



# Høgskulen på Vestlandet

## Bacheloroppgave

ELE350

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	08-05-2023 09:00 CEST	<b>Termin:</b>	2023 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	22-05-2023 14:00 CEST	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave		
<b>Flowkode:</b>	203 ELE350 1 O 2023 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	Joar Sande		

### Deltaker

<b>Naun:</b>	Jan Eldar Vanberg Åsnes
<b>Kandidatnr.:</b>	313
<b>HVL-id:</b>	590412@hvl.no

### Informasjon fra deltaker

**Egenerklæring \*:** Ja  
**Inneholder besvarelsen  
konfidensielt  
materiale?:** Nei  
**Jeg bekrefter at jeg har  
registrert  
oppgavetittelen på  
norsk og engelsk i  
StudentWeb og vet at  
denne vil stå på  
vitnemålet mitt \*:** Ja

### Gruppe

**Gruppenavn:** Einmannsgruppe  
**Gruppenummer:** 26  
**Andre medlemmer i  
gruppen:** Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe

Jeg godkjenner autalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

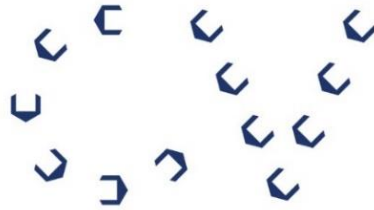
Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \*

Nei



Høgskulen  
på Vestlandet



Campus Verftet

## BACHELOROPPGAVE

Sikker systemløsning til KUKA KR 6 R700-2 robot  
Secure system solution for KUKA KR 6 R700-2 robot

Jan Eldar Vanberg Åsnes

Fakultet for ingeniør og naturvitenskap

Institutt for datateknologi, elektroteknologi og realfag

Intern rettleiar: Joar Sande

Ekstern rettleiar: Bengt Edvardsen

22. mai. 2023

## Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> Sikker systemløsning til KUKA KR 6 R700-2 robot	<i>Dato/Versjon</i> 22. mai. 2023/0.14
	<i>Rapportnummer:</i> B023EF-05
<i>Forfatter(e):</i> Jan Eldar Vanberg Åsnes	<i>Studieretning:</i> Automatiseringsteknikk med robotikk
	<i>Mengd sider m/vedlegg</i> 44
<i>Høgskolens rettleiar:</i> Joar Sande	<i>Gradering:</i> Open
<i>Eventuelle Merknader:</i> Eg tillèt at oppgåva kan publiserast.	

<i>Oppdragsgivar:</i> Campus Verftet, Øyrane 12, 6800 Førde	<i>Oppdragsgivars referanse:</i> Bengt Edvardsen
<i>Oppdragsgivars kontaktperson(er) (inkludert kontaklinformasjon):</i> Bengt Edvardsen, <a href="mailto:bengt.edvardsen@vlfk.no">bengt.edvardsen@vlfk.no</a> , tlf: 916 39 250	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
0.11	25.04.23	Første utkast til bachelorrapporten	Jan Eldar Vanberg Åsnes
0.12	14.05.23	Andre utkast til bachelorrapporten som leverast til Joar.	Jan Eldar Vanberg Åsnes
0.13	15.05.23	Tredje utkast til bachelorrapporten.	Jan Eldar Vanberg Åsnes
0.14	19.05.23	Fjerde utkast til bachelorrapporten.	Jan Eldar Vanberg Åsnes
0.15	22.05.23	Femte utkast. Ferdig versjon.	Jan Eldar Vanberg Åsnes

## Forord

Eg heiter Jan Eldar Vanberg Åsnes, er prosjektdeltakar hos Campus Verftet i Førde og studerer Automatiseringsteknikk med robotikk via y-vegen ved Høgskulen på Vestlandet. Eg har fagbrev som elektrikar og mange år med praktisk erfaring frå yrket. I samanheng med utdanninga på høgskulen skal ei bacheloroppgåve skrivast og leverast inn som siste oppgåva i eit treårig løp. Derfor var det viktig å finne noko av interesse å skrive om og det enda på ein KUKA KR Agilus-2 robot som Campus Verftet på Øyrane i Førde eig.

Campus Verftet kom eg i kontakt med ved ein tilfeldigheit når eg leitte etter eit prosjekt takka vere nokon som anbefalte å kontakte Espen Kirketeig. Så klart gjorde eg det og kom i samtale med han og kollegaen Bengt Edvardsen. Dei gav fleire alternative idear til prosjekter, men det var roboten som var mest interessant.

Tusen takk til Espen Kirketeig og Bengt Edvardsen frå Campus Verftet som kom med oppgåva, stilte med lokale og lånte ut roboten til formålet. Dei har bidratt med moglegheita til å utforske forskjellige løysingar til robotar og lære om standardar og sikkerheit.

Tusen takk til Joar Sande frå Høgskulen på Vestlandet som har vert min interne rettleiar og hjelpt meg når eg trong mental eller moralsk støtte. Spør ein får ein svar frå Joar. Som regel er eg tregare til å gi tilbakemelding på svar til mine eigne spørsmål enn Joar.

Takk til Senioringeniør Raquel Motzfeldt Tirach og førsteamanuensis Erik Kyrkjebø frå Høgskulen på Vestlandet, og Johannes Møgster og Thor Erling Thorbjørnsen frå firmaet Goodtech for innspel til roboten.

Eg vil også takke Frode Grimsbø frå KUKA Norge for hans hjelp. Han var første personen eg kom i kontakt med frå ein leverandør si side, og gav meg gode tips og hjelp. Han hjelpte meg med å lage ein brukar hos KUKA, gav kjøpsinformasjonen om roboten og utstyret som følgde med, viste korleis eg brukte nettsida til å finne informasjon om utstyret og roboten, og gav tips og meiningar om sikkerheit rundt robotar.

Eg har lært mykje om LiDAR-sensorar til robotar i løpet av prosjektet. Aller mest om montering og innstillingar til SICK sine sensorar og litt om robotar frå KUKA, men eg er ikkje i tvil om at mykje av kunnskapen kan brukast på andre typar robotar og sensorar også. Det har vore travelt og spesielt slutten av prosjektet var hektisk. Arbeidsmengda og utfordringane auka eksponentielt mot slutten noko som ikkje er ein ideell situasjon, men det gjekk bra og eg er takknemleg for moglegheita til å lære endå meir om robotikk.

## Samandrag

Campus Verftet eig ein KUKA KR 6 R700-2 (KR AGILUS-2) robot og har gitt meg i oppdrag å drøfte, grunngjeve og velje beste sikkerheits-løysing til roboten. Dei ønskjer å bruke den sjølve eller stille den ut, og derfor må sikkerheitstiltak implementerast i og på roboten for å unngå skader på menneske. Roboten er programmert til å styres frå ein sikkerheits PLS i lag med ein ekstern nødstoppbrytar. Samstundes er den utstyrt med ein KR C4 kontrollleineing og KUKA SmartPAD-2 kontrollpanel. Sikkerheits PLS-en overvaker tilstanden til nødstoppbrytaren, og om tilstanden til nødstoppbrytaren endrast sendar sikkerheits PLS-en eit signal til roboten om å stoppe.

Valet falt på microScan3 LiDAR sensorar frå SICK. Det er moglegvis den enklaste løysinga å implementere med tanke på oppbygginga av roboten og tilhøyrande utstyr. Tanken er at sensoren koplast til sikkerheits PLS-en via eit rele, og skal i teorien ha same funksjonen som nødstoppbrytaren. microScan3 sensoren styrar releet sin tilstand, samstundes som sikkerheits PLS-en overvaker tilstanden. Dersom menneske går inn den overvaka sona til microScan3 sensoren endrar den tilstanden til releet, og sikkerheits PLS-en sender signal til roboten om å stoppe.

Nå er roboten i ein uferdig tilstand. Sikkerheits PLS-en og den eksterne nødstoppbrytaren er demontert og fjerna frå Verftet, og systemet frå SICK er ikkje levert. Første planen var å lage eit ferdig montert produkt. Hadde alt gått etter planen skulle ein eller to LiDAR sensorar vert montert på ramma til roboten, og heile systemet hadde vert sikkerheitstesta og funksjonstesta. Det er ikkje gjort fordi det manglar delar til prosjektet. Då vart planen endra til å dokumentere val av sensorløysing og utforming av systemet.

## Summary

Campus Verftet owns a KUKA KR 6 R700-2 (KR AGILUS-2) robot and has tasked me with discussing, justifying, and selecting the best safety solution for the robot. They intend to use it themselves or exhibit it, so safety measures need to be implemented in and on the robot to prevent harm to humans. The robot is programmed to be controlled from a safety PLC along with an external emergency stop switch. Additionally, it is equipped with a KR C4 control unit and KUKA SmartPAD-2 control panel. The safety PLC monitors the state of the emergency stop switch, and if the state of the emergency stop switch changes, the safety PLC sends a signal to the robot to stop.

The choice was made to utilize microScan3 LiDAR sensors from SICK. This is possibly the easiest solution to implement considering the structure of the robot and its associated equipment. The idea is to connect the sensor to the safety PLC via a relay, and in theory, it should function similarly to the emergency stop switch. The microScan3 sensor controls the state of the relay, while the safety PLC monitors the state. If people enter the monitored zone of the microScan3 sensor, it changes the state of the relay, and the safety PLC sends a signal to stop the robot.

Currently, the robot is in an unfinished state. The safety PLC and the external emergency stop switch have been disassembled and are missing, and the SICK system has not been delivered. The initial plan was to create a fully assembled product. If everything had gone according to plan, one or two LiDAR sensors would have been mounted on the robot's frame, and the entire system would have been safety and function tested. However, this has not been done due to the missing parts for the project. Therefore, the plan was revised to document the choice of sensor solution and the system design.

## Innhald

Dokumentkontroll .....	2
Forord .....	3
Samandrag .....	4
Summary .....	5
1 Innleiing .....	9
1.1 Oppdragsgivar .....	9
1.2 Problemstilling .....	9
1.3 Hovudidé til løysingsforslag .....	10
2 Kravspesifikasjon .....	11
3 Analyse av problemet .....	11
3.1 Sikker .....	11
3.2 Flyttbar .....	14
3.3 Kompatibilitet .....	14
3.4 Utforming av moglege løysingar .....	15
3.4.1 deTec4 – Safety light curtains .....	15
3.4.2 microScan3 – Safety laser scanner .....	17
3.4.3 sBot Speed – Safety systems for robots .....	20
3.4.4 Vurderingar i forhold til verktøy og HW/SW komponentar .....	21
3.5 Konklusjon .....	21
4 Realisering av vald løysing .....	22
4.1 microScan3 LiDAR sensor .....	22
4.1.1 Barriere .....	23
4.1.2 Monteringshøgde .....	23
4.1.3 Minimumsdistanse .....	24
4.1.4 Visualisering av løysinga .....	29
4.2 To microScan3 LiDAR sensorar .....	31
5 Diskusjon .....	34
5.1 Framgangsmåte .....	34
5.2 Utfordringar .....	34
5.3 Moglege forbetringar .....	35
6 Konklusjon .....	35
Referansar .....	36
Appendiks A Forkortingar og ordforklaringsar .....	37

Appendiks B	Prosjektledning og styring .....	39
B.1	Prosjektorganisasjon .....	39
B.2	Arbeidsmetode.....	40
B.3	Framdriftsplan .....	40
B.4	Risikoliste.....	41
Appendiks C	Vedlegg.....	43

## Figurar

Figur 1:	Bilde av roboten «KUKA KR 6 R700-2» tatt på Campus Verftet.....	9
Figur 2:	Bilde av "KUKA KR C4 compact" kontrolleining tatt på Campus Verftet.....	9
Figur 3:	Simpel illustrasjon av oppbygginga til det tidlegare prosjektet. Illustrert med Diagrams.net utviding i PyCharm programvare.....	10
Figur 4:	"KUKA SmartPAD-2" tatt på Campus Verftet. ....	10
Figur 5:	Henta frå vedlegg 1 side 26.....	12
Figur 6:	Belastning på ramma til KUKA KR 6 R700-2, montert på golvet. Henta frå vedlegg 14, side 45-46.....	14
Figur 7:	deTec lysgardiner. Henta frå vedlegg 2, side 1. ....	15
Figur 8:	Faresone til robot som er beskytta av lysgardin. Henta frå vedlegg 3, side 9. ....	16
Figur 9:	microScan3 LiDAR sensor. Henta frå vedlegg 4, side 1. ....	17
Figur 10:	Det faktiske området og faresona. Illustrert i KUKA.sim programvare.....	17
Figur 11:	Soneinndeling til microScan3. Henta frå vedlegg 5, side 8. ....	18
Figur 12:	"Safety relay" frå SICK. Henta frå nettsida [8].....	18
Figur 13:	Nødstoppbrytar. Henta frå nettsida [9]. ....	19
Figur 14:	Beckhoff PLS. Henta frå nettsida [10]. ....	19
Figur 15:	sBot Speed. Henta frå vedlegg 6, side 1.....	20
Figur 16:	Illustrasjon av oppbygging til vald løysing. Illustrert med Diagrams.net utviding i PyCharm.....	22
Figur 17:	275° dekningsgrad frå sensor. Laga i KUKA.sim programvare. ....	22
Figur 18:	KUKA KR 6 R700-2 arbeidsområde. Henta frå vedlegg 1 side 38. ....	23
Figur 19:	For høg montering av sensor. Henta frå vedlegg 11, side 26.....	23
Figur 20:	Ikkje detektert av laseren. Henta frå vedlegg 11, side 38.....	24
Figur 21:	Illustrasjon av faresone "S". Henta frå vedlegg 11, side 34. ....	25
Figur 22:	Strekke seg over faresona. Henta frå vedlegg 11, side 37. ....	25
Figur 23:	: Løysing med 1 microScan3 sensor og gjerde. Illustrert i KUKA.sim programvara frå KUKA.....	29
Figur 24:	Lengda på ramma og faresona. Illustrert i KUKA.sim programvare.....	30



Figur 25: Løsning med to LiDAR-sensorar. Løysinga er illustrert i KUKA.sim programvaren frå KUKA.	31
Figur 26: Forskjellig monteringshøgde. Henta frå vedlegg 11, side 196.	31
Figur 27: Oppbygging av prosjektorganisasjonen.	39
Figur 28: ClickUp med "Kanban Board". Referanse.	40
Figur 29: Gantt-diagram. Sjå «Vedlegg 14 – Tidsplan Bachelor-oppgåve 2023».	40
Figur 30: Risikodiagram	41
Figur 31: Risikovurdering	41
Figur 32: Handlingsplan.	42

## Tabellar

Tabell 1: PL (Performance Level). Tabellen er henta frå standarden ISO 13849-1:2015 side 11.	13
Tabell 2: SIL (Safety Integrity Level). Tabellen er henta frå standarden IEC 61808-1:2010 side 33.	13
Tabell 3: SIL (Safety Integrity Level) Tabellen er henta frå standarden IEC 61508-1:2010 side 34.	13
Tabell 4: Informasjonen i tabellen er henta frå side 164-165 i vedlegg 11. Tabellen gjelder for microScan3 modellen med ei 5,5 meter i radius stor faresone.	24
Tabell 5: Tabell frå Side 159 i vedlegg 11.	26
Tabell 6: Responstid til LiDAR sensor. Henta frå «table 34» i vedlegg 11, side 154.	27
Tabell 7: Henta frå vedlegg 1, side 86.	28
Tabell 8: Ordforklaringar.	38
Tabell 9: Kontaktinformasjon.	39

# 1 Innleiing

## 1.1 Oppdragsgivar

Oppdragsgivaren til prosjektet er Campus Verftet. Bengt Edvardsen er ekstern rettleiar i prosjektet og han og Espen Kirketeig er tilsette og kontaktpersonar ved Campusen. Firmaet er ganske nytt og opna offisielt lokala november 2020. Det er eit samarbeid mellom- og deleigde av Høgskulen på Vestlandet, Sunnfjord Kommune og Vestland fylkeskommune, med fokus på å knytte saman næringslivet og academia. Dei eig eigne lokale og utstyr med adresse på Øyrane i Førde som kan leigast ut til andre næringsaktørar.

