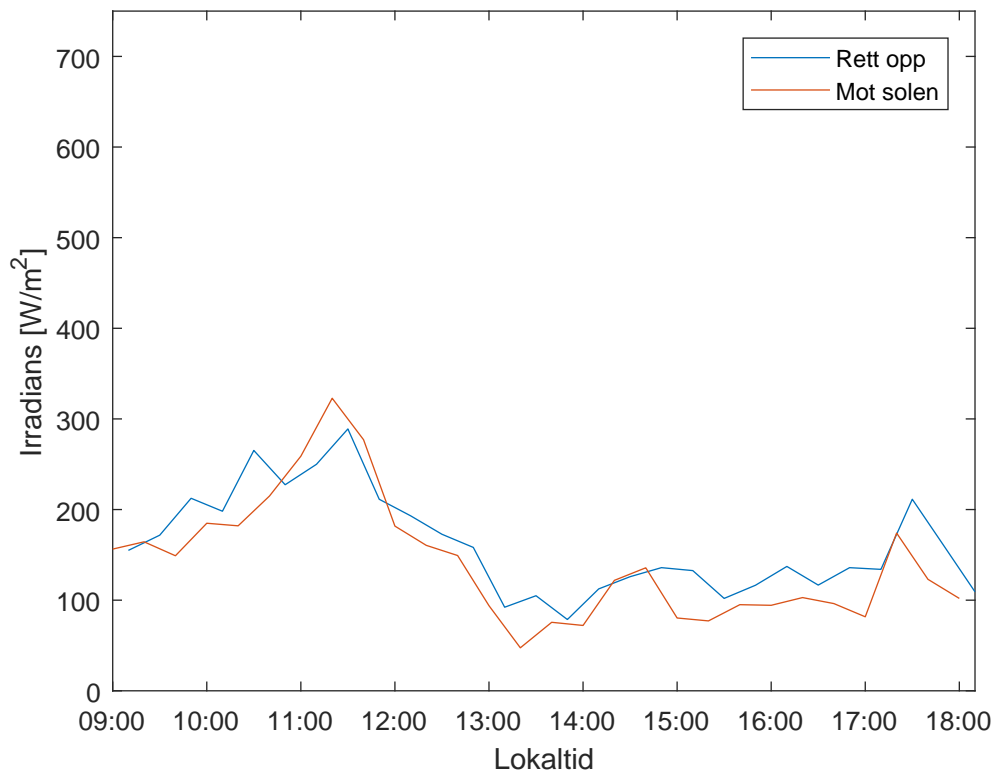


Figur 53: Den blå kurven representerer målingen som er gjort mot solen og den røde representerer målingen som er gjort rett opp. Det var skyfritt når målingene ble utført.

Så lenge det er sol, vil en flate eksponeres for mest stråling om den orienteres mot solen. Dette gjelder for alle bølglengdene som Ramses radiometeret kan måle.

Irradiansmåling ved kontinuerlig skydekke

Den samme målingen ble gjort den 9. mai 2017. Da startet dagen med skyer og utover dagen begynte det å regne. Resultatet kan ses i figur 54.

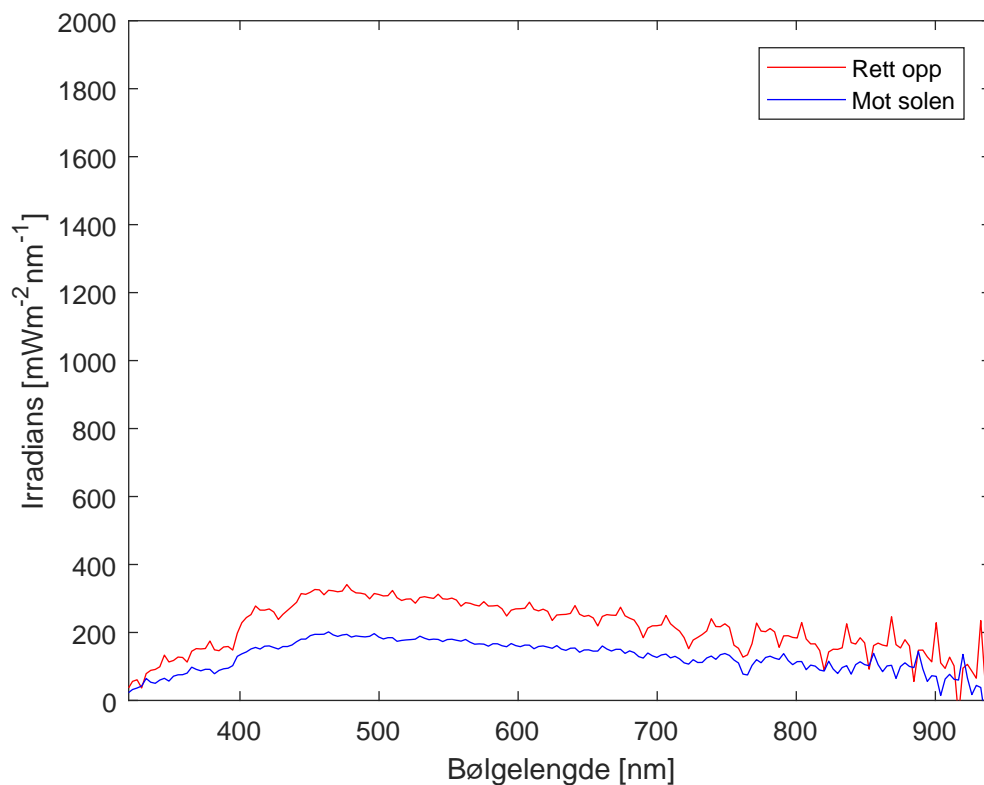


Figur 54: Irradians, integrert over bølgelengde, er plottet gjennom en hel, overskyet dag. Den røde kurven viser resultater fra målingene som fulgte solbanen og den blå er for målingene som er gjort rett opp.

Irradiansen er mye lavere på en dag med mye skyer enn på en dag med skyfri himmel, og det er mindre forskjell i verdiene. Fordelen med å følge solbanen forsvinner, og med noen få unntak som skyldes lysninger rundt solen, vil det være mer effektivt å ha orientert solcellepaneler horisontalt enn å vinkle dem mot solen. Gjennomsnittsverdien til målingene som er gjort mot solen er 142 W/m^2 og 161 W/m^2 for de som er gjort rett opp. Det vil si at i snitt vil en flate som er orientert horisontalt bli eksponert for 14% mer stråling enn en som orienteres mot solposisjonen. Resultatene viser at det å orientere en flate mot solen ikke har så

stor effekt på steder det er mye skyer, som det for eksempel er i Bergen. Plasseres panelene et mer solrikt sted vil det ha en større nytteverdi.

Integreres det over bølgelengdene alger kan utnytte, får man en gjennomsnittsverdi på 78 W/m^2 på målingene som er gjort mot solen og 89 W/m^2 for målingene som er gjort rett opp. Et panel det dyrkes alger i som ligger horisontalt, vil på en overskyet dag i snitt eksponeres for 14% mer nyttig stråling enn et panel som orienteres etter solbanen. Figur 55 viser to målinger gjort kl 15, lokaltid, en mot solen og en rett opp.



Figur 55: Grafen viser målinger som er gjort i regnvær. Den røde kurven er en måling som er gjort rett opp, og den blå er en måling som er gjort mot solen.

Målingene er gjort når det har vært tett skydekke. Grafen viser at en flate, under slike forhold, vil bli eksponert for mer stråling om den orienteres mot senit, enn om den orienteres mot solposisjonen.

4.4.2 Aerosolmålinger

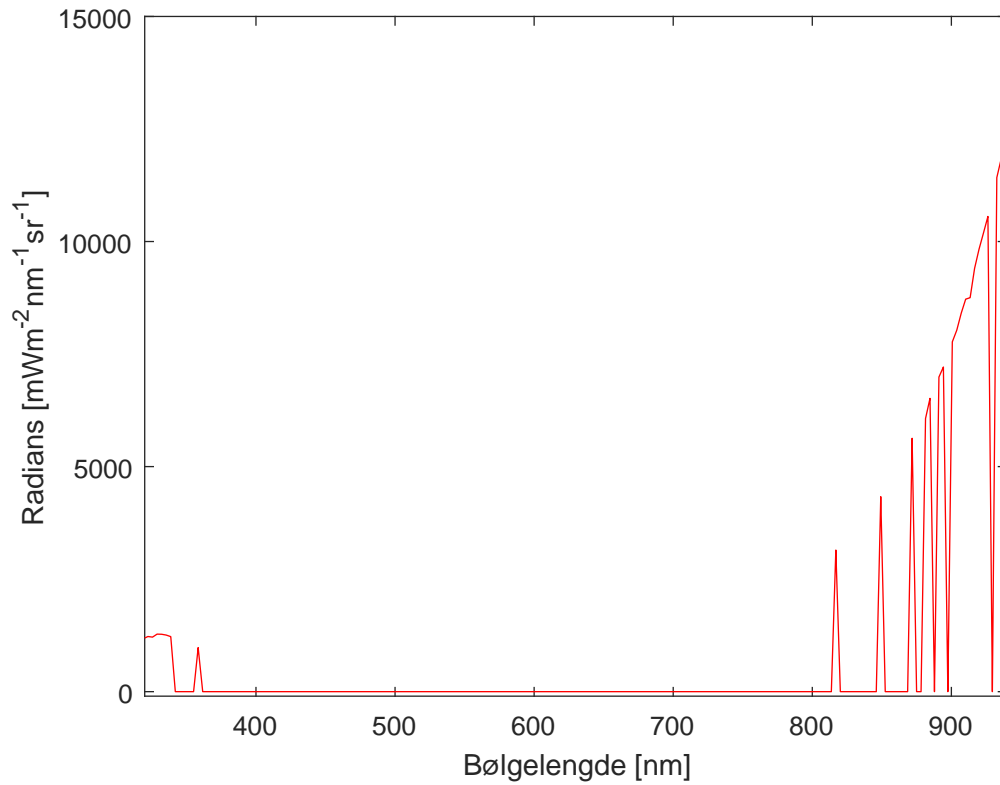
En kan få informasjon om aerosolkonsentrasjonen ved å måle radianer i ulike retninger på himmelen. Aerosoler er små partikler, enten i form av fast stoff eller væske. Usikkerhet i aerosolkonsentrasjonen er en av de største feilkildene når det gjøres optisk fjernmåling av atmosfæren, enten det er målinger tatt fra jorden, eller om det er målinger gjort med satellitter. Konsentrasjonen av aerosoler kan si noe om eller påvirke følgende.

