

Fagskolen i Viken

Avd. Kongsberg
Elektrofag

Hovedprosjektrapport gruppe E16N:

Automatiske diagonalmål av billets

Oppdragsgiver:



Prosjektgruppen:



Utarbeidet av:
Christer Bonsaksen
Georg Villmones
Thomas C. Fearnley

Klasse: FEIDN4
Antall sider: 44
Vedlegg: 9 stk (A-I)
Innlevert dato: 30.04.2024



Emneord: vision system, automatisering, kvalitetskontroll, diagonalmåling, teknologisk løsning, kvalitetssikring, optimalisering, bildebehandling, nøyaktighet, prosesskontroll, kostnadsbesparelser og effektivisering

Sammendrag

Prosjektet har levert et vision system som tar diagonalmålinger av billets med mål om å redusere feil og øke kvalitet. Vision systemet reduserer behovet for manuelle målinger som blir utført for hånd og har en risiko tilknyttet til seg ved at det er materialer med høy temperatur.

Prinsippene og teknikkene innen maskinsyn har blitt anvendt som vår primære metode for å løse problemet. Maskinsyn, et felt innen kunstig intelligens og datavitenskap, omhandler utviklingen av datasystemer som kan analysere og forstå visuell informasjon fra digitale bilder eller videoer. Vår løsning innebærer implementering av et vision system fra Keyence, basert på kamera. Dette er valgt på grunnlag av systemets evne til å nøyaktig og pålitelig måle diagonaler på billets i sanntid og i henhold til spesifikasjonene gitt av oppdragsgiver Celsa Armeringsstål.

Rapporten beskriver prosessen fra hvordan man kan selvstendig gjøre gode beregninger for hvilke komponenter man må ha, teorien som systemet er basert på, til hvordan systemet installeres, konfigureres og kjøres i gang.

Samlet sett har prosjektet resultert i et effektivt og pålitelig system for måling av diagonaler på billetsene hos Celsa Armeringsstål. Ved å kombinere teknologivalg, montasje og testing har prosjektgruppen levert en løsning som oppfyller bestillingen fra oppdragsgiver.

Forord

Det er med glede vi presenterer denne rapporten om implementeringen av et vision system for måling av diagonalene på billets i stålindustrien. Rapporten er et resultat av et samarbeid mellom studenter ved Fagskolen i Viken avd. Kongsberg, Eltech Solutions og oppdragsgiver Celsa Armeringsstål der målet har vært å forbedre kvalitetskontrollprosessen, øke prosesskontrollen og redusere person risiko.

Rapporten er skrevet i forbindelse med hovedprosjektet ved Fagskolen i Viken avd. Kongsberg, og er den siste oppgaven for studentene ved emnet Industriell Digitalisering. Rapporten er utarbeidet av en prosjektgruppe bestående tre studenter ved dette emnet.

Vi ønsker å takke Celsa Armeringsstål for deres samarbeid og støtte gjennom prosjektets gang. Deres engasjement og bidrag har vært avgjørende for å gjennomføre dette prosjektet på en vellykket måte.

Prosjektgruppen har arbeidet dedikert med å identifisere utfordringer knyttet til kvalitetskontroll av diagonal mål på billets og å utvikle en løsning som møter disse utfordringene på en effektiv måte. Ved å anvende teoretiske prinsipper innen bildebehandling, optikk og elektroteknikk, har vi prosjektert og implementert et system som oppfyller Celsa Armeringsstål sitt krav til nøyaktighet, pålitelighet og fleksibilitet.

Vi håper at vårt arbeid vil bidra til å forbedre kvalitetskontrollprosessen hos Celsa Armeringsstål og at vår løsning vil være til nytte for selskapet i fremtiden.

Vi vil takke våre veiledere og lærere ved Fagskolen i Viken avd. Kongsberg for deres støtte, veiledning og faglige innsikt gjennom hele prosjektet. Vi vil også takke for tiden som studenter ved fagskolen, der vi vil utrette en stor takk for det inkluderende og støttende miljøet som skolen har skapt, og for alle mulighetene vi har fått til å utforske våre interesser og utvikle våre ferdigheter.

Vi håper at leseren av rapporten vil bli inspirert til å lære mer rundt temaet industriell digitalisering og kvalitetskontroll.