## 1.2 Problemstilling

Campus Verftet eiger ein KUKA KR AGILUS-2 (KR 6 R700-2) robot dei ønsker å bruke sjølve eller stille ut i andre lokale. Derfor vil dei ha ein funksjonell robot med moglegheita til å flyttast til andre stader. I samanheng med det må roboten sikrast så den ikkje kan skade menneske.

KR 6 R700-2 er ein del av KR AGILUS-2 serien laga for raske presise handlingar og oppgåver blant anna i industri. Designet er kompakt og fokuserer på robustheit, pålitelegheit og gjentakande oppgåver. Roboten kjem med diverse ekstrautstyr, blant anna ei ekstern eining «KUKA KR C4 compact» og ein «KUKA SmartPAD-2». Høvesvis er KR C4 ein kontrollering som integrerer fleire kontrollar i ei eining, nemleg «PLC», «Motion Control», «Safety Control» og «Robot Control». SmartPAD er eit kontrollpanel som gjer det mogleg å styre roboten manuelt frå ein trygg avstand og er utstyrt med nødstoppbrytar i tilfelle ein kritisk situasjon oppstår.

I fjor var den brukt i eit prosjekt til «PLS styring av robot» av Henrik Tveit og Thor Erling Thorbjørnsen. Då vart roboten programmert til å kontrollerast frå ein Safety PLS frå Beckhoff med ekstern nødstoppbrytar tilkopla. Sjå Figur 3. Etter at prosjekter var ferdig vart PLS med nødstoppbrytar fråkopla og tatt vekk frå Verftet.

Samstundes har Johannes Møgster som var kontaktperson i prosjektet fortalt at ramma beveger seg att og fram når robotarmen akselerer og de-akselerer.

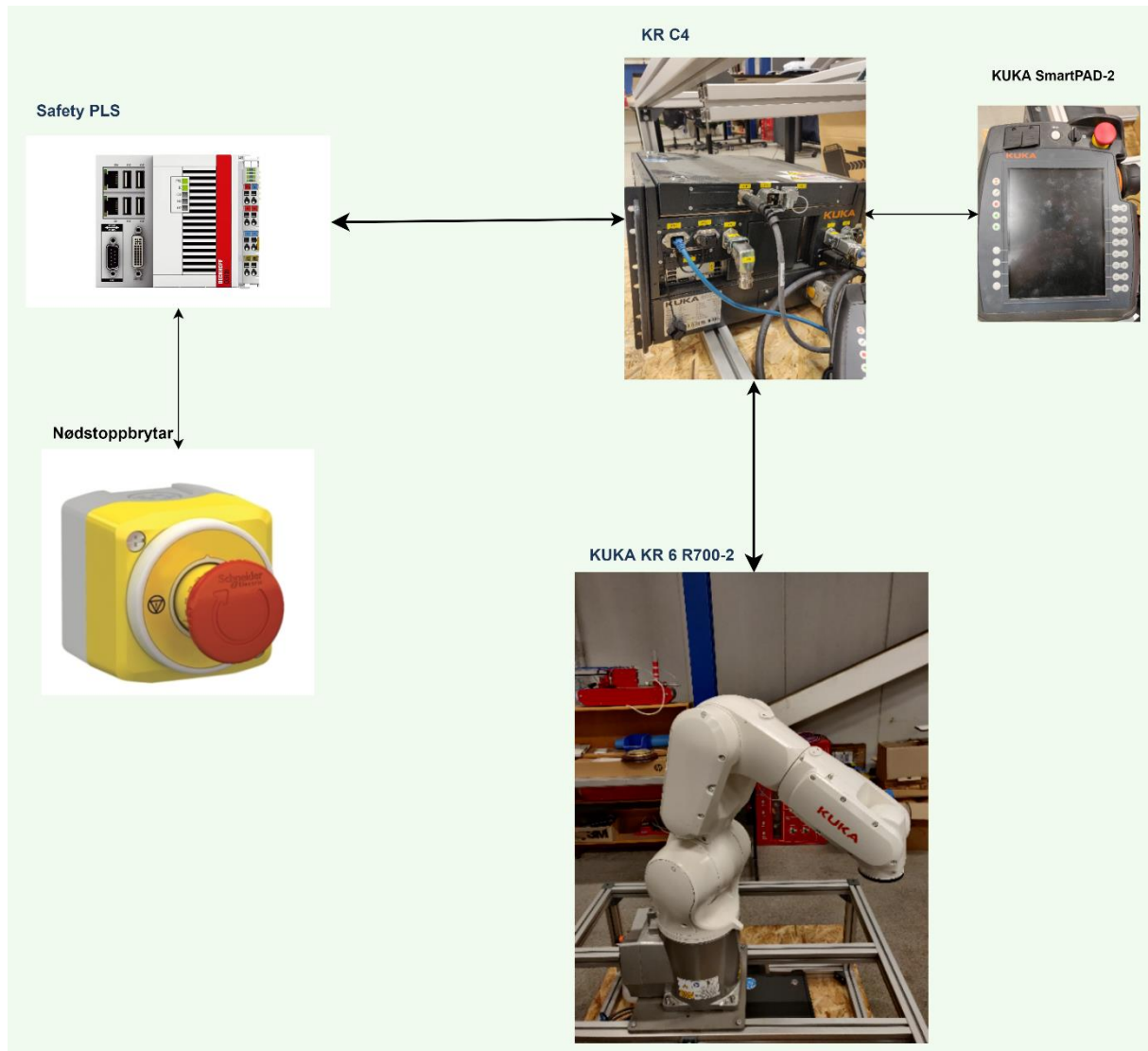
Det manglar derfor fleire komponentar, ramma er ikkje sterk nok og som den står nå er ikkje roboten egna til Campus Verftet sitt formål.



Figur 1: Bilde av roboten «KUKA KR 6 R700-2» tatt på Campus Verftet.



Figur 2: Bilde av "KUKA KR C4 compact" kontrollering tatt på Campus Verftet.



Figur 3: Simpel illustrasjon av oppbygginga til det tidlegare prosjektet. Illustrert med Diagrams.net utviding i PyCharm programvare.

### 1.3 Hovudidé til løysingsforslag

Som første steget ønsker Campus Verftet at eg planlegg sikkerheita rundt roboten, drøfter moglege løysingar og problemstillingar, og grunngjev kva eg tenkjer er beste løysing i samsvar med Verftet sine ønske.

Ei bacheloroppgåve frå våren 2022 om «Kartlegging av automatisk fresing av topplag» skreve av Stig Kristiansen, Ole Andreas Stegegjerdet og Bjørn Inge Myrvang som gjekk Automatiseringsteknikk med robotikk ved Høgskulen på Vestlandet er inspirasjonen til detta prosjektet. I rapporten drøfta dei om det var mogleg å bruke ein robot frå KUKA i kombinasjon med lysgardiner eller LiDAR-sensarar frå SICK for



Figur 4: "KUKA SmartPAD-2" tatt på Campus Verftet.

å lage ei flyttbar løsning til bruk i industri. Robotane dei drøfta om var mykje større enn roboten eg arbeider med, men løysingane er likevel aktuelle til vårt bruk.

Eg kjem til å fokusere på å redusere faremoment ved roboten så mykje som mogleg, ved å implementere sensorar som registrerer bevegelsar og gir beskjed om å stoppe roboten dersom situasjonen nærmar seg kritisk nivå.

## 2 Kravspesifikasjon

Roboten skal etter planen brukast etter behov og skal ikkje driftast kontinuerleg eller stå på i lange periodar.

I starten av prosjektet var størrelsen på oppgåva meir omfattande. Planen var å lage eit ferdig produkt, og at roboten skulle vere operativ og flyttbar.

I lag med Campus Verftet kom eg fram til at roboten skulle vere:

1. Kompakt. Tar lite plass i omgivnadane.
2. Flyttbar. Mogleg å flytte for hand.
3. Sikker for å unngå skader på menneske.
4. Brukarvennleg. Gjerne med programvare med eit brukargrensesnitt som gjer det enklare å kalibrere systemet.

Etter kvart såg vi at det ikkje var nok tid til å fullføre alle delpunkta, og i samtale med Bengt kom vi fram til det viktigaste var å prioritere sikkerheita og gjere den enklare å bruke.

Då endra krava seg til:

1. Sikker: Reduser sjansen for skader på menneske mest mogleg.
2. Flyttbar: Tar lite plass i omgivnadane og er mogleg å flytte til ein anna plass eller lokasjon.
3. Kompatibilitet. Komponentar må passe med og kunne kommunisere med roboten.

Grunnen til at eg mangla tid mot slutten er på grunn av kommunikasjonsproblema med leverandøren av sensorløysinga eg valde og dels at roboten ikkje var køyrbar så planen måtte endrast.

## 3 Analyse av problemet

### 3.1 Sikker

Å redusere sjansen for skader på menneske er det største delpunktet.

I samsvar med KUKA sin manual, sjå kapittel 3 i vedlegg 1, informerer KUKA om moglege risikoar ved roboten. På sidene frå og med side 22, til og med side 31 uthever dei åtvaringar i tekstboksar som referer til hendingar som kan skade personar og omgivnadane. Tekstboksane har forskjellige fargekoder som beskriver sjansen for skade og alvorlet av skadane, der gul betyr liten sjanse for små skader, oransje betyr liten sjanse for alvorlege skader eller død, og raud er høg sjanse for alvorlege skader eller død. Beskriving av alvorlet og typen skader gradane representerer står på side 9 i manualen. Sjå Figur 5

**DANGER****Danger to life and limb of persons under the robot arm**

Sagging or falling parts can cause death or serious injuries. This applies at all times, e.g. also for assembly tasks or with the controller switched off.

- Never loiter under the robot arm.

**CAUTION****Risk of burns from hot motors**

The motors reach temperatures during operation which can cause burns.

- Avoid contact.
- Take appropriate safety precautions, e.g. wear protective gloves.

**WARNING****Danger to life due to malfunction of implants caused by motors and brakes**

Electric motors and brakes generate electric and magnetic fields. The fields can cause malfunctions in active implants, e.g. pacemakers.

- Affected persons must maintain a minimum distance of 300 mm from motors and brakes. This applies to both energized and deenergized motors and brakes.

Figur 5: Henta frå vedlegg 1 side 26.

Teksten skildrar blant anna farane ved feil bruk av roboten, klemfare om eit menneske eller kroppsdel hamnar mellom ledda til roboten, kollisjonsfare med menneske eller kroppsdelar når den er i drift og bevegar seg, og faren ved å bruke roboten utan sikkerheitsfunksjonar og sikkerheitstiltak implementert på roboten og rundt den. Kort oppsummert er mykje av risikoane fysisk påkjenningar som kan gi eksterne og indre skader på ein person, og i verste fall kan bety døden.

For å redusere moglegheita for skader ønsker Verftet å implementere eit system som hindrar tilgang til sjølve roboten når den er på og køyrer. Eit slikt system må vere kompatibelt med roboten, og oppfylle krava til sikkerheit gitt av aktuelle standardar om robotar og elektriske system.

For å dokumentere systemet brukar eg manualar frå produsentane, og standardane:

---

ISO 13849-1:2015 Maskinsikkerhet – Sikkerhetsrelaterte deler i styresystemer

---

ISO 10218-2:2011 Robotar og robottekniske innretningar – Sikkerheitskrav for robotar for industrielt miljø

---

ISO 13855:2010 Maskinsikkerhet – Plassering av beskyttende utstyr i forhold til kroppsdelenes hastighet når det nærmer seg maskinen

---

IEC 61508-1:2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

---

ISO 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots

---

Standardar beskriv moglege måtar å løyse ei oppgåve på, og er ofte i samsvar med avgjerder frå myndigheitene og i samsvar med lovverket. Referanse NEK [1]. ISO (International Organization for Standardization) og IEC (International Electrotechnical Commission) er internasjonale organisasjonar som utviklar standardar for blant anna robotar og elektronisk programmerbare styresystem. Referanse ISO [2] og IEC [3]

Sidan roboten og menneske skal høvesvis køyre og arbeide på same tid i same området, tel det som «collaborative workspace» i samsvar med ISO 15066:2016. Sjå delkapittel 3.3. Som så viser til standarden ISO 10218-2:2011, delkapittel 3.3 (collaborative workspace).

I samsvar med tabell G.1 i ISO 10218-2:2011, nemnast det blant anna at dei essensielle krava til eit sikkerheitsrelatert kontrollsystem til roboten er PL=d og/eller SIL 2.