- Miljø og miljøforandringer
- Luftkvalitet
- Måling av vulkansk aske
- Optisk fjernmåling av atmosfæren, landjorda eller havet

For å gjøre målinger av aerosoler og for å få informasjon om strålingstransport, er det vanlig å gjøre målinger i to mønstre, almucantar og i principal-planet [18].

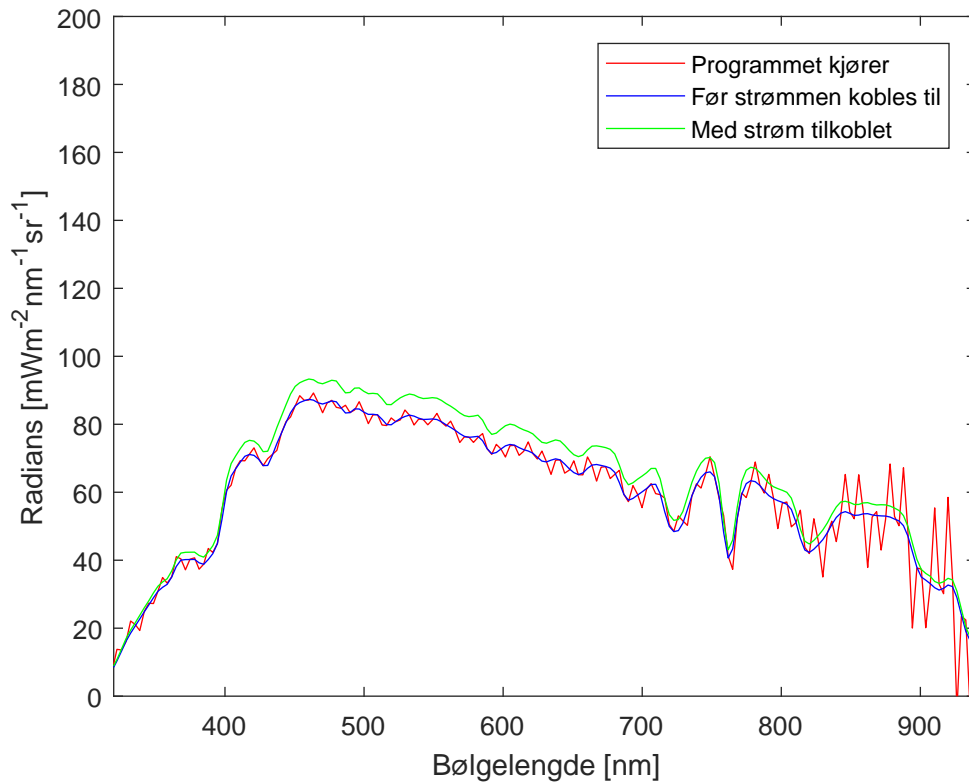
For å unngå forstyrrelser fra skyer ble målingene utført på en skyfri dag, og det var radianssensoren som ble brukt. Begge målingene ble gjort midt på dagen, og solposisjonen ble tatt hensyn til, slik at sensoren sveipet over den på begge målingene. Etter slike aerosolmålinger er gjort er det vanlig å sammenligne de målte dataene med modeller hvor det er simulert forskjellige mengder aerosoler. Når man finner en modell som gir like resultater som de målte, kan man vite hvor stor aerosolkonsentrasjonen er i atmosfæren den dagen målingene ble gjort. En slik simuleringsprosess går utenfor dette prosjektets omfang, og målingene er gjort for å vise at goniometeret kan utføre slike skannemønstre.

Pekes radianssensoren direkte mot solen får den inn mer lys enn den klarer å måle, noe som fører til at måldataene blir ugyldige og må fjernes. Figur 56 viser hvordan det målte spekteret ser ut når sensoren har vært overeksponert.



Figur 56: Får sensoren inn for mye lys, får man feilmelding og ubrukelige måledata som ser slik ut.

For å karakterisere effekten de aktiverte elektromagnetene i motorene har på radiansmålingene, er det gjort tre målinger: før det kobles strøm til motorene, før de aktiveres og når de er aktivert. Figur 57 viser hvordan disse målingene ser ut.

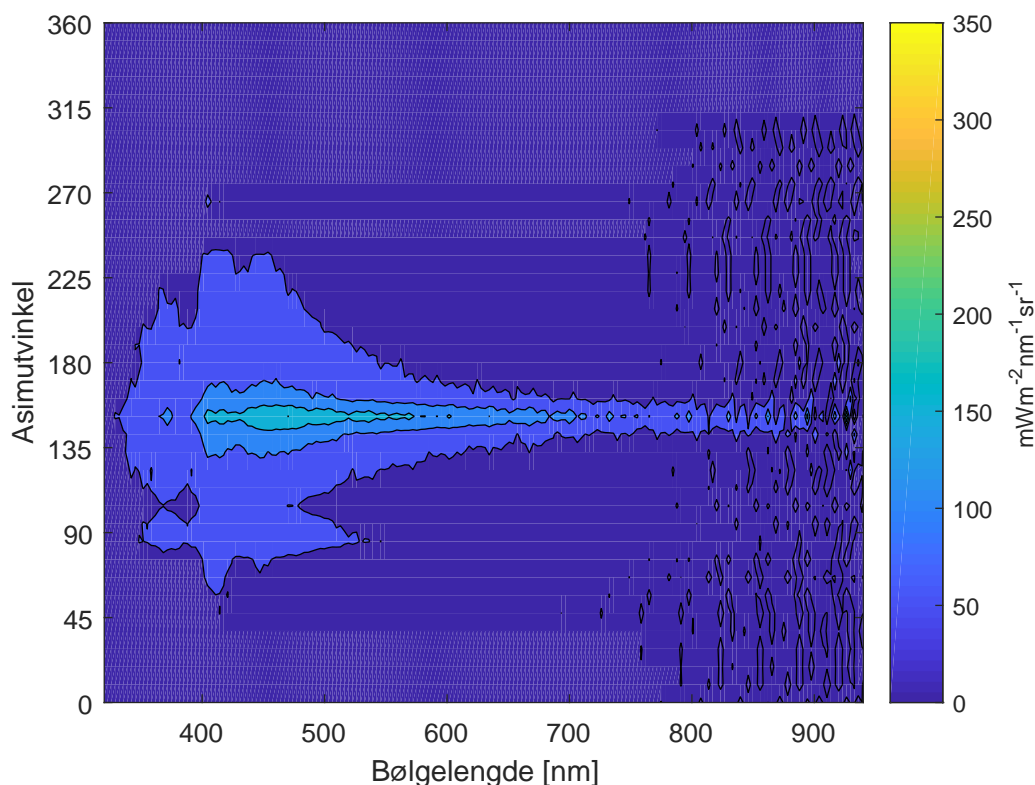


Figur 57: Målinger gjort for å karakterisere målestøy. Rød kurve representerer målingen som er gjort når motorene er aktivert, blå representerer målingenn som er gjort før strømmen kobles til og den grønne representerer målingen som er gjort med strømmen tilkoblet, før motorene aktiveres.

Resultatet viser at det er mye støy, også i radianismålingene, spesielt ved de lengste bølgelengdene. Viser det seg at det nytter å skjerme sensoren fra støyen ved å bruke et Faradaybur, og støyen blir redusert til et akseptabelt nivå, bør det gjøres også for radianssensoren.

Almucantar

Ved å gjøre en måling i almucantarmønsteret, skannes det i et sirkelmønster med senit i sentrum. Samme polarvinkel holdes, og det sveipes over asimutvinkelen. Da måles det for å få informasjon om hvor mye stråling som kommer fra de forskjellige himmelretningene fra samme høyde. Det er også mulig å se hvilke bølgelengder som har høyest intensitet. Det ble gjort en måling 6. mai 2017, og resultatet er presentert i et *contourplot*, som kan ses i figur 58.

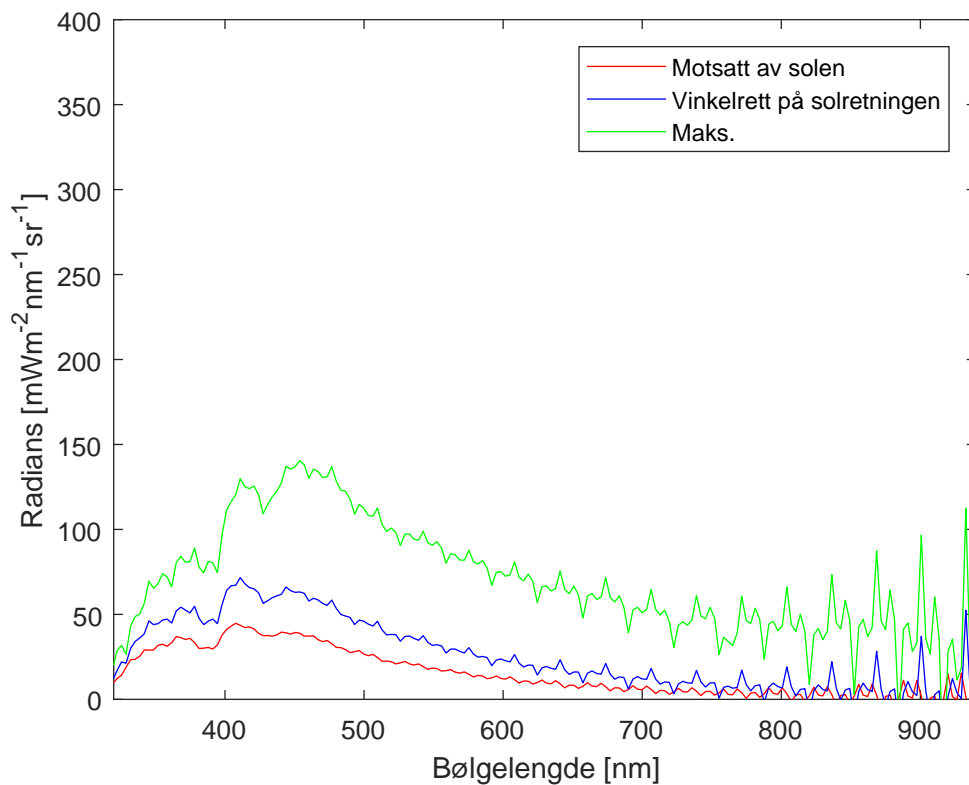


Figur 58: Målingen er gjort en solfylt dag, og det er sveipet over asimutvinkelen, mens polarvinkelen har vært konstant. Polarvinkelen ble satt til 46 grader for å få sveipet over solen. Dette skannemønsteret kalles almucantar.