Med vennlig hilsen prosjektgruppen,

Christer Bonsaksen, Georg Villmones og Thomas C. Fearnley

Christer Bonsaksen, Georg Villmones og Thomas C. Fearnley

Harstad, Mosjøen og Mo i Rana

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	2
Forord.....	3
Lister	7
Akronymer og forkortelser	8
Del 1: Produktet	9
1.1. Innledning	9
1.1.1. Tema, bakgrunn og målsetning for oppgaven	9
1.1.2. Problemstilling.....	10
1.1.3. Leveransebeskrivelse	10
1.2. Teori og faglig forankring	12
1.2.1. Optikk og kamerateknologi	12
1.2.2. Bildebehandling.....	14
1.2.3. Bruk av digital teknologi til produksjon.....	15
1.2.4 Måleteknikk	15
1.3. Fremgangsmåte/metode	16
1.3.1 Anskaffelse av utstyr.....	16
1.3.2 Installasjon av utstyr.....	16
1.3.3 Konfigurering av systemkomponenter	19
1.3.4 Tilpasning og kalibrering.....	19
1.4. Resultat	24
1.4.1 Systembeskrivelse	24
1.4.2 Systemfunksjonalitet	24
1.4.3 Teknologivalg.....	25
1.4.4 Konfigurering og kalibrering.....	25
1.4.5 Timing	25
1.4.6 Tilpasning.....	25

1.4.7	Effektivitet og brukervennlighet.....	26
1.5.	Drøfting.....	26
1.5.1	Teknologivalg.....	26
1.5.2	Kontrast og lyssetting.....	27
1.5.3	Samspill.....	27
1.5.4	Optikk og kamera.....	28
1.6.	Konklusjon.....	28
1.6.1	Oppsummering.....	28
1.6.2	Kvalitet og pålitelighet.....	28
1.6.3	Nøyaktighet.....	29
1.6.4	Veien videre.....	29
Del 2:	Proessen.....	30
2.1	Referat fra arbeidet.....	30
2.1.1	Innledning – September 2023.....	30
2.1.2	Teknisk løsning og prosjektering del 1 – oktober til november 2023.....	30
2.1.3	Anskaffelse av utstyr og tjenester – desember 2023.....	30
2.1.4	Prosjektering del 2 samt installasjon – januar til februar 2024.....	31
2.1.5	Idriftsettelse og dokumentasjon – mars 2024.....	31
2.1.6	Sluttrapport og overlevering – april til og med mai 2024.....	31
2.2	Planlegging.....	32
2.2.1	Tidsbruk.....	32
2.2.2	Arbeidsfordeling og oppgaveløsning.....	33
2.2.3	Gruppedelse.....	34
	Prosjektledelse og Teamarbeid:.....	35
2.3	Kommunikasjon.....	36
2.3.1	Kommunikasjon i prosjektgruppen.....	36
2.3.2	Kommunikasjon mot oppdragsgiver.....	36
2.3.3	Kommunikasjon mot skolen.....	36

2.3.4	Kommunikasjon mot leverandører.....	37
2.4	Ressurser.....	37
2.4.1	Faglige ressurser.....	37
2.4.2	Økonomiske ressurser.....	37
2.4.3	Ressurser intern i prosjektgruppen.....	38
2.4.4	Ressurser hos oppdragsgiver.....	38
2.4.5	Ressurser hos leverandør.....	38
2.5	Verktøy og praksis.....	39
2.5.1	Praksis for å jobbe.....	39
2.5.2	Testing og kvalitetsjekking av vision systemet.....	40
2.5.3	Har vision systemet fungert som tiltenkt?.....	41
2.5.4	Digitale verktøy.....	42
2.5.5	Håndverktøy.....	42
2.6	Læringsutbytte.....	42
2.7	Konklusjon.....	44
	Referanser.....	45

Vedlegg A – Kravspesifikasjon fra oppdragsgiver

Vedlegg B – Dataark kamera

Vedlegg C – Koblings skjema

Vedlegg D – Produksjonstegninger

Vedlegg E – Verifisering av måling

Vedlegg F – Rapport installasjonstur februar 2024

Vedlegg G – Gantt skjema

Vedlegg H – Overleveringsprotokoll

Vedlegg I – Konseptmatrise

Lister

Figur liste:

Figur 1 – Linsediagram for å velge linsetype - (Keyence, 2022b, s. 43).....	14
Figur 2 – Dataflyskjema	17
Figur 3 – Prosjektfaser.....	33
Figur 4 – Prosjekt organisering.....	34

Tabell liste:

Tabell 1 – Ordliste.....	8
Tabell 2 – Akronymer og forkortelser	8
Tabell 3 - Kameraberegninger	13
Tabell 4 – Komponentliste.....	16
Tabell 5 – Resultat av verifikasjonsmålinger	40