PL er forkorta for «Performance Level» og definert i ISO 13849-1:2015. Det beskriver moglegheita for at ein feil kan skje i eit system som PFH (Probability of Failure per Hour) på ein skala frå a til e, der e er det høgaste farenivået. Sjå Tabell 1:

**Tabell 1: PL (Performance Level). Tabellen er henta frå standarden ISO 13849-1:2015 side 11.**

PL (Performance Level)	Average probability of failure per hour (PFH <sub>D</sub> ) 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ to $3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ to $10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ to $10^{-7}$

SIL er forkorta for «Safety Integrity Level» og definert i IEC 61508-1:2010. Det beskriver blant anna moglegheita for at sikkerheitssystemet ikkje virke, enten som PFD (Probability of Failure on Demand), eller som PFH (Probability of Failure per Hour), og på ein skala frå 1 til 4, kor 4 er det høgaste og mest kritiske nivået. Sjå høvesvis **Tabell 2** og Tabell 3.

**Tabell 2: SIL (Safety Integrity Level). Tabellen er henta frå standarden IEC 61808-1:2010 side 33.**

SIL (Safety Integrity Level)	Average probability of a dangerous failure on demand of the safety function (PFD <sub>avg</sub> )
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

**Tabell 3: SIL (Safety Integrity Level) Tabellen er henta frå standarden IEC 61508-1:2010 side 34.**

SIL (Safety Integrity Level)	Average frequency of a dangerous failure of the safety function [ $h^{-1}$ ](PFH)
4	$\geq 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

Tabell 3 gjeld om systemet operer i «continuous mode» som betyr at det står på kontinuerleg i lange periodar utan stopp. Elles ser enn på **Tabell 2** når enn brukar systemet ved behov.

SIL og PL kan utføre same oppgåvene og ein treng derfor berre velje ein av dei, men med omsyn til intensjonen av systemet. For Referanse, sjå ISO 10218-2:2011, delkapittel 5.2.1.

Som nemnt i problemstillinga er det bevegelsar i ramma når roboten køyrer. Ramma skal monterast og dimensjonerast i samsvar med tabellane i KUKA sin manual for å unngå uønskete bevegelsar frå roboten. Sjå Figur 6.

Foundation loads for floor mounting position	
F(v normal)	801 N
F(v max)	1105 N
F(h normal)	451 N
F(h max)	684 N
M(k normal)	420 Nm
M(k max)	595 Nm
M(r normal)	162 Nm
M(r max)	301 Nm

Figur 6: Belastning på ramma til KUKA KR 6 R700-2, montert på golvet. Henta frå vedlegg 14, side 45-46.

### 3.2 Flyttbar

Systemet skal ikkje vere ein fast installasjon, og skal derfor ikkje monterast fast til omgivnadar som for eksempel byggekonstruksjon. Det må vere mogleg å flytte.

Det kan argumenterast for at dersom systemet er lett å demontere, pakke saman og flytte tel det som flyttbart. Moglegvis vert det ei kompleks løysing.

Eller det kan integrerast på roboten eller ramma til roboten. Sidan planen er at ramma roboten står på skal vere flyttbar, vil systemet i saman med den også telje som flyttbart. Då burde det ikkje vere nødvendig å demontere det dersom roboten skiftar posisjon eller flyttast til ein ny plassering.

### 3.3 Kompatibilitet

Roboten KUKA KR 6 R700-2 kjem levert med både EtherCAT- og PROFINET kommunikasjon over Ethernet. Sjå vedlegg 8. PROFINET er ein industri standard eigd og utvikla av PROFINET & PROFIBUS International. Sjå Referanse [4]. EtherCAT er ein standard utvikla i samsvar med IEC 61158 av selskapet Beckhoff og haldt ved like av EtherCAT Technology Group. Sjå referanse [5].

Roboten kjem levert med begge kommunikasjonsstandardane, men berre ein kan brukast om gongen.

No er roboten konfigurert til å bruke kommunikasjonsstandard EtherCAT over Ethernet, i saman med den eksterne sikkerheits PLS-en. Derfor tenker eg at det enklaste vil vere å velje ei løysing som brukar same kommunikasjonsstandard.

Eg tenker også at ei løysing som brukar PROFINET kommunikasjonsstandard vil påføre meir arbeid, og at det er unødvendig om det ikkje er konkrete fordelar for prosjektet med PROFINET framfor EtherCAT. Til no har eg ingen grunn til å velje eit sånt system.

### 3.4 Utforming av moglege løysingar

Til oppgåva er SICK valt som leverandør av systemløsning til roboten. Sjå referanse [6]. Det er på grunn av ein samtale med Frode Grimsbø frå den norske avdelinga til KUKA, nemleg KUKA Nordic Norway, der han nemnde at SICK og kanskje også Beckhoff kunne levere ei passende løysing til mitt formål. Referanse Beckhoff [7]. SICK er i hovudsak ein global produsent av sensorar og systemløsningar til industri, og Beckhoff er i hovudsak ein global produsent av styresystem og automatiseringssystem til industri. Eg fant ingen ferdige systemløsningar frå Beckhoff som passa til prosjektet, men SICK kunne fleire alternativ og eg valde derfor dei.

SICK har tre løysingar som eg har vurdert:

- deTec4 - Safety light curtains
- microScan3 – Safety laser scanner
- sBot Speed – Safety systems for robots

#### 3.4.1 deTec4 – Safety light curtains

Det førstnemnde systemet deTec4 brukar lysgardiner som er monterte i omgivingane rundt roboten, enten festa til eksisterande struktur eller montert på golvet. Sjå Figur 7.



Figur 7: deTec lysgardiner. Henta frå vedlegg 2, side 1.

Sensorane består av sendarar og mottakarar som høvesvis sender og mottar synlege infrarøde lysstrålar. Saman dannar dei ein vegg av synleg lys, og dersom noko eller nokon bryter lysstrålane vert systemet aktivert. Sjå Figur 8:





*Figur 8: Faresone til robot som er beskytta av lysgardin. Henta frå vedlegg 3, side 9.*

Lysgardinene er relativt lette å plassere om det er eksisterande struktur i nærheita som dei kan festast til, dei er lette å konfigurere, og avstanden mellom sendar og mottakar kan vere heilt opp til 30 meter. Dersom det ikkje er mogleg å feste lysgardinene til eksisterande struktur kan dei borast fast til golvet.

Om lysgardinene må borast fast til golvet tenker eg det ikkje er så flyttbart. Eg lurar på om det er mogleg å prosjektere føter som kvar sendar monterast på. Då kan dei plasserast alt etter behov.

Fordi sensorløysinga ikkje er fast montert på roboten, men i omgivnadene må det demonterast, flyttast og monterast på nytt når roboten skifter lokasjon eller plassering. Det kan tenkast at det er vanskeleg å plassere lysgardinene om det er mange objekt i området omkring roboten, eller at objekta hindrar sikta til lysgardinene så sendar og mottakar ikkje kan skape kontakt med kvarandre.

Kort fortalt krev dei eit fritt område kring seg for å virke tilstrekkeleg godt.

I samsvar med vedlegg 2 side 6, har deTec4 lysgardinene nivå PL=e og SIL3, som er høgare enn nivå PL=d og SIL2 som er essensielt for sikkerheitsrelaterte styresystem i samsvar med tabell G.1 i ISO 10218-2:2011.

I samsvar med vedlegg 9, side 14 kan lysgardinene integrerast med både PROFINET- og EtherCAT kommunikasjonsstandardar over Ethernet, og er derfor kompatible med roboten.

### 3.4.2 microScan3 – Safety laser scanner

Eit anna alternativ er sensorløysinga microScan3 som består av LiDAR sensorar frå SICK. Sjå Figur 99:

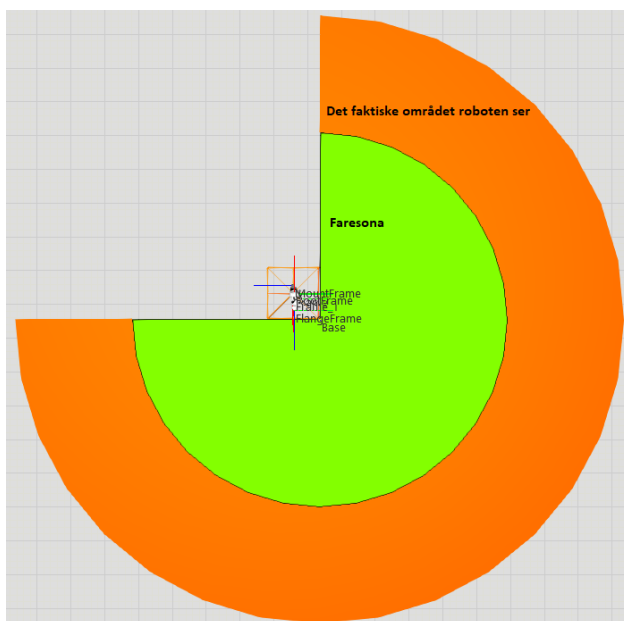


Figur 9: microScan3 LiDAR sensor. Henta frå vedlegg 4, side 1.

Likt ein radar som sender ut lydbølger til omgivingane sender LiDAR sensorar ut lys med ein pulserande roterande laser. Lyset reflekterast av menneske eller objekt i omgivingane, og sensoren bestemmer retninga og avstanden til objekta ut frå det reflekterte lyset.

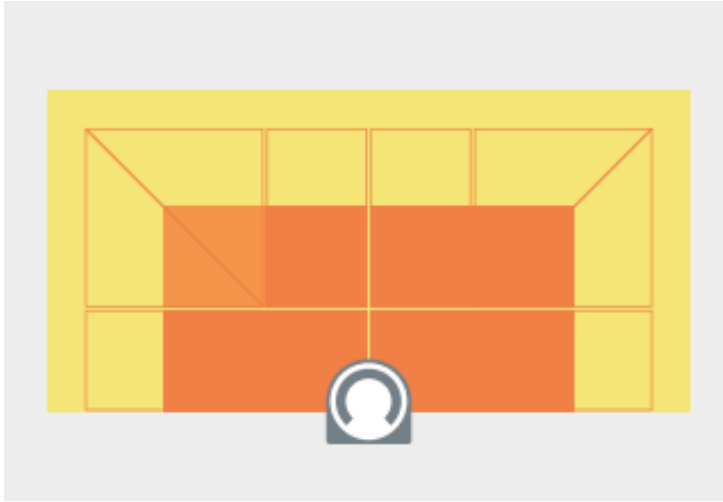
microScan3 kan monterast på ramma til roboten og er ei kompakt løysing som tar lite plass. Samstundes, som beskrive tidlegare vil ei sensorløysing montert på ramma følge robotens posisjon og orientering når den flyttast omkring.

microScan3 skannar horisontalt i ein sirkel rundt seg med ein radius på heilt opp til 9 meter på faresona, og det faktiske området den ser er opp til 64 meter i radius, avhengig av modellen. Sjå Figur 1010. Forholdet på sonene i figuren er ikkje faktisk størrelse i verkelegheita.



Figur 10: Det faktiske området og faresona. Illustrert i KUKA.sim programvare.

Faresona kan delast opp i eit rutenett, og om ønskjeleg kan deler av sonene programmerast med forskjellige funksjonar. For eksempel kan delar av sona programmerast til å ikkje reagere på bevegelsar, eller ekskludere objekt som står fast montert i den overvaka sona til sensoren. Sjå Figur 111.



*Figur 11: Soneinndeling til microScan3. Henta frå vedlegg 5, side 8.*

Sensoren kan arbeide for seg sjølv utan ekstra maskinvare. Alle nødvendige funksjonar og programvare er implementert.

Som nemnt tidlegare, etter ein samtale med Johannes Møgster frå firmaet Goodtech kom eg på ideen å kople ein microScan3 sensor til sikkerheits PLS-en som styrer roboten, via eit «safety relay» frå SICK. Sjå Figur 122.



*Figur 12: "Safety relay" frå SICK. Henta frå nettsida [8].*

Sikkerheits PLS-en overvaker tilstanden til nødstoppbrytaren. Når knappen på nødstoppbrytaren trykkast inn endrast tilstanden til brytaren, og Safety PLS-en sender signal til roboten om å stoppe. Sjå høvesvis Figur 13 og Figur 14.



Figur 13: Nødstoppbrytar. Henta frå nettsida [9].

I staden for den eksterne nødstoppbrytaren vil eg bruke eit rele som styrast av microScan3 sensoren, og sikkerheits PLS-en overvaker tilstanden til releet. Når eit menneske går inn i faresona til sensoren endrar den tilstanden til releet, og sikkerheits PLS-en sendar eit signal til roboten om å stoppe.



Figur 14: Beckhoff PLS. Henta frå nettsida [10].

Dersom eg koplar alt i saman burde det i teorien virke utan behov for tilpassing.

### 3.4.3 sBot Speed – Safety systems for robots

Det siste alternativet som er vurdert heiter sBot Speed. Sjå Figur 15.



*Figur 15: sBot Speed. Henta frå vedlegg 6, side 1.*

Det brukar microScan3 LiDAR sensorar eller «s300 mini» LiDAR sensorar frå SICK. Det er så kalla «core» modellar som kjem levert ferdig programmert med eit overordna system bestående av maskinvare og programvare som styrer roboten. Derfor krev det mindre konfigurering ut av boksen, og det har alle funksjonane frå microScan3 i tillegg til fleire funksjonar, som for eksempel automatisk reduksjon av farten til roboten om menneske nærmar seg faresona.

Men det krev relativt mykje maskinvare og programvare samanlikna med dei to andre sensorløysingane. Sjå vedlegg 12, delpunkt 7.2. Samstundes skjer kommunikasjon via kommunikasjonsstandarden EtherNet/IP™ CIP Safety™, ein standard som roboten til Campus Verftet ikkje er levert med. For at roboten skal kunne kommunisere via EtherNet/IP går det moglegvis an å konfigurere den til å kommunisere over EtherNet/IP med ein guide eg fant på internettet, sjå nettsida [11] for informasjon. Samstundes har KUKA ferdig sensorløysingar i sBot Speed/Stop serien som er ferdig programmerte og kan pluggast rett inn i KUKA KR C4 kontrollleininga. Eg kontakta og spurde teknisk avdeling hos KUKA om sBot Speed passet til roboten KUKA KR 6 R700-2, og dei svarta at det skulle den, men eg veit ikkje kor mykje det krev å konfigurere roboten. Sjå vedlegg 13 for mail-utveksling.

sBot Speed har ikkje noko definert SIL nivå i samsvar med IEC 13489-1:2015. Men det er ikkje nødvendig sidan standardane kan utføre same oppgåva så lenge dei er i samsvar med intensjonen til systemet, sjå ISO 10218-2:2011 delkapittel 5.2.1. I vedlegg 6 side 2, står det at sBot Speed har nivå lik PL=d som er konkludert med var essensielt for sikkerheitsrelaterte styresystem i samsvar med ISO 10218-2:2011.