Målingen ble startet kl 12.15.10, 6. mai, 2017, lokaltid, og det var helt klar himmel. Det ble målt i 10 graders- og 10 sekunders intervall. Polarvinkelen ble satt til det samme som solen, 46 grader for å få sveipet over den. I denne målingen var det to målinger som ble ugyldige på grunn av for høy eksponering. Det betyr at målingene i maksimum har 30 graders mellomrom, og at det målte maksimum er

målingen som er gjort med asimetrvinkel på 160 grader. Den er da målt 13 grader fra sentrum av solskiven, som hadde asimetrvinkel lik 173 grader. Dette er grunnen til at maksimumsverdien ikke er høyere.

Figur 59 viser tre av målingene fra figur 58, maksimumsmålingen, en måling utført vinkelrett på solretningen og en måling utført rett bort fra solen, alle med samme polarvinkel.

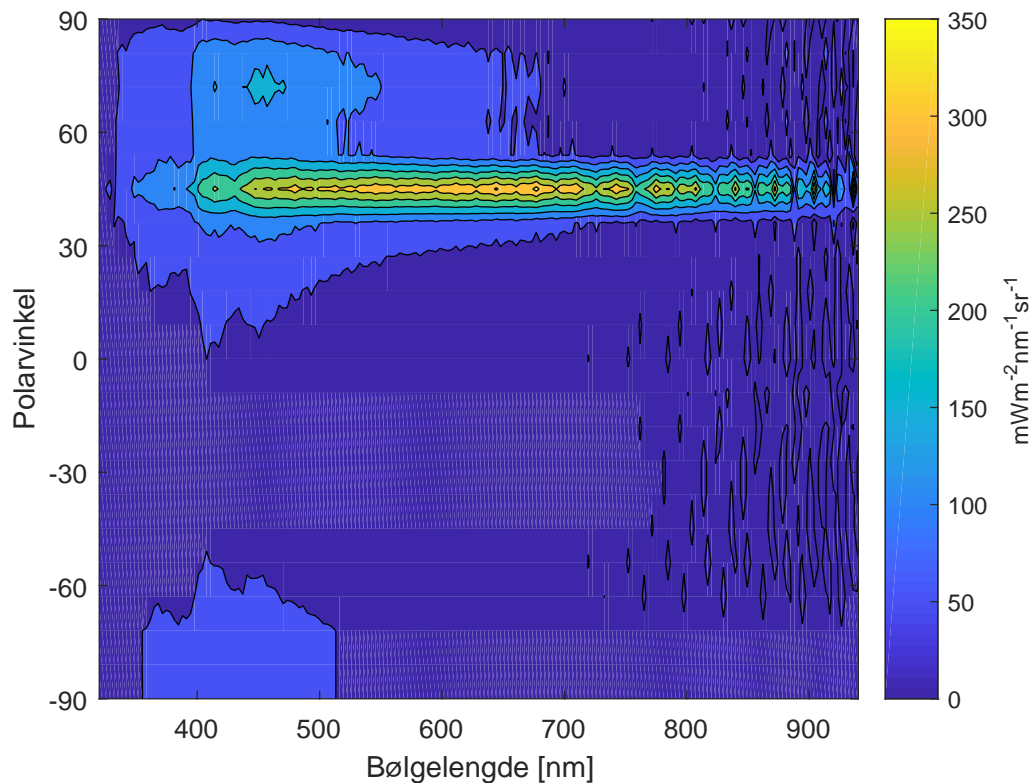


Figur 59: Grønn kurve representerer målingen som er gjort mot maksimum, blå representerer målingen som er gjort vinkelrett på solretningen og den røde representerer målingen som er gjort i motsatt retning av solen. Alle målingene hadde samme polarvinkel, 46 grader og er hentet fra målingene som ble gjort i almucantarmønsteret.

Det er tydelig at radiansen er høyest når det måles mot solen, og reduseres når det måles lenger bort fra solen. Dette gjelder for alle de målte bølgelengdene.

Principal-planet

Ved å gjøre en måling i principal-planet, skannes det i et halvsirkelmønster, fra horisont til horisont. Asimutvinkelen holdes konstant og det sveipes over polarvinkelen. Det er ønskelig å utføre målingene så raskt som mulig, slik at solen står i tilnærmet samme posisjon for alle målingene. Det ble gjort en måling i principal-planet den 6. mai 2017, og resultatet kan ses i *contourplottet* i figur 60.

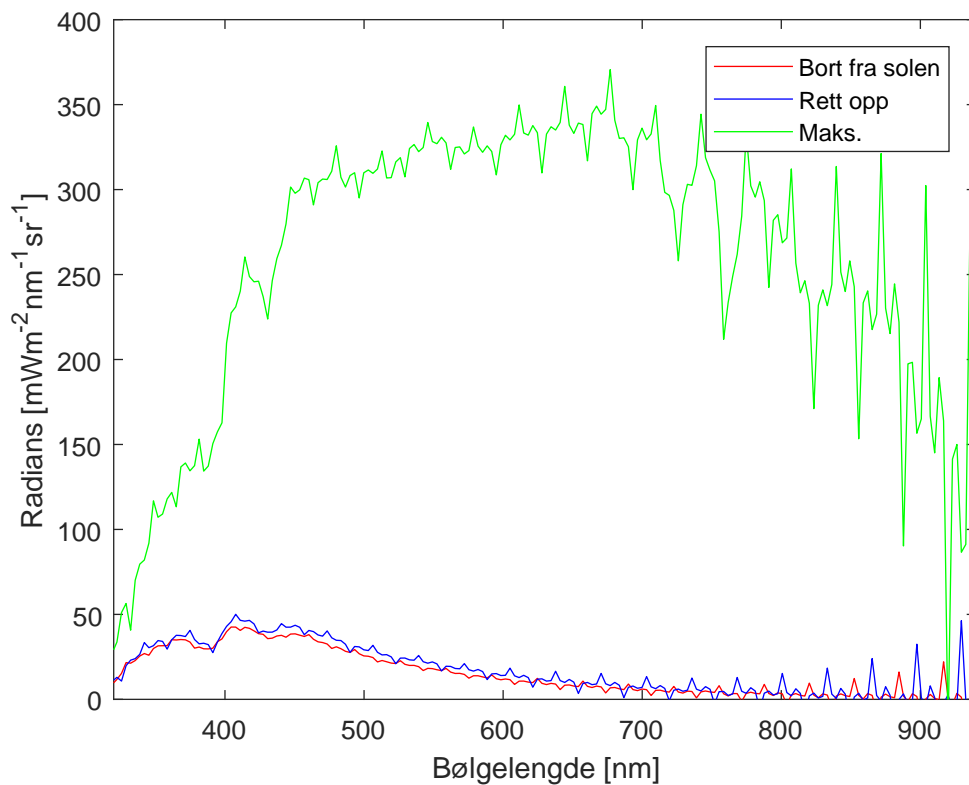


Figur 60: Målingen er gjort en skyfri dag, asimutvinkelen er 163 grader for alle målingene, og det er sveipet over polarvinkelen.

Målingen ble startet klokken 12.48.10, 6. mai, 2017, lokaltid, og det var helt klar himmel. Målingene er gjort i 10 graders- og 10 sekunders intervall. Asimutvinkelen ble satt til å være det samme som solens, og ble da satt til å være 163 grader for hele målingen. Polarvinkelen sveipet fra 90 til -90 grader. Sensoren sveipet da over solen, som hadde polarvinkel lik 44 grader. I denne måleserien var det én måling som fikk for høy eksponering og måtte fjernes. Målingen som ble overeksponert var målingen som ble gjort med polarvinkel 40. Maksimumsmålingen er da målingen

som er gjort med polarvinkel lik 50. Her er da maksimumsmålingen 6 grader fra senter av solskiven.

Figur 61 viser tre av målingene som ble gjort i principal-planet, maksimumsmålingen, som hadde polarvinkel lik 50 grader, målingen som er utført rett opp, som hadde polarvinkel lik 0 grader og målingen med polarvinkel -50 grader. Asimutvinkelen var 163 grader for alle disse tre målingene.



Figur 61: Den grønne kurven representerer maksimumsmålingen som ble gjort i principal-planet. Den blå representerer målingen som er gjort rett opp og den røde representerer målingen som er gjort bort fra solen, med samme verdi på polarvinkelen som maksimumsmålingen, bare med motsatt fortegn.

Målingene er gjort med asimutvinkel 163 grader, og maksimumsmålingen er med polarvinkel 50 grader, målingen som er gjort rett opp har polarvinkel lik null og målingen som er motsatt av solen har en negativ polarvinkel på 50 grader.

Det er tydelig at det lysest mot solen (6 grader fra senter av solskiven). Radiansen er tilnærmet lik for målingen som er gjort mot senit og for målingen som er gjort med polarvinkel -50 grader. Ser man bort fra maksimumsmålingene, er det mindre forskjell på målingene som er plukket ut fra målingen som ble gjort i principalplanet, enn på de som er plukket ut fra almucantar-mønsteret. Grunnen til det, er at avstanden mellom målingene som er plukket ut fra principalplanet er 50 grader, mens det er 90 graders forskjell på de utvalgte målingene fra almucantar-mønsteret.

4.5 Feilkilder i målingene

Det er flere forhold som kan føre til feil i disse målingene, som:

- **Plassering av goniometeret**

Plasseres goniometeret noen grader feil i forhold til nord-sør retningen vil alle målingene bli gjort i feil retning. Det samme gjelder om den står et sted som ikke er helt i vater og det ikke kompenseres for. Det er derfor viktig å være nøye og bruke kompass og vater når goniometeret plasseres ut. Når man bruker kompass er det også viktig å huske på at magnetisk nordpol, som kompasset viser, ikke er på samme sted som geografisk nordpol, som asimutvinklene som er brukt i dette prosjektet er definert ut fra. Det må tas hensyn til misvisningen som er på stedet målingene skal gjøre, ellers vil det føre til feil.

- **Hysterese**

Hysterese er et fenomen der effekten av en ytre påvirkning ikke merkes før en motsatt rettet påvirkning påføres. Et eksempel er to tannhjul som ikke passer perfekt sammen. De første gradene drivhjulet roterer etter en rettingsforandring vil ikke påvirke det drevne tannhjulet, noe som vil gi feil om det ikke tas hensyn til [19].