Bildeliste:

Bilde 1 – Bilde av en billets på 160x160mm. Krysset viser hvilke diagonaler som skal måles.....	11
Bilde 2 – Skapoversikt.....	17
Bilde 3 – Kamera, lys, kamerastativ og triggerlaser	18
Bilde 4 – Innstillinger lyskontroller.....	19
Bilde 5 – Two-Lines-Intersection funksjon	20
Bilde 6 – Points-Distance funksjon	21
Bilde 7 – Beregning mellomregning	22
Bilde 8 – Endelig resultat.....	22
Bilde 9 – Operatør HMI	23

Ordliste:

Ordliste	Forklaring
Billets	Et stålemne som er 9 meter lang og 160x160mm i bredde og høyde
Charge	Cirka 84 tonn stål
Ignition	En type SCADA system
Oracle	Database
Profinet	Kommunikasjonsprotokoll for kontrollsystemer
Skjegg	Rester fra kutting som legger seg rundt ytterkantene av billet

Tabell 1 – Ordliste

Akronymer og forkortelser

Akronym og forkortelse	Fulltekst
HMI	Human-Machine Interface
PLS	Programmerbar Logisk Styring
FoV	Field-of-View (Synsfeltet til et kamera. Forteller hvor stort synsfelt i mm kameraet klarer å ta bilde av)
WD	Working distance
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

Tabell 2 – Akronymer og forkortelser

Del 1- Produktet

Del 1: Produktet

1.1. Innledning

1.1.1. Tema, bakgrunn og målsetning for oppgaven

Tema:

Prosjektets tema er implementering av et automatisert vision system for måling av diagonalene på billets i industrikontekst. Behovet bak dette arbeidet er å forbedre kvalitetskontrollprosessen og effektivisere produksjonen ved å erstatte manuelle måleprosesser med en mer pålitelig, nøyaktig og mer kvantitativ teknologisk løsning. Prosjektet vil redusere feilmarginer, sikre at billettene oppfyller kundekrav og samtidig minimere tiden operatørene blir eksponert for strålevarme knyttet til manuell måling, og kostnader knyttet til billets som er utenfor spesifikasjonene, men slipper igjennom kvalitetskontrollen. I samarbeid med oppdragsgiver Celsa Armeringsstål og leverandør Eltech Solutions er det blitt tilpasset et vision system for å oppnå best mulig nøyaktighet og pålitelighet, med forventning om å forbedre kvalitetskontrollen i billettproduksjonen.

Bakgrunn:

Celsa Armeringsstål har lenge sett etter en løsning som har kunnet automatisere måling av diagonalene på billets for å kunne øke internkontrollen, minske personrisiko ved manuell måling av billets, og på sikt utvikle trendanalyser for diagonalene slik at dette kan være med på å kontinuerlig forbedre prosessen. Problemstillingen i kapittel 1.1.2 er hentet fra forprosjekt rapporten som ble levert i november 2023 (Bonsaksen et al., 2023, s. 4)

Målsetning:

- Redusere person risiko ved manuelle målinger
- Implementere et pålitelig og effektivt system for automatisk måling av diagonalmålene til billets
- Redusere feil og øke kvalitetskontrollen ved Celsa Armeringsstål
- Øke antallet diagonalmålinger som blir gjort

1.1.2. Problemstilling

Hvordan kan et pålitelig og effektivt system designes og implementeres for automatisk å måle diagonalmålene til billets i Celsa Armeringsstål, med sikte på å redusere feil på billets og øke kvalitetskontrollen?

Avgrensning av problemstillingen:

Prosjektgruppen har identifisert behovet for å avgrense problemstillingen for å sikre at prosjektet ble fullført innenfor de avtalte tidsrammene. Prosjektets hovedmål er:

1. Å identifisere og implementere en robust og pålitelig løsning basert på vision for måling av diagonalene på billets
2. Å sikre tilfredsstillende kvalitet og nøyaktighet av målingene

Prosjektgruppen har besluttet å prioritere prosjektmål nummer 1 i dette prosjektet. Å forbedre, utover kravspesifikasjon, kvaliteten og nøyaktigheten av målingene vil kreve omfattende tilstedeværelse og datainnsamling over tid, noe som ikke er forenlig med prosjektets avgrensede tid til gjennomføring. Imidlertid vil prosjektet vurdere å forbedre kvaliteten og nøyaktigheten av målingene etter at systemet er implementert og overlevert til oppdragsgiver.