### 3.4.4 Vurderingar i forhold til verktøy og HW/SW komponentar

deTec4 treng ikkje programvare for å konfigurereast og settast i drift. Systemet kan monterast og konfigurereast med verktøyet som følger med i systempakken.

microScan3 treng programmet «Safety Designer» frå SICK for å konfigurereast. Sjå vedlegg 11, delkapittel 7.2.

sBot Speed treng 4 programvarer og fastvare dersom system skal konfigurereast:

- Flexi Soft Designer
- Safety Designer
- Firmware FX3-CPUx
- Firmware FX3-XTIO

## 3.5 Konklusjon

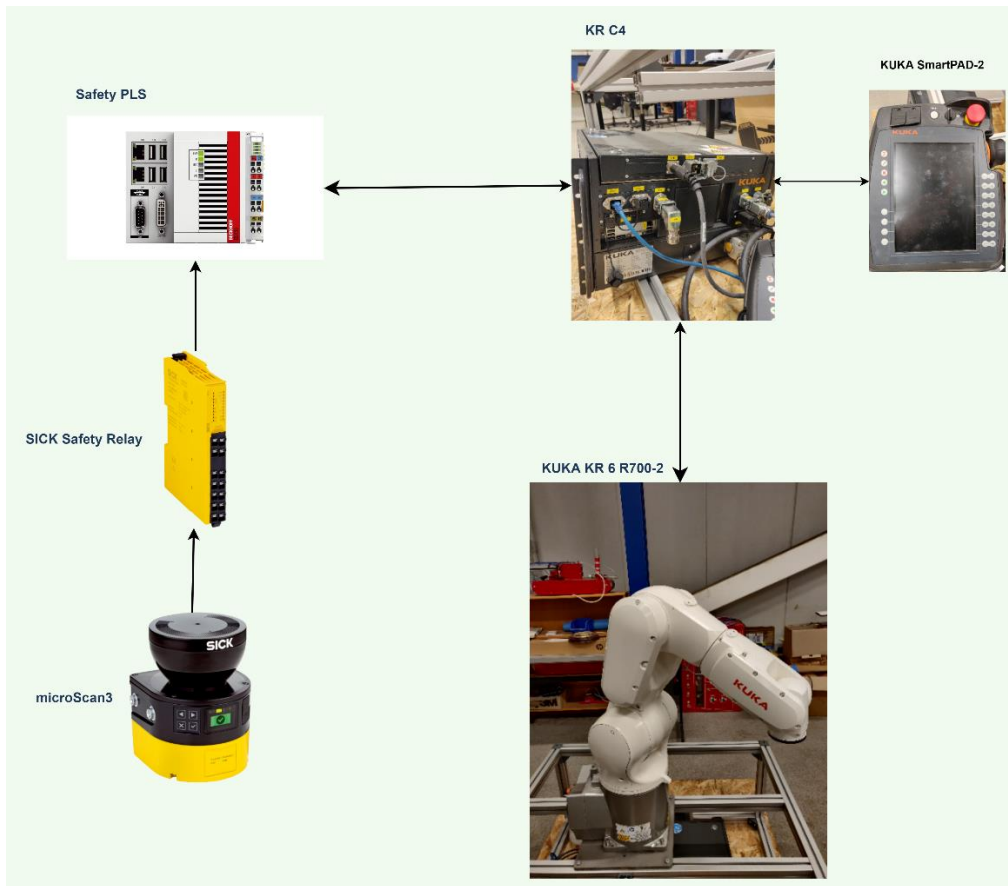
microScan3 og sBot Speed kan monterast på ramma og følger då orienteringa og posisjonen til ramma når roboten flyttast, mot deTec4 som monterast på byggekonstruksjon eller festast til golvet og må demonterast og monterast kvar gong det flyttast.

Alle dei moglege løysingane har nivå PL=d og nivå lik SIL2 eller betre i samsvar med ISO 10218-2:2011. Men berre deTec4 og microScan3 støttar EtherCAT kommunikasjonsstandard, mot sBot Speed som krev EtherNet/IP kommunikasjonsstandard. Eg er ikkje sikker på om roboten støttar EtherNet/IP kommunikasjon. Eg har ikkje funne informasjon om det i manualen i vedlegg 1, og eg har derfor ikkje kunnskapen til å ta den avgjerda no, så eg vel ei anna løysing som eg er ganske sikker på burde vere kompatibel med roboten.

Eg kan argumentere for at deTec4 lysgardinene er like gode som microScan3 LiDAR sensorar fordi dei ikkje krev programvare for å konfigurereast, men Verftet hadde brukt tid på å demontere dei kvar gong roboten skulle flyttast og eg tenker at dei ikkje ønsker det om det kan unngåast. Campus Verftet har også sagt at dei føretrekker microScan3- eller sBot Speed sensorløysingane.

Derfor konkluderer eg med at microScan3 sensorløysinga er best. Den er relativt enkel å montere samanlikna med dei andre alternativa, brukar ikkje mykje plass i omgivnadane eller på ramma til roboten, treng ikkje demonterast om ramma roboten står på flyttast, krev relativt lite maskinvare og programvare, og er kompatibel med EtherCAT kommunikasjon over nettverkskabel eller kan koplast til sikkerheits PLS-en med eit rele. Sjå Figur 16.

Om Verftet ønsker det, kan løysinga utvidast med fleire sensorar.



Figur 16: Illustrasjon av oppbygging til vald løsning. Illustrert med Diagrams.net utviding i PyCharm.

## 4 Realisering av vald løsning

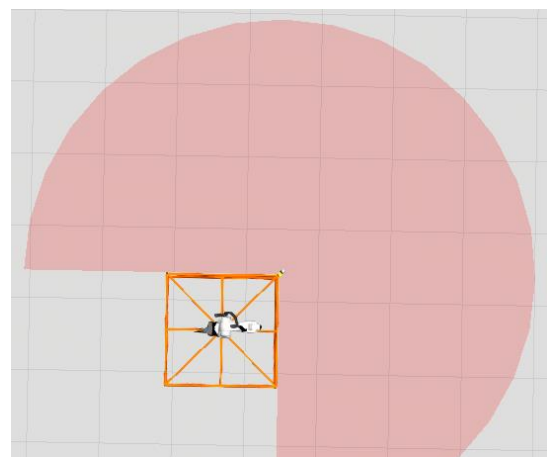
Campus Verftet har sagt at dei vurderer to måtar å løyse problemet på med microScan3 LiDAR sensorar. Ei løysing med ein sensor, og den løysinga andre med to sensorar.

I hovudsak brukast manualen frå SICK i vedlegg 11 til å grunngjeve mine val av montering og plassering av sensorane. I nokre tilfelle vil eg referere til ISO 10218-2:2011.

### 4.1 microScan3 LiDAR sensor

microScan3 LiDAR sensorar skannar opp til 275° av området om kring seg. Sjå Figur 17. Det betyr at ein sensor har ei blindsona på  $360^\circ - 275^\circ = 85^\circ$  som det er mogleg for eit menneske å bevege seg inn i utan at sensoren ser mennesket.

Roboten KUKA KR 6 R700-2 kan i verste fall påføre alvorlege skader eller drepe ein person ved alvorleg feil eller feil bruk av roboten i samsvar med manualen til KUKA. Sjå vedlegg 1 kapittel 3. For å unngå det må to sensorar implementerast for å dekkje 360° av området om kring roboten, eller ekstra tiltak i tillegg til LiDAR sensor implementerast i samsvar med ISO



Figur 17: 275° dekningsgrad frå sensor. Laga i KUKA.sim programvare.

#### 4.1.1 Barriere

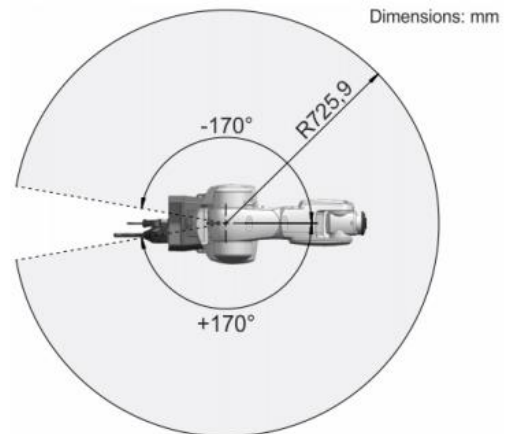
10218-2:2011. Enklaste måten er å plassere roboten i eit hjørne eller at med ein vegg så blindsona til sensoren vender mot vegg og hindrar tilgang til området som ikkje er overvaka. Moglegvis kan inngjerding brukast om roboten står fritt på golvet. Sjå Figur 23.

Men dersom gjerde brukast skal det følgje delkapittel 5.10.4.1, i ISO 10218-2:2011. I samsvar med det, kort fortalt skal det ikkje vere mogleg å fjerne gjerdet utan verktøy det skal ikkje monterast nærmare faren enn det beskytta området. Faren i detta tilfellet er roboten, og det beskytta området, er området overvaka av LiDAR sensoren kalla faresona.

Samstundes bevegar roboten seg  $340^\circ$  på basen. Sjå Figur 18. Då er det  $360^\circ - 340^\circ = 20^\circ$  av den totale omkretsen til ein sirkel som roboten ikkje kan bevege seg i.

Området er attmed tilkoplingane til roboten. Det mest naturlege vil vere å plassere det mot vegg eller inngjerdinga for å utnytte arbeidsområdet til roboten mest mogleg, og plassere sensoren i fronten for å overvaka arbeidsområdet til roboten. Plasserast sensoren bak vil ikkje det vere god utnytting av ressursane.

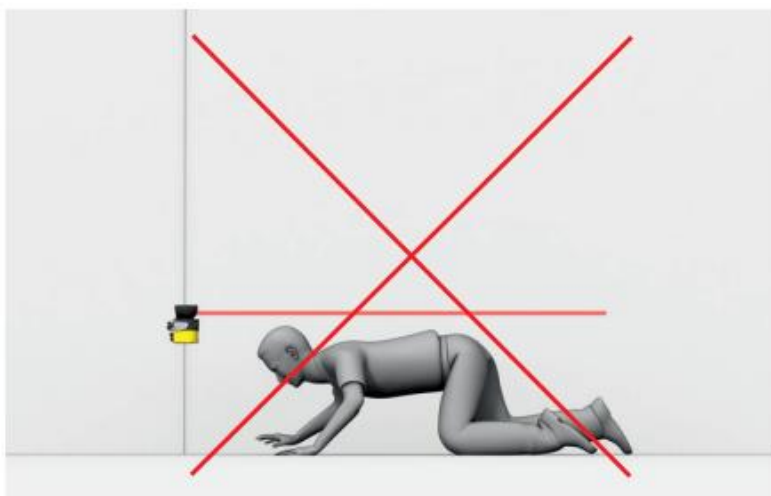
I nokre tilfelle vil det vera behov for å plassere roboten tett attmed barrieren. Problemet som oppstår då er faren for at roboten kan skade den fysiske barrieren eller byggekonstruksjonen. Det kan unngåast ved å konfigurere arbeidsområdet til roboten i KUKA WorkVisual. Sjå vedlegg 17



Figur 18: KUKA KR 6 R700-2 arbeidsområde. Henta frå vedlegg 1 side 38.

#### 4.1.2 Monteringshøgda

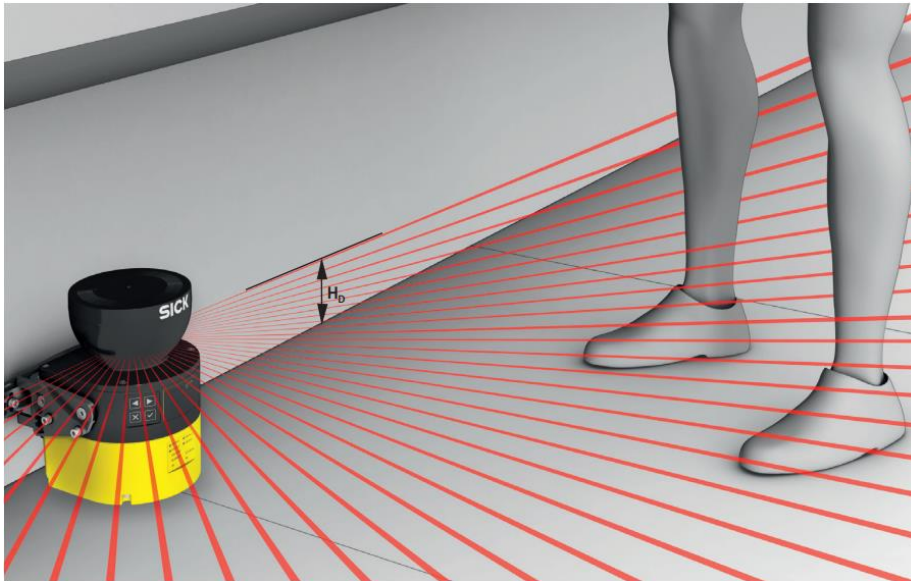
Monteringshøgda på sensoren skal ikkje vere for høg, elles kan menneske krype under deteksjonssona. Sjå Figur 19.



Figur 19: For høg montering av sensor. Henta frå vedlegg 11, side 26.



Eit anna problem er oppløysinga på laseren. Oppløysing på laseren til LiDAR sensoren beskriver kor tett det er mellom kvar stråle laseren sender ut i periferien. Er oppløysinga for høg kan det i nokre tilfelle hende at sensoren ikkje detekterer beina på ein person som står i faresona. Sjå Figur 20



Figur 20: Ikkje detektert av laseren. Henta frå vedlegg 11, side 38.

For å unngå det anbefaler SICK ei monteringshøgda på 300 mm eller høgare, med ei oppløysing på 70 mm eller tettare. I den høgda treffer laserstrålane lårmusklane som er tjukkare og LiDAR sensoren vil då registrere personen som går mot faresona.

Dersom monteringshøgda er lågare enn 300 mm må oppløysinga bereknast ut frå formelen:

$$d_r = \frac{H_D}{15} + 50 \text{ mm}$$

Der:

- $d_r$  er høgaste tillate oppløysing.
- $H_D$  er monteringshøgda.

Det skal rundast ned til nærmaste verdi når oppløysing reknast ut. Sjå Tabell 4.