- **Elektromagnetisk støy**

Rundt strømførende kabler dannes det magnetfelt. Disse feltene kan påvirke elektronikk som igjen kan føre til feil i målingene som gjøres. Det har vist seg at elektromagnetene i steppermotorene bidrar til mye støy i målingene. Reduseres denne støyen vil målingene se finere ut og bli mer nøyaktige.

- **Referansebryterne**

Referansebryterne er bøyelige, og vil derfor etter en tids bruk kunne bli bøyd slik at de ikke aktiveres når de skal. Dette vil kunne føre til at de ikke blir aktivert, slik at goniometeret ikke finner sin startposisjon.

5 Oppsummering og konklusjon

I dette prosjektet er det planlagt og bygget et goniometer. Det er bygget med den hensikt at radians- og irradiansmålinger mot himmelen skal automatiseres. Det endelige designet har fungert godt, og gjort jobben som ønsket. Det er også designet et styringssystem som har gjort det mulig å fjernstyre goniometeret med en datamaskin.

Programmeringen av styringssystemet har utgjort en stor del av prosjektet. Det ble også gjort en betydelig innsats i programmeringen av sensorene, selv om det måtte konkluderes med at den ønskede kommunikasjonen ikke ble oppnådd, og prosjektet med å ha både motorstyring og sensor kontroll i samme program måtte avsluttes. Løsningen ble å bruke to program, MSDA_XE for sensor kommunikasjon, og et program skrevet i LabVIEW for motorstyring. Programmeringen som ble gjort for å styre motorene var en overraskende komplisert prosess sammenlignet med erfaringer med andre produkter fra National Instruments. Utstyret som er valgt for dette prosjektet er laget for å kunne klare mer kompliserte oppgaver med høy ytelse og nøyaktighet, og programmeringen er derfor mer komplisert enn den hadde vært om det hadde blitt valgt annerledes.

Det ble bekreftet at goniometeret tilfredstiller kravet som ble stilt om at det skulle kunne måles ute, selv ved regn, etter at det sto en hel dag i regn og gjorde vellykkede målinger.

Det er vist at goniometeret også evner å skanne over himmelen og utføre radiansmålinger i ulike retninger. Slike målinger vil kunne brukes sammen med strålingstransportmodeller og inversmodellering til å finne mengde og type aerosoler.

Målingene som er gjort har vist hvor stor effekt det har å orientere en flate mot solen under ulike værforhold. Målingene som er gjort når det var sol og blå himmel, viser at en flate som orienteres etter solen blir eksponert for 40% mer stråling enn en som ligger horisontalt. Når det var overskyet viste målingene det motsatte, at en flate som ligger horisontalt blir eksponert for 14% mer stråling enn en som orienteres etter solen. Disse verdiene er funnet ved å integrere over alle bølgelengdene irradianssensoren måler, 320 - 950 nm, som er tilnærmet det samme bølgelengdeintervallet som solcellepanel utnytter. De samme verdiene gjelder om det bare integreres over de bølgelengdene alger kan absorbere, 420 - 680 nm. Det var også for algenepaneler 40% mer effektivt å følge solen i fint vær og 14% mer effektivt å være horisontalt orientert når det er overskyet.

6 Videre arbeid

Dette kapittelet inneholder forslag til videre arbeid med det optiske goniometeret.

Sensorstyring i LabVIEW

Det lykkes ikke å kontrollere sensoren via LabVIEW i dette prosjektet. Får man til dette, og klarer å få det i samme program som motorstyringen, vil programmet fremstå som mer komplett, og det vil forenkle bruken.

Optimalisere mot lyseste punkt

I dette prosjektet leses og tolkes dataene etter kjøringen er fullført. Det vil være mulig å lage en VI som tolker målingene underveis og utnytter dem til å hele tiden vite hvor på himmelen det kommer mest stråling fra.

Forbedre referansebryterene

Kontaktfrie brytere vil eliminere problemet med at de kan bøyes, som kan medføre at de endrer innslagspunkt. Optiske brytere kan være et alternativ for å gi mer robust drift av referansebryterene.

Automatisk generering av fil med posisjoner

I dette prosjektet ble Excel-filene som inneholder posisjonene for kjøring av goniometeret laget manuelt. Det vil være gunstig med automatisk generering av disse. Det kunne da blitt valgt hvilket mønster som var ønskelig å skanne i og hvor ofte det skulle gjøres målinger. Solposisjoner og klokkeslett kunne da blitt lastet ned, slik at filen ville blitt generert automatisk når programmet ble startet.

Redusere mengden støy

Det er mye støy fra motorene som påvirker målingene. Blir dette fjernet vil målingene bli bedre.

Referanser

- [1] Farlex Partner Medical Dictionary. “Goniometer”. I: (mai 2017). URL: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/goniometer>.
- [2] Abderrahmane Bairi. “Method of quick determination of the angle of slope and the orientation of solar collectors without a sun tracking system”. I: *Pergamon Press* (2003), s. 4. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0741983X9090104A>.
- [3] TriOS. “Broschuere RAMSES”. I: (2016). URL: http://www.trios.de/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&g=0&t=1484240845&hash=14d25a13797d7d3a4ad1c64ecf248d8e6662c8fa&file=uploads/tx_cccascatalog/files/d02-010en201605_broschuere_ramses_01.pdf.
- [4] Craig F. Bohren og Eugene E. Clothiaux. “Fundamentals of Atmospheric Radiation: An Introduction with 400 Problems”. I: *Wiley* (2006).
- [5] Dr. Simon Philipps Fraunhofer ISE og Werner Warmuth PSE AG. “©Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report”. I: *PHOTOVOLTAICS REPORT* (nov. 2016). URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>.
- [6] W. G. J. H. M. van Sark og A. Meijerink og R. E. I. Schropp. “Solar Spectrum Conversion for Photovoltaics Using Nanoparticles”. I: *Third Generation Photovoltaics* (mar. 2012), Chapter 1. URL: <https://www.intechopen.com/books/third-generation-photovoltaics/solar-spectrum-conversion-for-photovoltaics-using-nanoparticles>.
- [7] F.G. Acién og J.M. Fernández og J.J. Magán og E. Molina. “Production cost of a real microalgae production plant and strategies to reduce it”. I: *Biotechnology Advances* 30.06 (feb. 2012), s. 1344–1353. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975012000420>.
- [8] Paul G. Falkowski og John A. Raven. “Aquatic Photosynthesis second edition”. I: (2007).
- [9] Thomas G E og Stamnes K. “Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean”. I: *Cambridge University Press* (1999).
- [10] Anaheim Automation. “23Y65 Spec sheet”. I: (2016), s. 4. URL: <https://www.anaheimautomation.com/manuals/stepper/L010355%5C%20-%5C%2023Y65-CS4%5C%20Series%5C%20Product%5C%20Sheet.pdf>.
- [11] Anaheim Automation. “Stepper motor guide”. I: (2016). URL: <https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/stepper-motor-guide.php>.

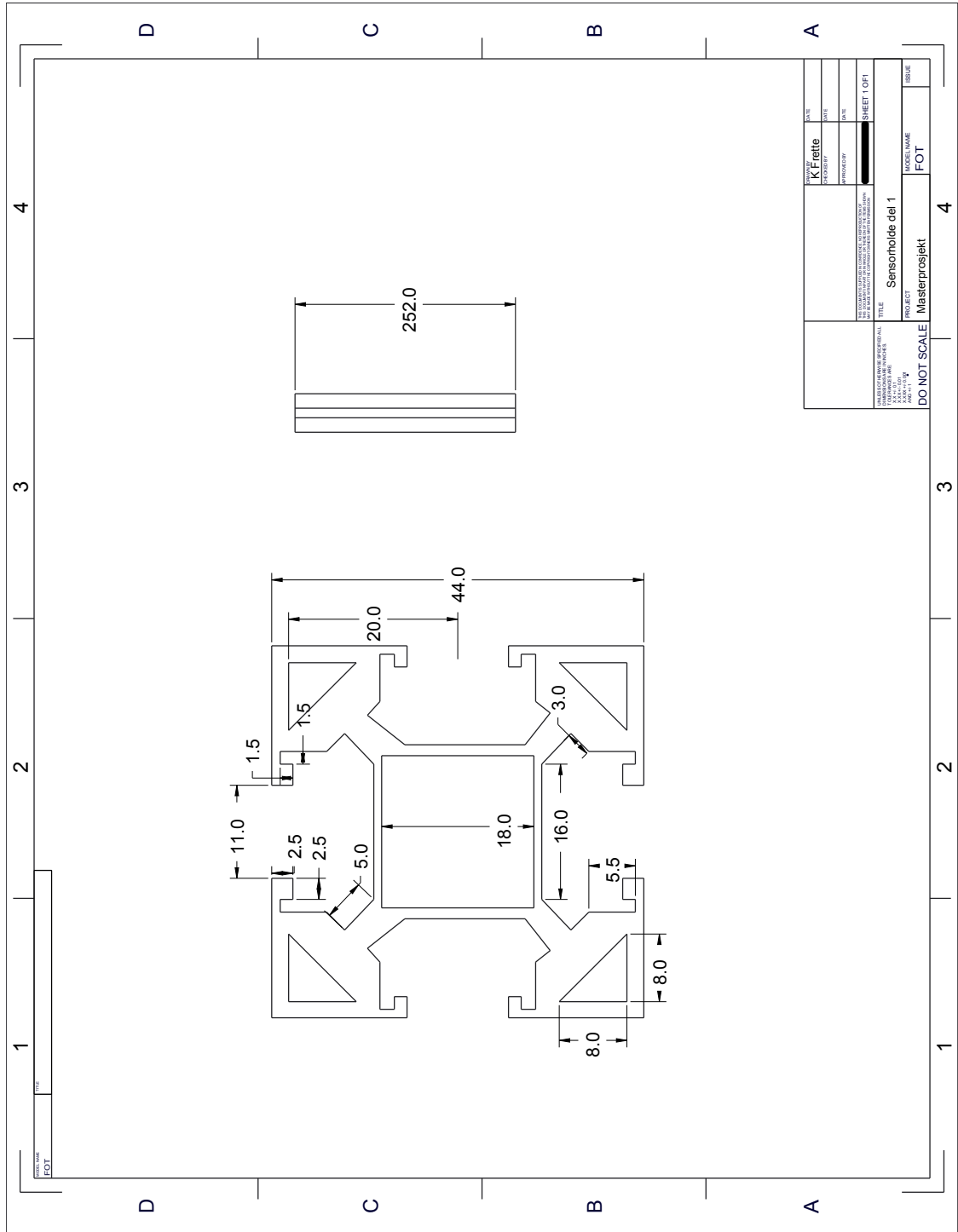
- [12] National Instruments. “Software Support for CompactRIO, CompactDAQ, Single-Board RIO, R Series, and EtherCAT”. I: (apr. 2017). URL: <http://www.ni.com/product-documentation/10622/en/>.
- [13] National Instruments. “Differences between Host VI and FPGA VI”. I: (2016). URL: <http://www.ni.com/documentation/en/labview-comms/1.0/fpga-targets/host-fpga-vis/>.
- [14] TriOS. “MSDA - XE - Multi Sensor Data Acquisition System Extended Edition”. I: (mai 2017). URL: <http://www.trios.de/en/support/software.html>.
- [15] Alex Ryer. “The Light Measurement Handbook”. I: *International Light Technologies* (jan. 1997), s. 27. URL: <http://www.cs.ucsb.edu/~mturk/imaging/Misc/ILT-Light-Measurement-Handbook.pdf>.
- [16] Kartverket. “Magnetisk misvisning”. I: (feb. 2016). URL: <http://www.kartverket.no/kunnskap/posisjon-og-navigasjon/slik-finner-du-kompasskursen/Magnetisk-misvisning/>.
- [17] Sun Earth Tools. “Sun position”. I: (2016). URL: http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.
- [18] Aeronet. “AEROSOL INVERSIONS -”. I: (mai 2017). URL: https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/optical_properties.html.
- [19] Jakob Sandstad. “Hysterese”. I: *Store Norske leksikon* (jan. 2017). URL: <https://snl.no/hysterese>.

A Vedlegg: Arbeidstegninger

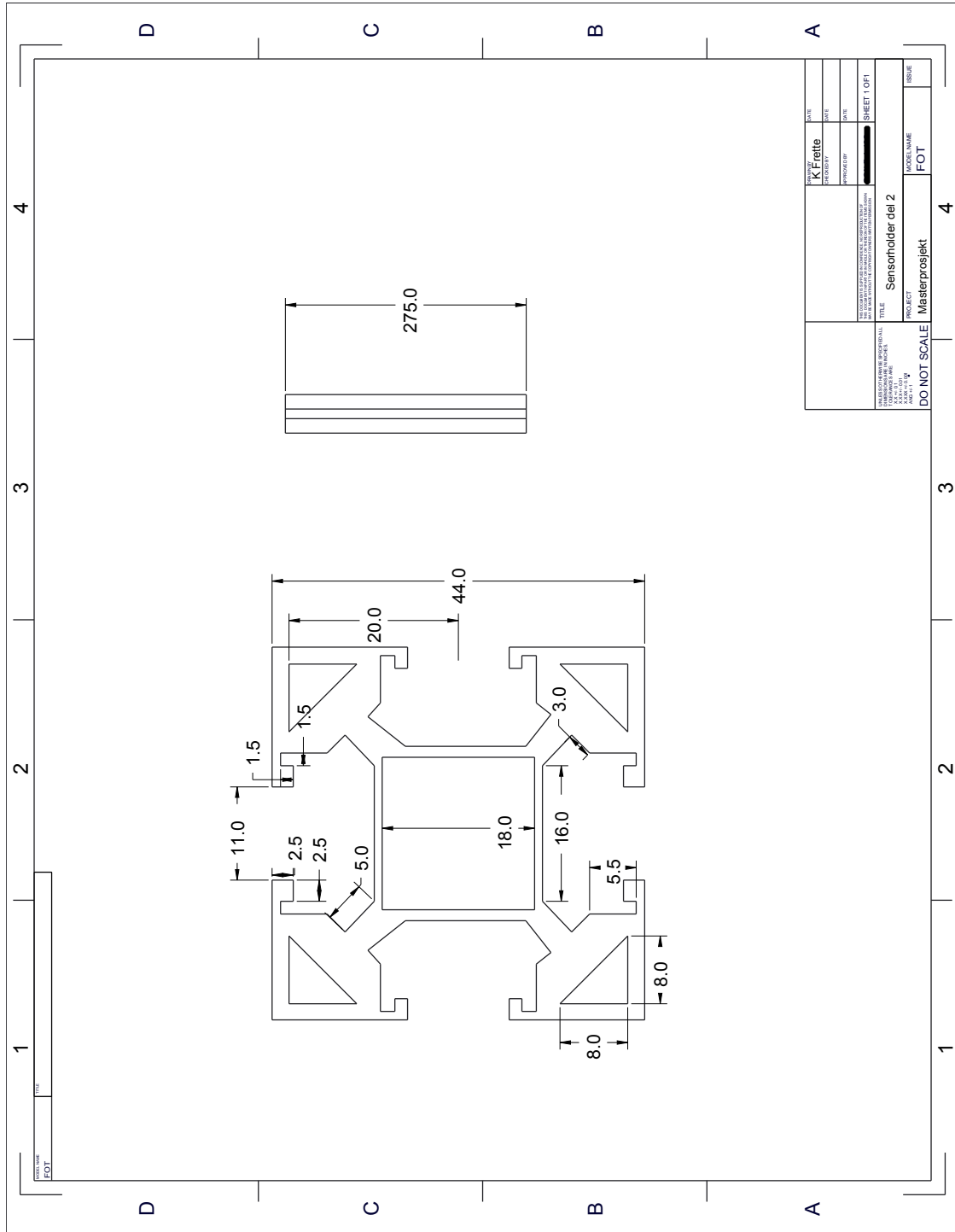
Vedlegget inneholder følgende arbeidstegninger:

- Tegning 1: Sensorholder del 1
- Tegning 2: Sensorholder del 2
- Tegning 3: Klamme del 1
- Tegning 4: Klamme del 2
- Tegning 5: Stag 1
- Tegning 6: Stag 2
- Tegning 7: Tannhjul
- Tegning 8: Motorholder
- Tegning 9: Sylinder
- Tegning 10: Plate
- Tegning 11: Liten plate
- Tegning 12: Liten sylinder
- Tegning 13: Fot del 1
- Tegning 14: Fot del 2