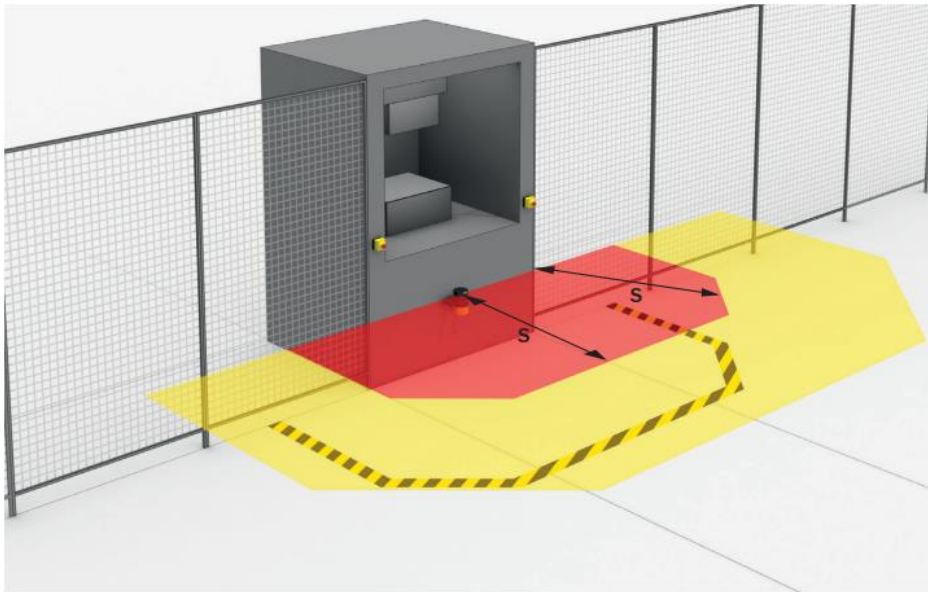
Resolution	Scan cycle time 40 ms	Scan cycle time 30 ms
≥ 70 mm	5.50 m	4.00 m
50 mm	3.50 m	3.00 m
40 mm	3.00 m	2.30 m
30 mm	2.30 m	1.70 m

Tabell 4: Informasjonen i tabellen er henta frå side 164-165 i vedlegg 11. Tabellen gjelder for microScan3 modellen med ei 5,5 meter i radius stor faresone.

Det er tre utgåver av microScan3 LiDAR sensoren. Alle er identiske bortsett frå størrelsen på faresona. Maksimum oppgitt størrelse på faresonene er høvesvis 9.00 m, 5.50 m og 4.00 m. Eg vel modellen med 5.50 m fordi eg veit det er ei stor nok sone, og eg kjem fram til kvifor eg veit det snart. Eg vel også å bruke anbefalte verdiar, 300 mm monteringshøgda og 70 mm oppløysing på faresona.

#### 4.1.3 Minimumsdistanse

I samsvar med manualen frå SICK i vedlegg 11, side 36 skal minimumsdistansen  $S$  frå enden på robotarmen til den ytre kanten av faresona kalkulerast. Sjå Figur 21.



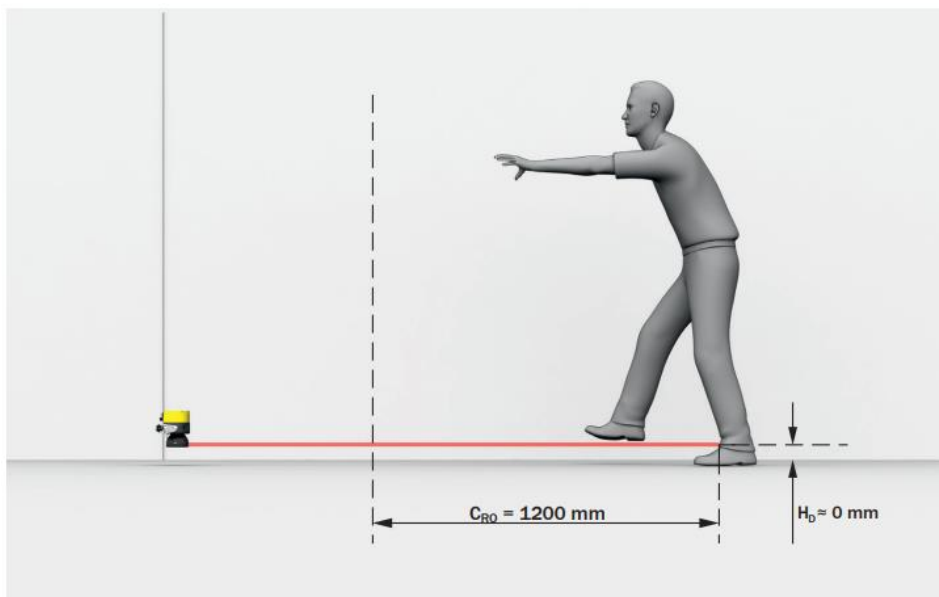
Figur 21: Illustrasjon av faresone "S". Henta frå vedlegg 11, side 34.

Manualen viser til ISO 13855:2010 der den generelle formelen er oppgitt i delkapittel 6.5.2. Sjå under for den generelle formelen:

$$S = (K \times T) + C_{RO}$$

Betydningar i formelen:

- $S$  er minimum distanse oppgitt i millimeter.
- $K$  er farta eit menneskje eller kroppsdell nærmar seg roboten i millimeter sekundet (mm/s).
- $T$  er gjennomsnittleg tid det tar for heile systemer å stoppe.
- $C_{RO}$  er ein faktor for kor langt det er mogleg å strekke seg over faresona. Sjå Figur 22.



Figur 22: Strekke seg over faresona. Henta frå vedlegg 11, side 37.

Den berekna minimumsdistanse  $S$  skal ikkje vere mindre enn 100 mm. Om berekna verdi for  $S$  er mindre enn 500 mm må ein verdi for  $k = 2100$  mm/s brukast. Men dersom berekna verdi for  $S$  er større enn 500 mm kan ein verdi for  $K = 1600$  mm/s brukast.

SICK brukar standardverdien for  $K = 1600$  mm/s fordi alle microScan3 sensorane har større minimumsdistanse  $S$  enn 500 mm. Sjå vedlegg 11, side 164-165. Dei supplementære også med fleire faktorar som kan påverke minimumsdistanse. Sjå formelen her under:

$$S = (1600 \text{ mm/s} \times T) + TZ + Z_R + C_{RO}$$

Der:

- $TZ$  er toleransen til LiDAR sensoren.
- $Z_R$  er ein faktor for moglege refleksjonar frå objekter i nærleika av sensoren.

Ut frå «table 27» i vedlegg 11 side 159, vel eg  $TZ = 65$  mm,  $Z_R = 350$  mm og  $C_{RO} = 1200$  mm. Sjå Tabell 5.

Tabell 5: Tabell frå Side 159 i vedlegg 11.

<b>Generally necessary protective field supplement (TZ = tolerance zone of the safety laser scanner)</b>	
Devices with a max. protective field range of 4.0 m	65 mm
Devices with a max. protective field range of 5.5 m	65 mm
Devices with a max. protective field range of 9.0 m	100 mm
<b>Additional supplement <math>Z_R</math> for reflection-based measurement errors</b>	350 mm
<b>Deviation from ideal flatness of scan field at 5.5 m <sup>2)</sup></b>	$\leq \pm 100$ mm
<b>Deviation from ideal flatness of scan field at 9.0 m <sup>3)</sup></b>	$\leq \pm 100$ mm
<b>Distance of mirror rotational axis (zero point of x and y axis) to rear side of device</b>	56 mm
<b>Distance between center point of scan plane and top edge of the housing</b>	40 mm
<b>Multiple sampling</b>	2 ... 16 <sup>4)</sup>

D  manglar berre tida  $T$  det tar   stoppe systemet.

Formelen for tida  $T$  står p  side 164 i vedlegg 11. Sj  formelen her under:

$$t_R = (t_S + t_I) \times n + t_0$$

Betydningar i formelen:

- $t_R$  er responstida til systemet.
- $t_S$  er "scan cycle time". Det er tida det tar laseren i sensoren å rotere 360  ein gong.
- $t_I$  er "interference protection". Det er ein konfigurert forsenking på LiDAR sensoren.
- $n$  er "multiple sampling". Det er kor mangen gonger sensore skanner eit objekt.
- $t_0$  er tida det tar ein sensor å prosessere signalet og sende det.

Eg har valt 5.50 m i radius stor faresone og 70 mm oppløysing på faresona. I samsvar med Tabell 4 må  $t_S = 40$  ms. Ein lågare verdi for  $t_S$  kan velgast dersom raskare reaksjonstid er ønskeleg, men då reduserast samstundes faresona til microScan3 LiDAR sensoren til 4.00 m.

Verdiane for  $t_S$ ,  $t_I$  og  $t_0$  finner eg i Tabell 6.

Tabell 6: Responstid til LiDAR sensor. Henta frå «table 34» i vedlegg 11, side 154.

Scan cycle time ( $t_S$ )	Interference protection ( $t_I$ )		Output ( $t_0$ )	$t_R$ = response time for multiple sampling $n$
30 ms	Mode 1	0 ms	EtherCAT®	$n \times 30$ ms + 35 ms
	Mode 2	1 ms	EtherCAT®	$n \times 31$ ms + 35 ms
	Mode 3	2 ms	EtherCAT®	$n \times 32$ ms + 35 ms
	Mode 4	3 ms	EtherCAT®	$n \times 33$ ms + 35 ms
40 ms	Mode 1	0 ms	EtherCAT®	$n \times 40$ ms + 35 ms
	Mode 2	1 ms	EtherCAT®	$n \times 41$ ms + 35 ms
	Mode 3	2 ms	EtherCAT®	$n \times 42$ ms + 35 ms
	Mode 4	3 ms	EtherCAT®	$n \times 43$ ms + 35 ms
50 ms	Mode 1	0 ms	EtherCAT®	$n \times 50$ ms + 35 ms

Eg vel «Mode 1» fordi det ikkje trengst forsenking på laseren til sensoren, og det betyr at  $t_I = 0$ . Forsenking brukast om det er fleire laserar i n rheita av kvarandre for å unng a at dei p verker kvarandre.

Verdien  $n = 2$  som anbefalt verdi til stasjonære applikasjonar.  $n$  er kor ofte sensoren skannar eit objekt f r den sender eit signal til systemet. Sj  referanse på side 99 i vedlegg 11 for meir informasjon.

Tida det tar å prosessere signalet  $t_0 = 35$  ms for EtherCAT kommunikasjonsstandard i samsvar med side 164 i vedlegg 11.

Reaksjonstida til microScan3 LiDAR sensoren i detta tilfellet er:

$$t_R = (40 \text{ ms} + 0 \text{ ms}) \times 2 + 35 \text{ ms} = 115 \text{ ms}$$

Så må reaksjonstida til sikkerheits PLS-en og roboten leggstil for å få heile systemets reaksjonstid.

Eg har ingen eksakt PLS modell og brukar derfor nokre generelle tall eg fant på Beckhoff si nettside for eit system som kommuniserer over EtherCAT. Sj  nettsida [12]. Her tar dei høgd for eit meir komplisert system enn ein enkel PLS, så reaksjonstida er tregare enn eit enklare system, men eg vel å bruke verdien for sikkerheits skyld. Dei reknar seg fram til 50 ms i reaksjonstid.

I følgje manualen til KUKA KR 6 R700-2 roboten i vedlegg 1, skildrast den lengste tida det tar å stoppe roboten som «STOP 0». STOP 0 er tida det tar fr  stopp-signalet aktiverast til roboten står heilt i ro. Det er ein gjennomsnittsberekning gjort med robotarmen strekt heilt ut, høgast tillat last på armen, og maks fart på roboten. Manualen viser tala fr  aksane med størst avbøying, høvesvis A1, A2 og A3. Aksen som brukar lengst tid på å stoppe er A3, som stoppar på 0.39 sekund, eller 390 ms. Sj  Tabell 7.

Tabell 7: Henta frå vedlegg 1, side 86.

Stopping distance	
A1	33.06 °
A2	38.65 °
A3	36.40 °
Stopping time	
A1	0.39 s
A2	0.22 s
A3	0.16 s

Eg vel å rekne ut i fr  den lengste tida det tar roboten å stoppe for å vere sikker på at systemet reager i tide dersom ein farleg situasjon oppstår.

Legg eg i saman alle verdiane for reaksjonstida til systemet f r eg at heile systemet sin reaksjonstid  $T$  er lik:

$$T = 115 \text{ ms} + 50 \text{ ms} + 390 \text{ ms} = 555 \text{ ms}$$

$T$  må konverterast til sekund fordi formelen til minimumsdistansen  $S$  brukar sekund:

$$555 \text{ ms} = 0.555 \text{ s.}$$

Nå kan alle tala settast inn i formelen for minimumsavstanden  $S$ :

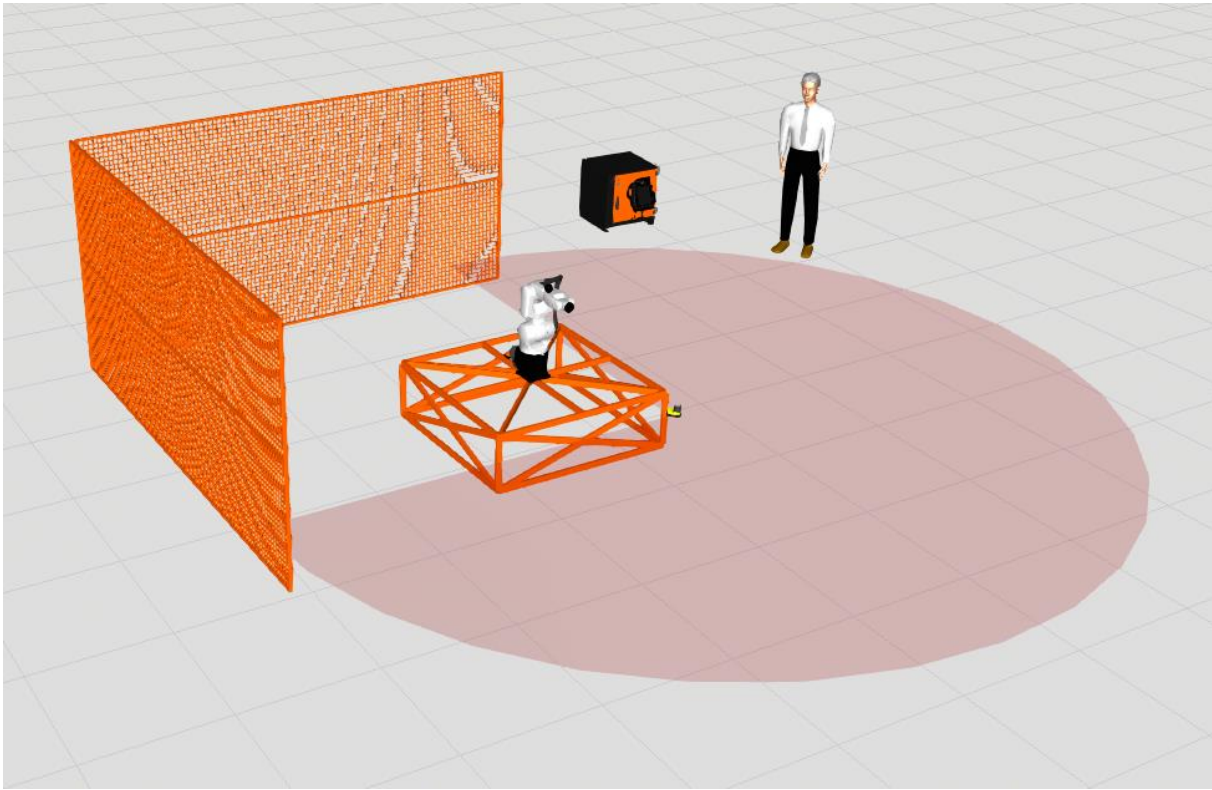
$$S = (1600 \text{ mm/s} \times T) + TZ + Z_R + C_{RO}$$

Som gir:

$$S = \left(1600 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \times 0.555 \text{ s}\right) + 65 \text{ mm} + 350 \text{ mm} + 1200 \text{ mm} = 2503 \text{ mm}$$

Det betyr minimumsavstanden  $S$  fra enden av roboten til utkanten av faresona er lik 2503 mm = 2.503 m. Sjå Figur 23.