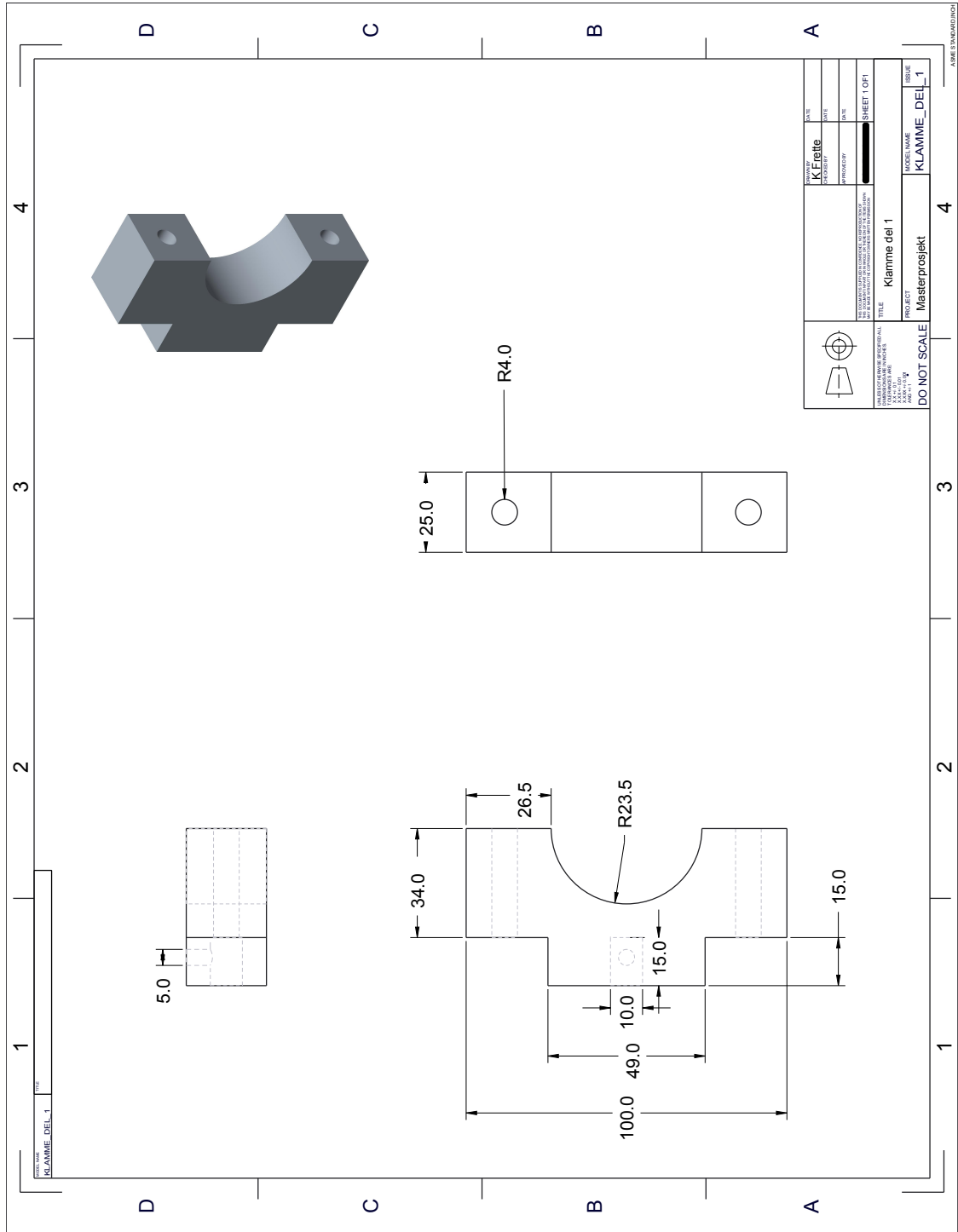
Tegning 1: Sensorholder del 1



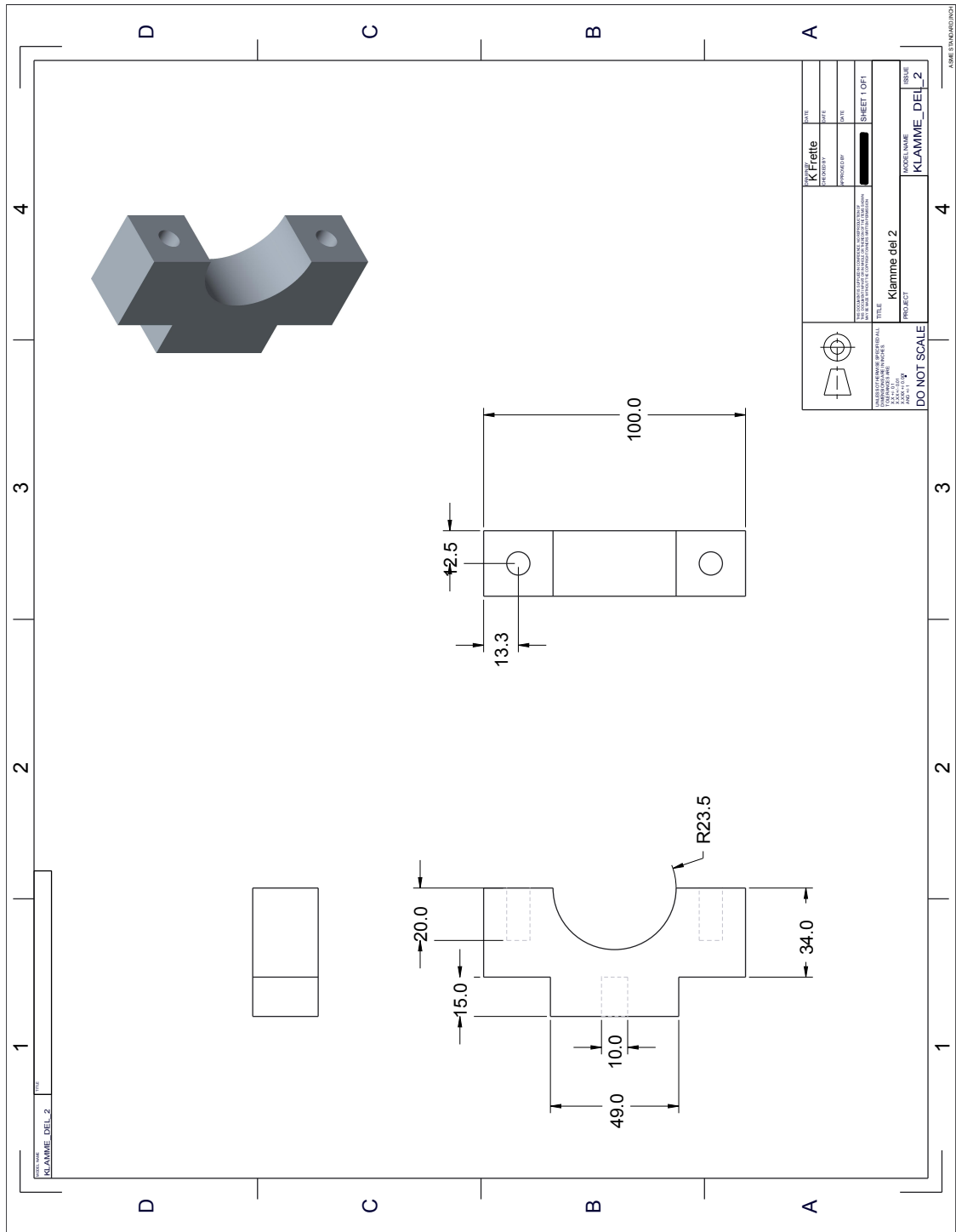
Tegning 2: Sensorholder del 2



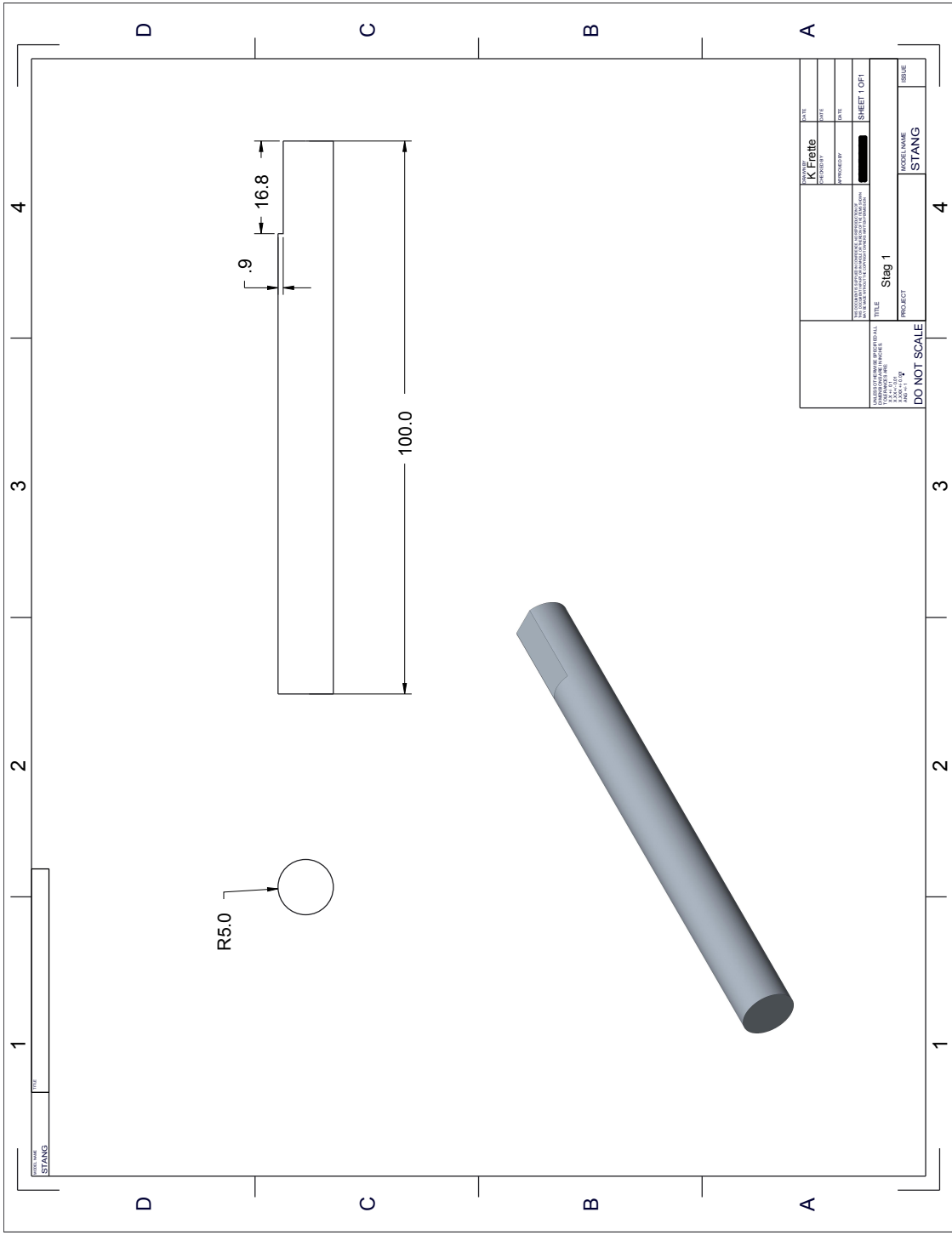
Tegning 3: Klamme del 1



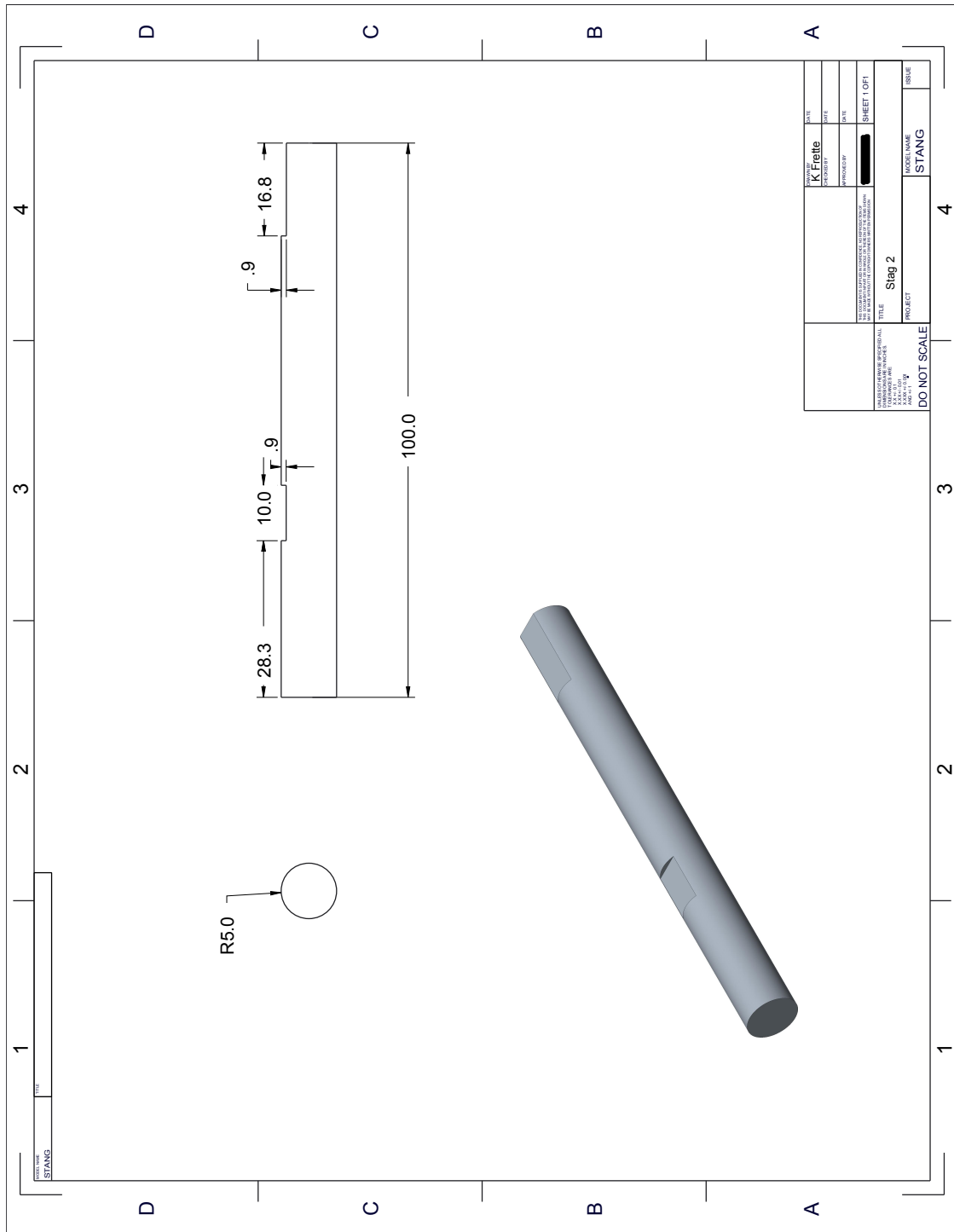
Tegning 4: Klamme del 2



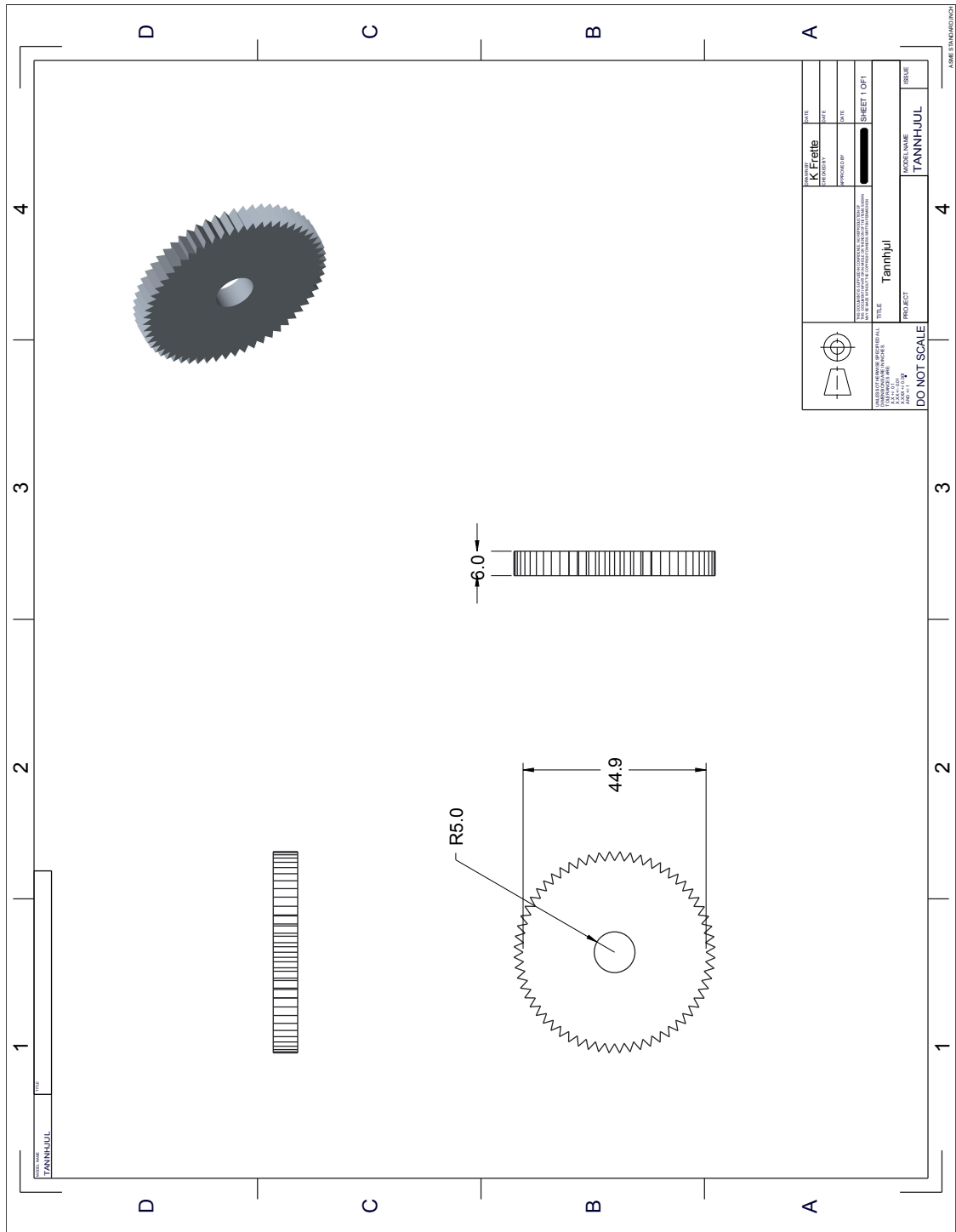
Tegning 5: Stag 1



Tegning 6: Stag 2

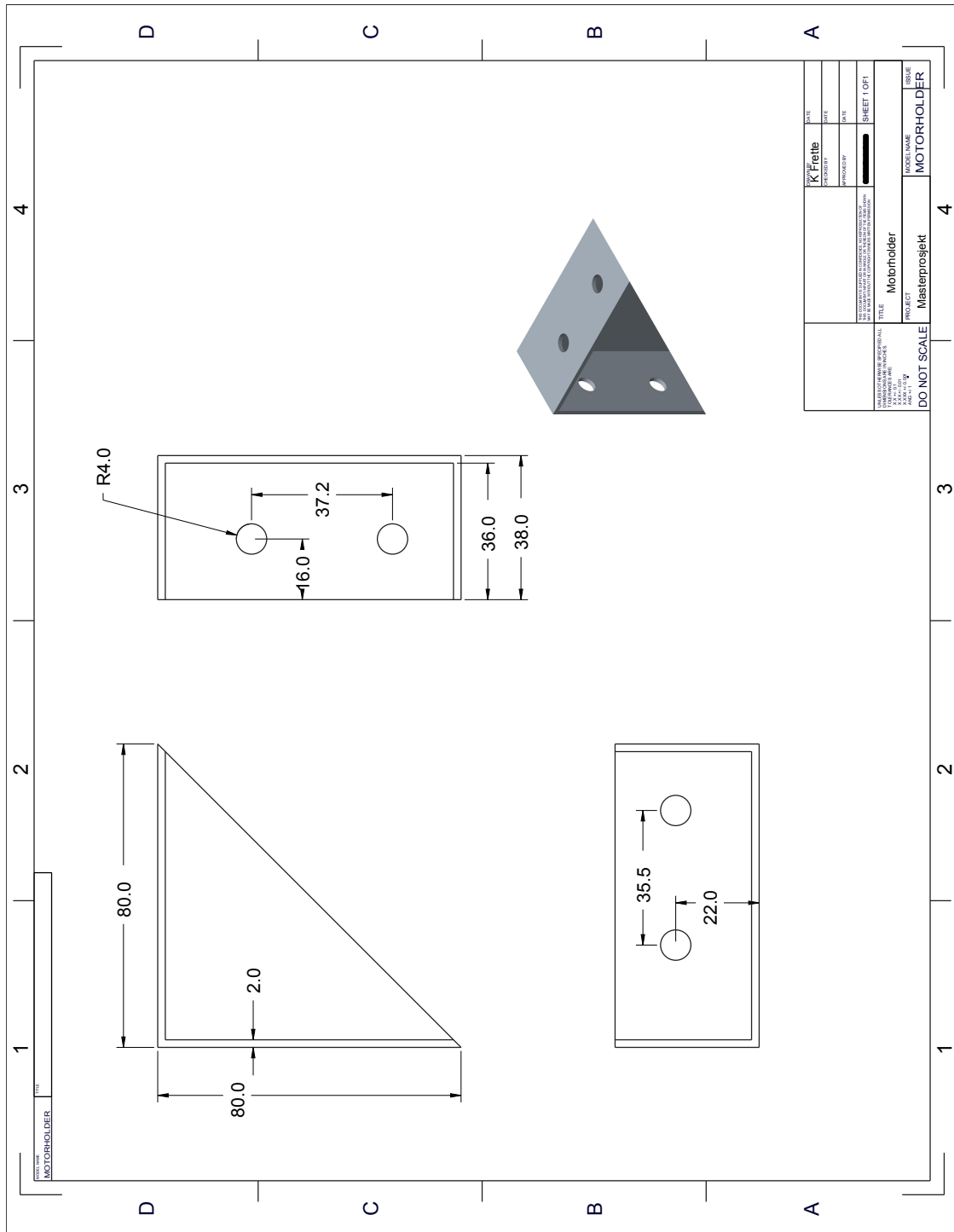


Tegning 7: Tannhjul

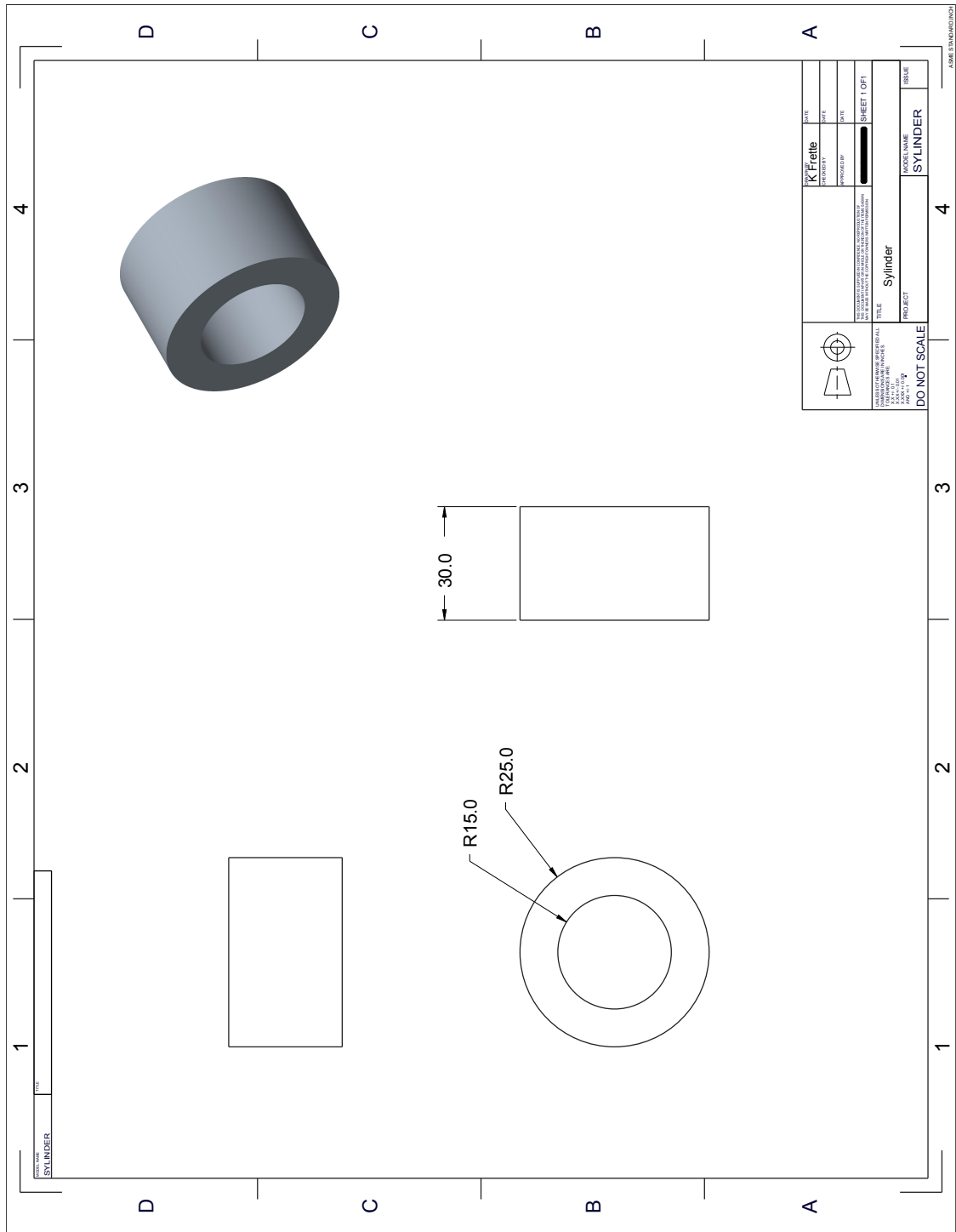




| | | | |
|--|-----------|------------------------|--------------|
| | DATE | DATE | SHEET 1 OF 1 |
| | K. Frette | DATE | |
| <small> DIMENSIONS ARE GIVEN TO ALL DECIMALS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE TO BE TAKEN TO THE CENTER OF THE PART. </small> | | PROJECT | ISSUE |
| TITLE Tannhjul | | MODEL NAME TANNHJUL | ISSUE |