#### 4.1.4 Visualisering av løysinga



Figur 23: : Løysing med 1 microScan3 sensor og gjerde. Illustrert i KUKA.sim programvara frå KUKA.

Størrelses forholdet på bildet er 1:1. Ramma roboten står på er 1.50 m vid og lang, og 0.45 m høg. Gjerdet er 4.00 m langt og 2.00 m høgt. Her er eit gjerde brukt som illustrering av barrieren. Men det kan også vere ein vegg som roboten står att med.

LiDAR sensoren er illustrert som ein gul sensor, montert 300 mm over bakken på hjørne av ramma, på tvers i forhold til barrieren og skannar 275° om kring roboten. Størrelsen på faresona er 5.50 i radius frå sensoren.

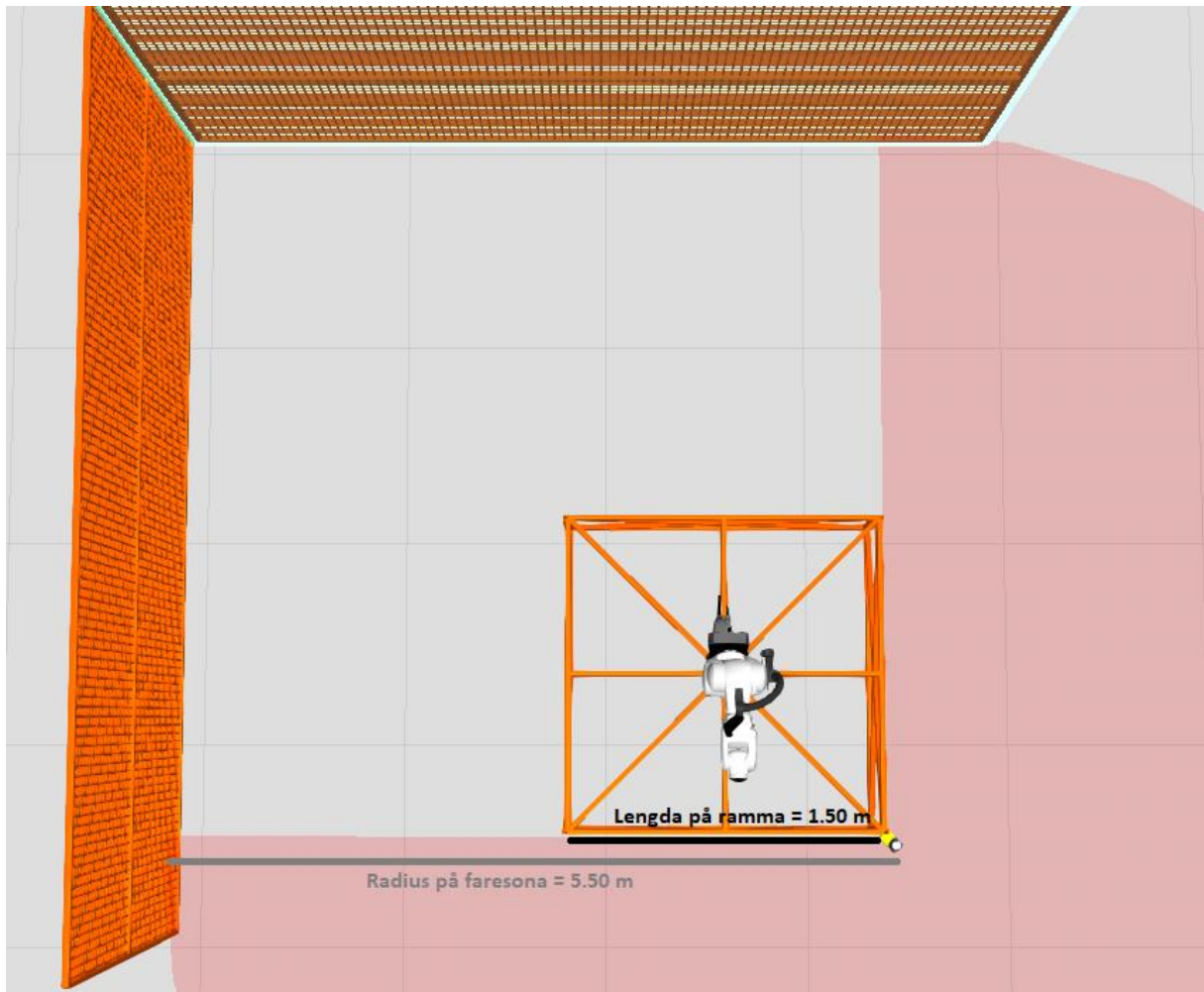
Den kortaste avstanden frå roboten til utkanten på faresona er då faresona minus lengda på ramma. Sjå Figur 24. Det gir:

$$\text{faresona} - \text{lengda på ramma} = 5.50 \text{ m} - 1.50 \text{ m} = 4.00 \text{ m i radius minimum faresone}$$

Hadde eg valt sensoren med ei faresone på 4.00 m ville resultatet blitt:

$$\text{faresona} - \text{lengda på ramma} = 4.00 \text{ m} - 1.50 \text{ m} = 2.50 \text{ m i radius minimum faresone}$$

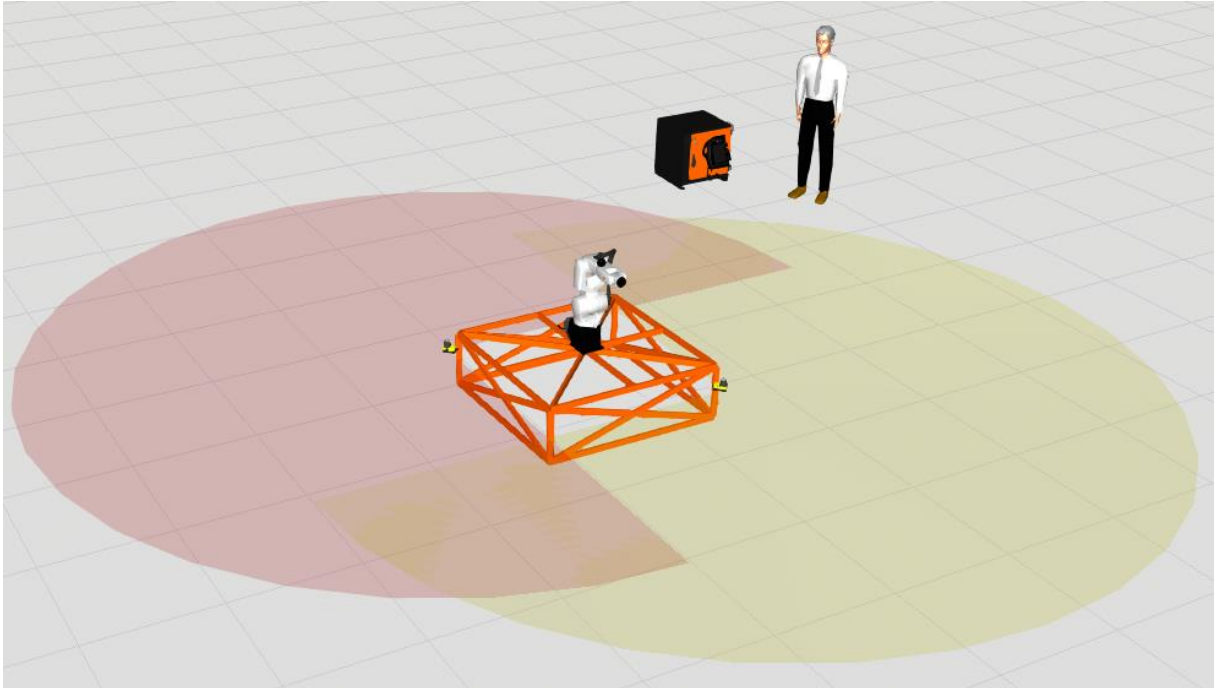
Som er mindre enn minimumsdistansen 2.503 m frå tidlegare. Då må enten modellen med 5.50 m i radius faresone eller med lengre rekkevidde brukast.



Figur 24: Lengda på ramma og faresona. Illustrert i KUKA.sim programvare.

## 4.2 To microScan3 LiDAR sensorar

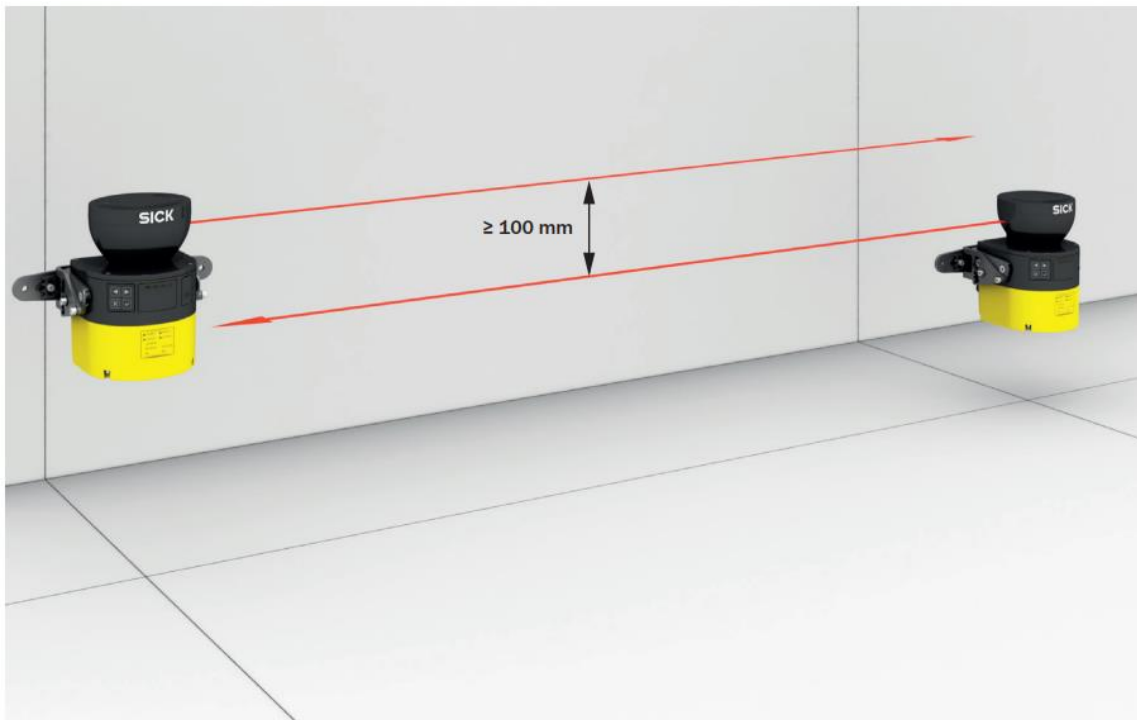
Den andre løysinga er med to microScan3 LiDAR sensorar. Her er løysinga illustrert.



Figur 25: Løysing med to LiDAR-sensorar. Løysinga er illustrert i KUKA.sim programvaren frå KUKA.

Sensorane er montert på kvart sitt hjørne på tvers i forhold til kvarandre.

Her eg kan velje ein av to måtar for å unngå at sensorane forstyrrar kvarandre. Enten velje forseinking  $t_I$  på sensorane, eller montere dei i forskjellig høgder. Sjå Figur 26.



Figur 26: Forskjellig monteringshøgde. Henta frå vedlegg 11, side 196.



Eg vel å bruke ei forseinking  $t_I$ , fordi om eg brukar forskjellig monteringshøgde må eg rekne ut oppløysinga på faresona, som vert strengare krav til om den monterast lågare enn dei anbefalte 300 mm over bakken. Bevis under.

Sei at eg monterer den andre sensoren 200 mm over bakken. Eg brukar formelen:

$$d_r = \frac{H_D}{15} + 50 \text{ mm}$$

Der  $H_D$  er monteringshøgda og får:

$$d_r = \frac{200 \text{ mm}}{15} + 50 \text{ mm} = 63.33 \text{ mm}$$

Maksimum oppløysing  $d_r$  på faresona til LiDAR sensoren montert 200 mm over bakken er 63.33 mm. Då må det rundast ned til nærmaste verdi ut frå Tabell 4 som er 50 mm. Faresona reduserast då til 4.00 m, som nemnt tidlegare ikkje er godt nok, fordi den kortaste avstanden frå roboten og ramma til utkanten av faresona vert mindre enn minimumsavstanden  $S$ .

Det kan argumenterast for at sensoren burde monterast høgare enn 300 mm over bakkenivå for å sleppe å berekne nye verdier for reaksjonstid  $T$  og minimumsavstand  $S$ , men då er det lettare å krype under sona. Sjå Figur 19.

Så eg vel alternativ to. Eg vil ikkje at det skal vere mogleg at sensorane kan påverke kvarandre, så eg vel «Mode 2» i Tabell 6 for den andre sensoren sidan eg valde Mode 1 for den første, og scan cycle time = 40 ms. Det gir ein verdi for  $t_I = 1$ . Samstundes brukast same verdiane frå tidlegare for reaksjonstida  $t_R$  til sensoren og får.

$$t_R = (40 \text{ ms} + 1 \text{ ms}) \times 2 + 35 \text{ ms} = 117 \text{ ms}$$

Så reknast heile systemet sin reaksjonstid  $T$  ut:

$$T = 117 \text{ ms} + 50 \text{ ms} + 390 \text{ ms} = 557 \text{ ms}$$

Gjer om ms til sekund, og får  $557 \text{ ms} = 0.557 \text{ s}$ . Då kan minimumsavstanden  $S$  til faresona reknast ut frå formelen:

$$S = (1600 \text{ mm/s} \times T) + TZ + Z_R + C_{RO}$$

Som gir:

$$S = \left(1600 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \times 0.557 \text{ s}\right) + 65 \text{ mm} + 350 \text{ mm} + 1200 \text{ mm} = 2506.20 \text{ mm}$$

Minimumsavstanden  $S$  til roboten må då vere  $2506.20 \text{ mm} = 2.5062 \text{ m}$ . Og samanliknar med den kortaste avstanden frå utkanten av faresona til roboten som er:

$$\text{faresona} - \text{lengda på ramma} = 5.50 \text{ m} - 1.50 \text{ m} = 4.00 \text{ m i radius faresone}$$

4.00 m i radius stor faresone fra den nærmeste utkanten av sona til roboten er større enn minimumsavstanden på 2.5062 m. Det er godt nok i samsvar med manualen til SICK.

## 5 Diskusjon

### 5.1 Framgangsmåte

I starten av prosjektet henta eg inspirasjon frå andre rapportar og internett. Men eg ønskte innspel frå nokon med kunnskap om robotar, så eg sendte ein e-mail til den norske avdelinga til KUKA. Frode Grimsbø frå KUKA svara og inviterte til eit digitalt møte, der han fortalde om roboten og lærde meg å bruke «Xpert»-portalen på nettsida til KUKA. «Xpert» er eit digitalt verktøy som held all informasjonen om KUKA robotar, utvidingar og ekstra utstyr til dei og er eit veldig nyttig verktøy. Ved seinare anledningar når eg sendte førespurnadar om hjelp til KUKA var det ofte referert til «Xpert». Frode fortalde også at produsenten SICK hadde sensorløysingar som passet til KUKA KR 6 R700-2 roboten.

Etterpå kontakta eg SICK og spurde om dei kunne levere ei løysing til prosjektet mitt. Det kunne dei, og føreslo moglege alternativ. Eg vurderte alternative, laga ei grunngeving der eg argumenterte for kva eg meiner var beste løysinga, og presenterte den for Bengt og Espen på Campus Verftet. Dei valde sensorløysinga dei likte best, og etterpå det kontakta eg SICK igjen og fortalde at vi ønska å kjøpe det valde produktet og ville vite kva det kosta. Men på grunn av dårleg kommunikasjon med seljaren vart det knapt med tid og fokuset vart skifta til å dokumentere den løysinga i staden for.

### 5.2 Utfordringar

Frå starten av prosjektet og fram til slutten har eg støtta på problem som gjorde at prosjektplanane måtte endrast. Den største utfordringa var å kommunisere med leverandøren av løysinga som eg hadde valt. Ofte fekk eg ikkje svar på e-mail, og ringde då i staden. Som regel var dei ledige, men nokre gongar var dei opptatt i eit møte eller bortreist, og eg vart bedd om å ringe opp att seinare. På grunn av det kunne det ta nærmare 2 veker før eg fekk svar på eit spørsmål. Det gjorde at planleggingsfasen vart forskyve framover i tid.

I starten hadde eg lite kunnskap om robotar og sikkerheit til robotar. Eg visste ikkje kor stort temaet var og prioriterte feil i starten av prosjektet. Mykje tid vart brukt til å lese i standardane som forma rammene produsentane og leverandørane følger når dei lagar og dokumenterer varene og produkta sine. Standardane er forma på ein vid måte som omfattar mange typar robotar og løysingar. Ofte starta eg med å lese i ein standard for så å oppdage at den ikkje var så aktuell til mitt formål, eller at den refererte til ein anna standard og kravde at eg las den også for å forstå problemstillinga.

Planen var å lage eit ferdig produkt av den valde løysinga og funksjonsteste det. Men på grunn av den dårlege kommunikasjonen var det vanskeleg å skaffe delar til prosjektet. Etter at eg hadde konkludert med kva løysing eg ønskte, kontakta eg seljaren over telefon og spurde om pris på produkta. Det kunne ikkje personen svare på der og då, så vi avtalte at eg skulle sende ein e-mail med lenke til produkta frå nettbutikken og førespurnad om norske priser. Det gjorde eg, men fekk aldri svar frå seljaren. Til slutt var det for lite tid igjen av prosjektet og eg i lag med rettleiar konkluderte med at rapporten måtte prioriterast.

Samstundes som samtalan med leverandøren haldt på, starta eg roboten for å kontrollere at alt var i orden. Då oppdaga eg at den ikkje kunne køyrast. Årsaka er at roboten vart brukt i eit tidlegare prosjekt og vart programmert til å styrast frå ein ekstern sikkerheits PLS med ein nødstoppbrytar tilkopl. Sikkerheits PLS-en med nødstoppbrytar var demontert frå roboten og fanst ikkje på Verftet

lenger. På grunn av det måtte den planlagde sensorløsninga justerast for at den skulle passe saman med ein sikkerheits PLS.

### 5.3 Moglege forbetringar

Eg har høyrte at det kanskje er mogleg å programmere roboten til å virke utan sikkerheits PLS, men har ikkje noko konkret svar på det så det er berre ein påstand. Då er det enklare å installere ein ny sikkerheits PLS og laste opp programmet frå det tidlegare prosjektet på den. I teorien skal det virke utan mykje problema. Det vil så klart oppstå problem, men moglegvis er det minst arbeid å gjera det på den måten.

Om den valde sensorløsninga monterast på roboten ville eg ha testa reaksjonstida til det ferdige systemet for å kontrollere at det godt nok i samsvar med planlegginga og utrekningane i oppgåva. Roboten er brukt tidlegare, og det kan ha påført mekanisk slitasje på delane. Derfor skal alltid systemet risikovurderast og funksjonstestast før det settast i drift.

Då, dersom roboten funksjonstestast må ramma til roboten kontrollerast. Om det er tydeleg at ramma ikkje er sterkt nok konstruert må den forsterkast. Gir den etter når roboten er i bruk vil det føre til at roboten bevegar seg på ein ikkje tiltenkt måte og moglegvis skape ein farleg situasjon.

Eg ville vurdert andre sensorløsningar dersom SICK ikkje leverer noko produkt. Det skal vere mogleg å lage ei tilsvarande løysing ut frå kunnskapen eg har tileigna meg. Formlane eg har brukt er frå manualane til SICK, og dei er basert på generelle formlar frå ISO 10218-2 og ISO 13855. Med det som utgangspunkt ville eg forma ei alternativ løysing med delar frå ein anna leverandør.

## 6 Konklusjon

Prosjektet var meir utfordrande enn eg fekk inntrykk av når eg først godtok oppgåva. Blant anna oppstod det problem eg ikkje hadde forutsett. Leverandøren av sensorløsninga eg valde svarta ikkje når vi ønskte å kjøpe produktet av dei, og roboten virka ikkje som den stod. Det vart så omfattande at eg ende opp med alt for lita tid til å fullføre prosjektet og måtte endre planane.

Eg fekk moglegheita til å snakke med fleire leverandørar, og lære om produkta og tenestene dei tilbyr. KUKA er den mest nemneverdige. Dei svarde alltid på spørsmåla mine og var samstundes hyggelege.

Det har vært god læring, og spesielt har eg lært mykje om standardane til robotar. Mine beste hjelpemiddel var ISO 10218-2, ISO 1855 og manualen til microScan3 LiDAR sensorar frå SICK. Dei var veldig godt formulert synes eg og er grunnmuren i prosjektet. Eg var til tider frustrert fordi standardane er formulert på ein måte som omfattar mange problemstillingar, men etter kvart klarte eg å tolke teksten og bruka den i praksis så godt det let seg gjere.

Eg kunne gjerne tenkt meg at vi var fleire i gruppa. Det var så mykje potensiale i prosjektet og derfor trur eg fleire hadde fått til endå meir.

Undervegs har eg dokumentert korleis eg ønskjer å montere sensorløsninga og håpar nokon andre viser interesse for roboten hos Campus Verftet. Dersom roboten fullførast ein gong vil eg gjerne sjå den ferdige løysing.

## Referansar

- [1] «Om standarder - Norsk Elektroteknisk Komite (NEK)». <https://www.nek.no/standarder/om-standarder/> (åpnet 18. mai 2023).
- [2] «ISO - International Organization for Standardization». <https://www.iso.org/home.html> (åpnet 15. mai 2023).
- [3] «Homepage | IEC». <https://www.iec.ch/homepage> (åpnet 18. mai 2023).
- [4] «PROFINET - www.profinet.com». <https://www.profinet.com/technology/profinet> (åpnet 19. mai 2023).
- [5] «EtherCAT Technology Group | EtherCAT». <https://www.ethercat.org/en/technology.html> (åpnet 19. mai 2023).
- [6] «SICK USA». <https://www.sick.com/us/en/> (åpnet 18. mai 2023).
- [7] B. A. G. & C. K. Germany Hülshorstweg 20, 33415 Verl, «Company», *Beckhoff Automation*. <https://www.beckhoff.com/nn-no/company/> (åpnet 18. mai 2023).
- [8] «Safety relays | ReLy | SICK». <https://www.sick.com/cz/en/safety-relays/safety-relays/rely/c/g441754> (åpnet 19. mai 2023).
- [9] «XALK178W3B140G - Nødstoppboks med Ø40 mm nødstop og skilt med LED i rødt og hvit farge NO+2NC 24V | Schneider Electric Norge». <https://www.se.com/no/no/product/XALK178W3B140G/n%C3%B8dstoppboks-med-%C3%B840-mm-n%C3%B8dstopp-og-skilt-med-led-i-r%C3%B8d-og-hvit-farge-no+2nc-24v/> (åpnet 22. mai 2023).
- [10] «CX5120 | Embedded PC with Intel Atom® processor | Beckhoff Worldwide». <https://www.beckhoff.com/en-en/products/ipc/embedded-pcs/cx5100-intel-atom/cx5120.html> (åpnet 20. mai 2023).
- [11] «Kuka Robot via EtherNet/IP Slave Adaptor Driver – Red Lion Support». <https://support.redlion.net/hc/en-us/articles/360020873211-Kuka-Robot-via-EtherNet-IP-Slave-Adaptor-Driver> (åpnet 19. mai 2023).
- [12] «Beckhoff Information System - English». <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el72x1-9014/2155898763.html&id=> (åpnet 22. mai 2023).
- [13] «Hva er konsekvensen hvis det skjer?». <https://www.arbeidstilsynet.no/hms/risikovurdering/hva-er-konsekvensen-hvis-det-skjer/> (åpnet 22. mai 2023).

## Appendiks A Forkortingar og ordforklaringar

LiDAR	Ein form for radar som nyttar lys til å sjå omgivnadane.
Lysgardin	Sensorar som danner ein vegg av usynlege infrarøde stråler.
KUKA	Tysk internasjonal produsent av industri-robotar og automatiserte løysingar.
Gantt	Diagram-type namngitt etter Henry Gantt som gjorde det allment kjent.
Bankan	Metode som slekter mot Lean men er meir fleksibel fordi den kan kombinerast med andre metodar.
ClickUp	ClickUp er ein digital sky-basert plattform som lager tenester til prosjekt- og gruppeorganisering.
PLC/PLS	«Programmable Logic Controller». Ein kontrolleining som overvaker input (påverking frå utsida) og styrer output (påverkar interne einingar). Den tar avgjersler ut frå programmet den er utstyrt med
SICK	Global produsent av sensorløysingar til industri.
Sensorløysing	Eit system med sensorar som samlar inn data om omgivnadane, konverterer det til data og vidareformidlar det til roboten.
Firmware	Fastvare til eit program eller datamaskin. Brukt til å oppdatere programvara og legge til fleire funksjonar.
deTec4	Lysgardiner frå SICK. Det er ein type sensorar som sender ut ein vegg av synleg infrarødt lys som registrere bevegelsar i lysteppe.
microScan3	LiDAR sensorar frå SICK. Det er ein roterande pulserande laser som sender ut lysstrålar. Lysstrålane reflekterast av objekt i omgivnadane og sensorane avgjer posisjon og avstand til objektet ut frå det returnerte lyset.
sBot Speed	Sensorløysing frå SICK som implementerer ein eller fleire typar forskjellige sensorar i eit system med overordna maskinvare og programvare.
Sikkerheits PLS	Brukast til å handtere sikkerheitsfunksjonar i automatiserte system. Den er designa med tanke på pålitelegheit.
Nødstoppbrytar	Ein eining som er designa for å stoppe drift av eit system ved nødstilfelle. Den aktiverast ved å trykke inn brytaren.
Motion Control	Bevegelses-kontroll. Kontrollerer bevegelsane til roboten med nøyaktige og koordinerte bevegelsar.
Safety Control	Sikkerheitskontroll. Ein prosess som overvaker og kontrollerer sikkerheitsutstyr.
Robot Control	Robot kontroller. Samlar inn data frå sensorane i roboten og styrer roboten i ein ideell posisjon.
KUKA KR C4 compact	Ein kontrolleining som implementerer fleire einingar i ein. Nemleg «Motion Control», «Safety Control», «Robot Control» og «PLC».
KUKA SmartPAD-2	Kontrollpanel til KUKA robotar. Mogleggjer fjernstyring av robotar.
Fast installasjon	Eit system eller utstyr som er stasjonært, og ikkje kan flyttast.

Ethernet	Den mest vanlege metoden for kommunikasjon mellom einingar i eit datanettverk.
Faresone	Det farlege området om kring roboten. Om sensoren ser bevegelsar i faresona sender den signal til roboten om å stoppe.
KUKA.sim	Eit simuleringsprogram frå KUKA. Det kan simulere bevegelsar til KUKA robotar i eit virtuelt miljø.
KUKA WorkVisual	Programvare frå KUKA. Brukt til å overvake, programmere og diagnostisere KUKA robotar.
Barriere	Fysisk eining som hindrar tilgang til det beskytta området.
Monteringshøgde	Høgda frå bakkenivå til sensoren.
Minimumsdistanse	Minste tillate avstand frå roboten til periferien av faresona.
Avbøying	Deformasjon av objektet på grunn av ein ekstern fysisk påkjenning.
PyCharm	
Diagrams.net	

**Tabell 8: Ordforklaringar.**

## Appendiks B Prosjektleding og styring

### B.1 Prosjektorganisasjon

Eg er prosjektdeltakar hos Campus Verftet og student ved Høgskulen Vestlandet. Som einaste deltakar var eg ansvarleg for alle avgjerslene i prosjektet.