| DO NOT SCALE | | PROJECT | ISSUE |

Tegning 8: Motorholder

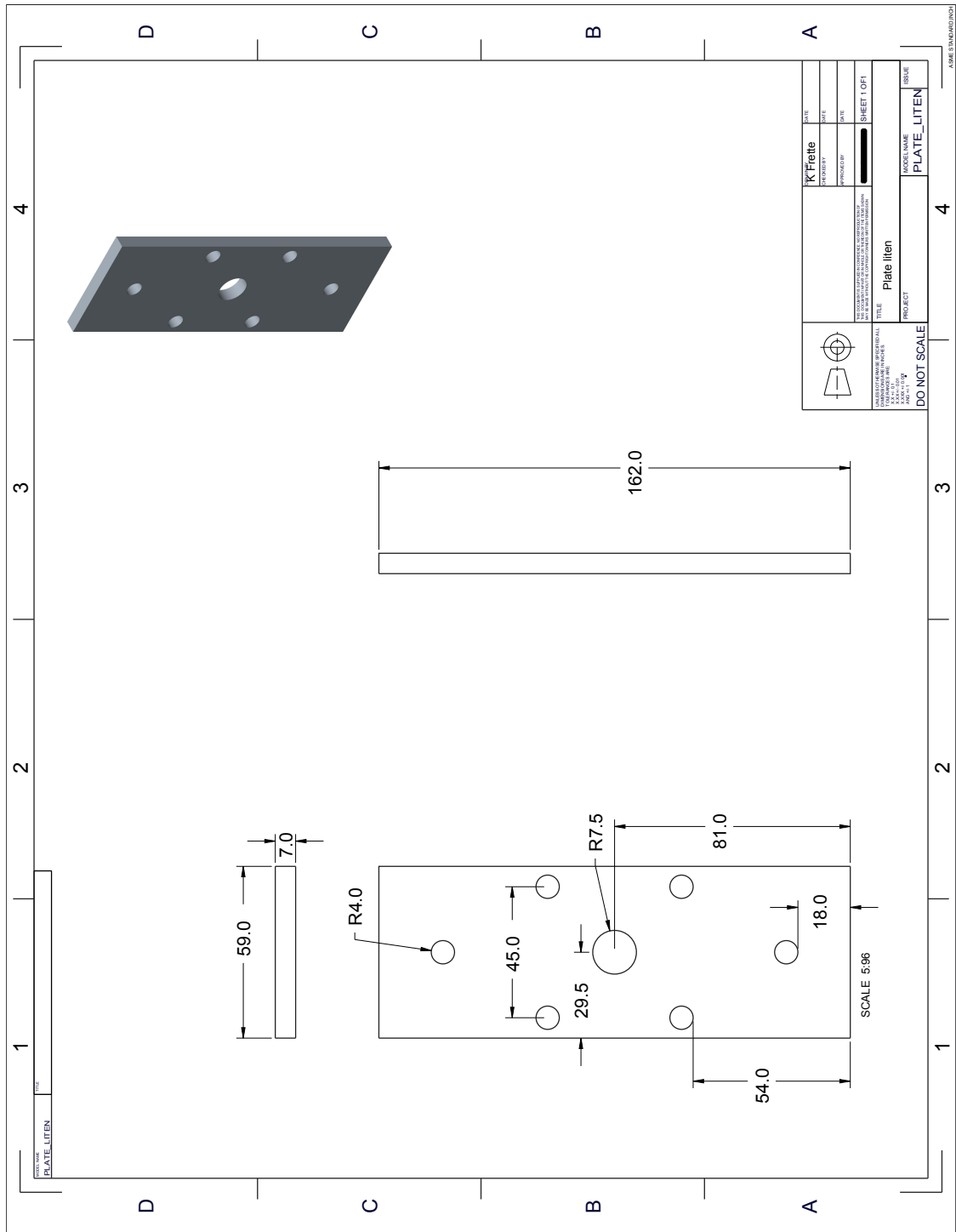


Tegning 9: Cylinder

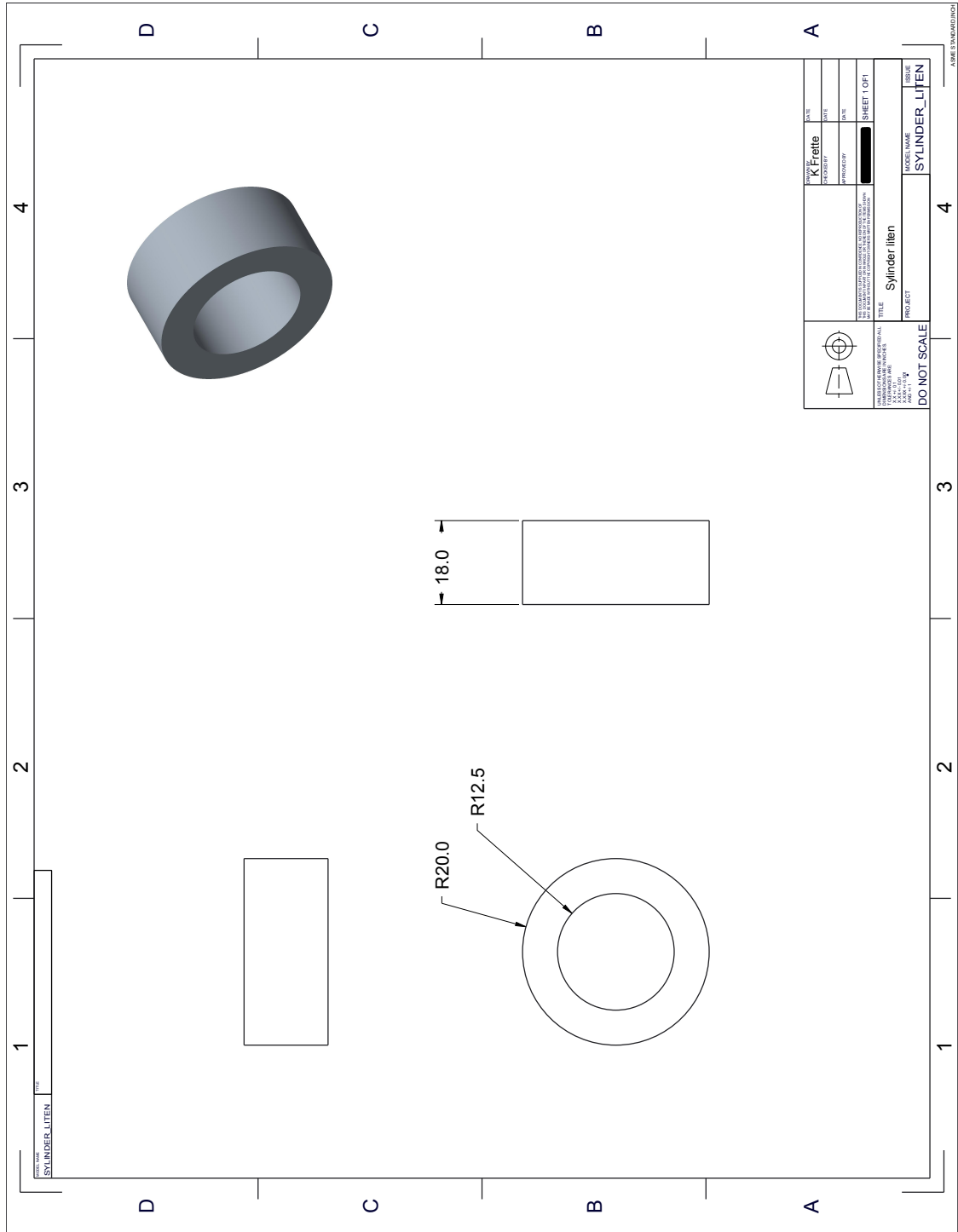


| | | |
|---|---------|--|
|  | DATE | |
| | PROJEKT | |
|  | DATE | |
| | PROJEKT | |
| SYLINDER SYLINDER | | |
| DO NOT SCALE | | |
| SHEET 1 OF 1 | | |

Tegning 11: Liten plate



Tegning 12: Liten sylinder



Tegning 13: Fot del 1