Joar Sande er intern rettleiar i prosjektet. Han er sivilingeniør og undervisar ved Høgskulen på Vestlandet.

Bengt Edvardsen er ekstern rettleiar og tilsett ved Campus Verftet i Førde. Han er min kontaktperson dersom eg treng hjelpemidlar til prosjektet.

Campus Verftet er den overordna bedrifta i prosjektet med Bengt Edvardsen i ryggen, og eg (Jan Eldar) vert den underordna med Joar Sande i ryggen. Her under er oppbygginga illustrert:

Campus Verftet: Oppdragsgivar

Bengt Edvardsen ved Campus Verftet:  
Ekstern rettleiar

Joar Sande ved Høgskulen  
Vestlandet: Intern rettleiar

Jan Eldar Vanberg  snes ved  
Høgskulen Vestlandet  
(student): Prosjektdeltakar.

*Figur 27: Oppbygging av prosjektorganisasjonen.*

Espen Kirketeig er også tilsett på Campus Verftet og kollegaen til Bengt. Eg vil gi han ein spesiell plass i prosjektet, fordi sjølv om han ikkje er ein av mine rettleiarar har han vart veldig hyggeleg og hjelpt meg ved behov.

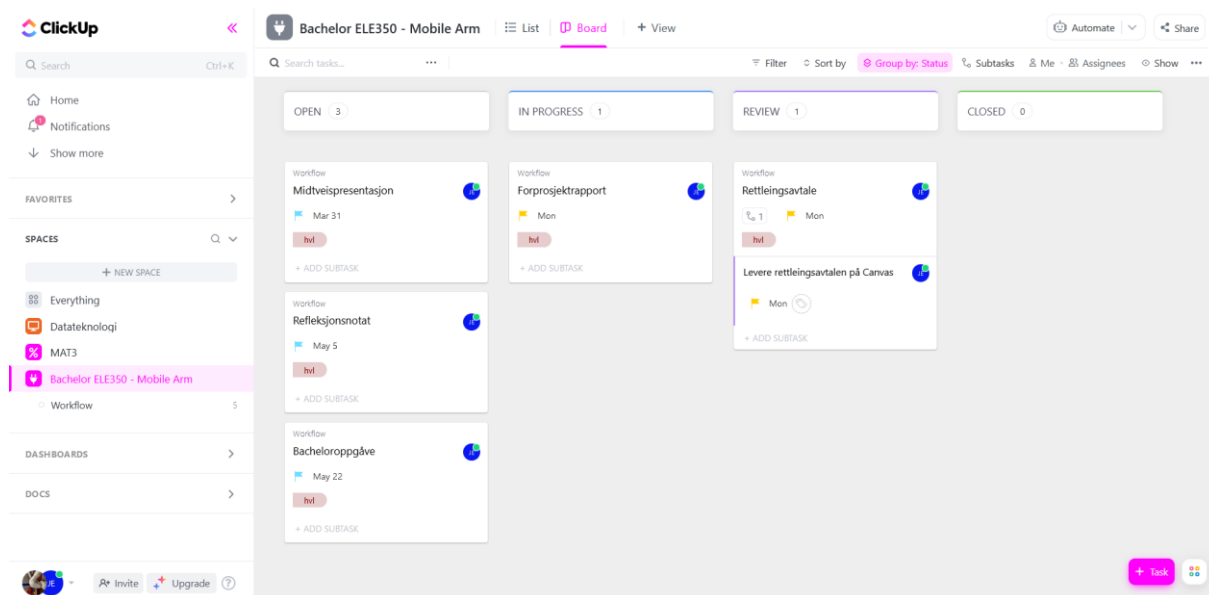
Namn	Posisjon	Tilsett	Tlf.	E-mail
Bengt Edvardsen	Ekstern rettleiar	Campus Verftet	91639205	<a href="mailto:bengt.edvardsen@vlfk.no">bengt.edvardsen@vlfk.no</a>
Joar Sande	Intern rettleiar	HVL	57676314	<a href="mailto:joar.sande@hvl.no">joar.sande@hvl.no</a>
Jan Eldar Vanberg Åsnes	Prosjektdeltakar	Student HVL	41478191	<a href="mailto:Janeldar.vaa@gmail.com">Janeldar.vaa@gmail.com</a>
Espen Kirketeig		Campus Verftet	91639250	<a href="mailto:Espen.kirketeig@vlfk.no">Espen.kirketeig@vlfk.no</a>

*Tabell 9: Kontaktinformasjon.*



## B.2 Arbeidsmetode

«ClickUp» som er ein nettbasert plattform er nytta til å organisere arbeidet. Ut frå eiga erfaring er det eit godt verktøy til loggføring, gruppesamarbeid og organisering av oppgåver og arbeid. I saman med ClickUp er arbeidsmetoden «Kanban» brukt til å organisere arbeidet. Kanban visualiserer arbeidsoppgåvene på eit skrivebord, og liknar på måten ein klistrar Post-it lappar på ei arbeidstavle. Sjå bilde her under:

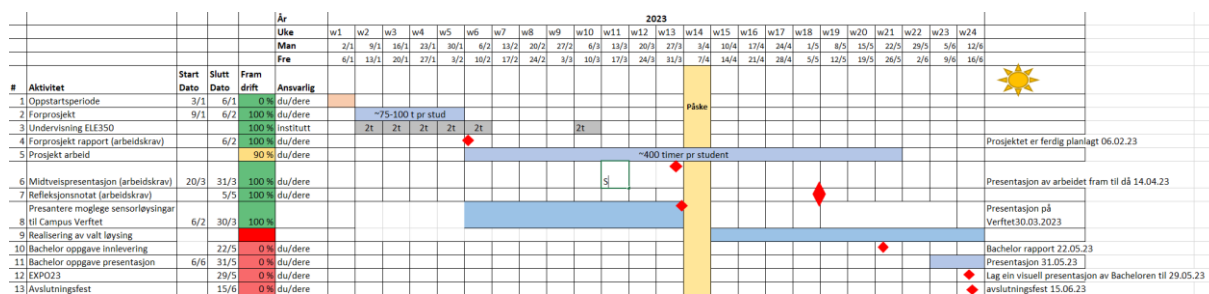


Figur 28: ClickUp med "Kanban Board". Referanse

Arbeidsoppgåvene sorterast i forskjellige kategoriar. Eg har kategorisert oppgåvene i «open», «in progress», «review» og «closed». Høvesvis betyr det at når ei arbeidsoppgåve opprettast kategoriserast den som «open», så når nokon tar jobben flyttast den til kategorien «in progress» som betyr at den er under arbeid, og når oppgåva er ferdig sendast den til kategorien «review» som krev at den kvalitetskjekkast og godkjennast. Til slutt, dersom arbeidet godkjennast sendast arbeidsoppgåva til kategorien «closed» som betyr at den er fullført og avslutta.

## B.3 Framdriftsplan

GANTT diagrammet frå Høgskulen er nytta som mal til framdriftsplan. Sjå Figur 5.



Figur 29: Gantt-diagram. Sjå «Vedlegg 14 – Tidsplan Bachelor-oppgåve 2023».

Diagrammet illustrerer berekna tid til kvar arbeidsoppgåve med horisontale søyler.

## B.4 Risikoliste

Mal til risikodiagram, risikovurdering og handlingsplan er henta frå arbeidstilsynet. Referanse [13].

### RISIKODIAGRAM

Virksomhet/avdeling e.l.:  
Bacheloroppgave - Sikker systemløsning til KUKA KR 6 R700-2 robot  
Ansvarlig leder:  
Jan Eldar Vanberg Åsnes

Skjema 2 av 3.  
1: Kartlegging og risikovurdering  
2: Risikodiagram  
3: Handlingsplan

Plasser farer og problemer i skjemaet basert på vurderingen av hvor ofte de inntreffer og hvor alvorlige de er. Bruk samme nummerering som i skjema for kartlegging og risikovurdering.

		RISIKODIAGRAM			
Sannsynlighet	Svært ofte	4	8	12	16
	Ofte	3	6	9	12
	Sjelden	2	4	6	8
	Svært sjelden	1	2	3	4
		Ubetydelig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig
		Konsekvens			

Malen er utarbeidet av Arbeidstilsynet – september 2017.

Figur 30: Risikodiagram

### KARTLEGGING OG RISIKOVURDERING

Virksomhet/avdeling e.l.:  
Bacheloroppgave - Sikker systemløsning til KUKA KR 6 R700-2 robot  
Ansvarlig leder:  
Jan Eldar Vanberg Åsnes

Skjema 1 av 3.  
1: Kartlegging og risikovurdering  
2: Risikodiagram  
3: Handlingsplan

Bruk dette skjemaet til å dokumentere farer og problemer som er kartlagt. Vurder hvor ofte farene eller problemene inntreffer og konsekvens dersom det skjer. Sett også opp hvem som er ansvarlig for vurderingen og dato for når den ble gjort.

Nr.	Hva kan gå galt?	Beskriv konsekvensen hvis det skjer	Hvor ofte skjer det	Konsekvens	Kommentar	Vurdert av/dato
1	Arbeidsoppgaver går ikke etter planen.	Prosjektet forskyvast fram i tid og andre arbeidsoppgaver må utsettast.	Sjelden	Mindre alvorlig	Planlegg framdrifta	Jan Eldar Åsnes/ 10.02.23
2	Datamaskinen sviktar.	Tap av arbeid og dokumentasjon	Svært sjelden	Ubetydelig	Lagre arbeidet og dokumentasjon på fleire einingar. Lagre det i skya.	Jan Eldar Åsnes/ 10.02.23
3	Manglande kommunikasjon.	Spør ikkje om eit problem oppstår, eller seier ifrå når enn treng verktøy eller materiale.	Svært sjelden	Mindre alvorlig	Snakk med rettleiar dersom enn har spørsmål eller problemer.	Jan Eldar Åsnes/ 10.02.23
4	Problemar med leverandøren.	Dersom leverandøren ikkje svarer på spørsmål eller førespurnadard kan det påvirke prosjektplanane og arbeidsoppgaver må forskyvast i tid.	Sjelden	Mindre alvorlig	Det vart sagt at leverandøren av sensorløysinga var trege med å svare på spørsmål.	Jan Eldar Åsnes/ 10.02.23
			Klikk for å velge	Klikk for å velge		
			Klikk for å velge	Klikk for å velge		
			Klikk for å velge	Klikk for å velge		
			Klikk for å velge	Klikk for å velge		

Figur 31: Risikovurdering

**HANDLINGSPLAN**

Virksomhet/avdeling e.l.:  
 Bacheloroppgave - Sikker systemløsning til KUKA KR 6 R700-2 robot  
 Ansvarlig leder:  
 Jan Eldar Vanberg Åsnes

Skjema 3 av 3.  
 1: Kartlegging og risikovurdering  
 2: Risikodiagram  
 3: **Handlingsplan**

Dokumenter tiltak for å redusere risikoen. Bruk samme nummerering som i skjema for kartlegging og risikovurdering og risikodiagrammet. Farer eller problemer som inntreffer ofte/svært ofte med en alvorlig/svært alvorlig konsekvens må prioriteres først.

Nr.	Kort beskrivelse av faren/problemet	Prioritering	Tiltak for å redusere risikoen	Ansvarlig(e)	Tidsfrist
1	Arbeidsoppgåver går ikkje etter planen.	4	Planlegg arbeidsoppgåver ein måned fram i tid. Hald regelmessige møter med rettleiar. Snakk om framdrifta og diskuter kva som kan gjerast betre.	Jan Eldar Vanberg Åsnes	22.05.23
2	Datamaskinen sviktar.	1	Lagre fleire kopiar av ei feil, og lagre alle filene i ei sky-tjeneste.	Jan Eldar Vanberg Åsnes	22.05.23
3	Manglande kommunikasjon.	2	Snakk med arbeidsgivar regelmessig. Sjølv om det berre er småprat. Få fram problemstillingane.	Jan Eldar Vanberg Åsnes	22.05.23
4	Problemar med leverandøren.	4	Ta kontakt med leverandøren så tidleg som råd. Ikkje vent for lenge med å ta kontakt dersom dei ikkje svarer. Bruk alternative kommunikasjonsmetodar.	Jan Eldar Vanberg Åsnes	22.05.23

**Figur 32: Handlingsplan.**

## **Appendiks C Vedlegg**

Vedlegg 1 - KUKA: Robots - KR AGILUS-2 - Assembly instructions

Vedlegg 2 - SICK: deTec product information

Vedlegg 3 - SICK: Product information safe robotics area protection

Vedlegg 4 - SICK: microScan3 product information

Vedlegg 5 - SICK: Safety beyond limits

Vedlegg 6 - SICK: SYS/BOT - Safe robotics area protection

Vedlegg 7 - SICK: Safe robotics area protection - open access for safe productivity

Vedlegg 8 - KUKA: Order Confirmation

Vedlegg 9 - SICK: deTec

Vedlegg 10 - SICK: microScan3 – Profinet operating instructions

Vedlegg 11 - SICK: microScan 3 – EtherCAT operating instructions

Vedlegg 12 - SICK: sBot Speed – Safety system

Vedlegg 13 - SICK: Mailutveksling med SICK.

Vedlegg 14 - Framdriftsplan Bachelor-oppgåve 2023

Vedlegg 15 - Tillating til å bruke illustrasjoner fra KUKA.

Vedlegg 16 - Utgifter bachelor

Vedlegg 17 - KUKA WorkVisual manual

Vedlegg 18 – Risikodiagram

Vedlegg 19 – Risikovurdering

Vedlegg 20 – Handlingsplan

Vedlegg 21 – Timeliste

Vedlegg 22 – Møtereferat 1

Vedlegg 23 – Møteinnkalling 1

Vedlegg 24 – Møtereferat 2

Vedlegg 25 – Møteinnkalling 2

Vedlegg 26 – Møtereferat 3

Vedlegg 27 – Møteinnkalling 3

Vedlegg 28 – Møtereferat 4

Vedlegg 29 – Møteinnkalling 4