For ytterligere å avgrense problemstillingen, vil prosjektet definere hva "å identifisere og implementere en robust og pålitelig løsning basert på vision for måling av diagonalene på billets" innebærer. Prosjektet skal:

- Identifisere og evaluere eksisterende vision systemer på markedet
- Velge det mest hensiktsmessige systemet i henhold til oppdragsgivers kravspesifikasjoner
- Installere og konfigurere det valgte systemet for å kunne utføre automatiske diagonalmålinger på billets

Ved å avgrense problemstillingen og fokusere på implementeringen av et vision system for automatiske diagonalmålinger, forventer prosjektgruppen å oppnå målene innenfor de angitte tidsrammene og har levere en løsning som vil bidra til å forbedre kvalitetskontrollen ved Celsa Armeringsstål.

1.1.3. Leveransebeskrivelse

For å realisere målene i prosjektet og oppfylle kravene fra kravspesifikasjonen, som kan leses i sin helhet i vedlegg A, er det nødvendig å sikre at det blir tatt i bruk rett teknologi som når opp til

kravspesifikasjonene. Under beskrives det som er essensielle komponenter for å kunne implementere et automatisert vision system for å kunne utføre diagonalmåling av billets.

Som Bilde 1 – Bilde av en billets på 160x160mm. Krysset viser hvilke diagonaler som skal måles. viser måles diagonalmålet som en hypotenus fra øvre høyre hjørne mot nedre venstre hjørne på den ene siden samt motsatt på den andre siden, altså øvre venstre hjørne til nedre høyre hjørne. Målingen gjøres på kappenden av billets som illustrert med krysset.



Bilde 1 – Bilde av en billets på 160x160mm. Krysset viser hvilke diagonaler som skal måles.

Vision kamera:

Dette omfatter kamera, linse og belysning, som er avgjørende for å ta bilder av tilstrekkelig kvalitet. Kameraet og linsen må ha tilstrekkelig oppløsning og kontrastforhold for å sikre klare og detaljerte bilder av billetsene. Riktig belysning er essensiell for å oppnå best mulig bildekvalitet, sikre tilstrekkelig kontrast og unngå skygger som kan påvirke nøyaktigheten av målingene.

Triggere mekanisme:

En triggermekanisme basert på en laser avstandssensor, denne er nødvendig for å aktivere kamerakontrolleren nøyaktig når billetsen er på rett plassering. Dette sikrer at bildet blir tatt på riktig tidspunkt, slik at nøyaktige målinger kan gjøres

Kontroller og programvare:

Vision kontrolleren og tilhørende programvare er ansvarlig for behandlingen av bildene som er tatt av kameraet. Programvaren beregner diagonalmålinger basert på bildedataene og gir et nøyaktig resultat. Denne delen av systemet muliggjør også tilkobling av eksterne triggere og lys, og sørger for at måleprosessen kan utføres automatisk og pålitelig.

Infrastruktur:

Dette inkluderer elektrisk, mekanisk og nettverksinfrastruktur som er nødvendig for å integrere og støtte de forskjellige komponentene i systemet. Elektrisk infrastruktur sørger for strømforsyning til alle komponenter og dataoverføring. Mens mekanisk infrastruktur slik som: kamerastativ, kamerahus og lysfeste, gir en stabil plattform for utstyret og sikrer riktig posisjonering og justering.

Nettverksinfrastrukturen fra kamerakontrolleren muliggjør kommunikasjon mellom vision systemet og Celsa Armeringsstål sine egne systemer over Profinet. Dette er for å kunne dele data fra vision systemet og til deres egne databaser og HMI.

1.2. Teori og faglig forankring

I den følgende delen av rapporten vil det teoretiske grunnlaget som har vært benyttet av gruppen i arbeidet med å finne en løsning på oppdraget knyttet til måling av diagonaler bli presentert.

Tilnærmingen til oppdraget har involvert sammenligning av leverandører og anvendelse av ulike teoretiske konsepter, verktøy og prinsipper.

1.2.1. Optikk og kamerateknologi

En grundig forståelse av optiske prinsipper og kamerateknologi var avgjørende for å velge det mest hensiktsmessige kameraet og konfigurasjonen for vision systemet. Dette omfatter en rekke faktorer som oppløsning, deteksjonsevne og dimensjonsevne, som alle spiller en viktig rolle i å sikre nøyaktig bildeopptak og analyse.

Kamera:

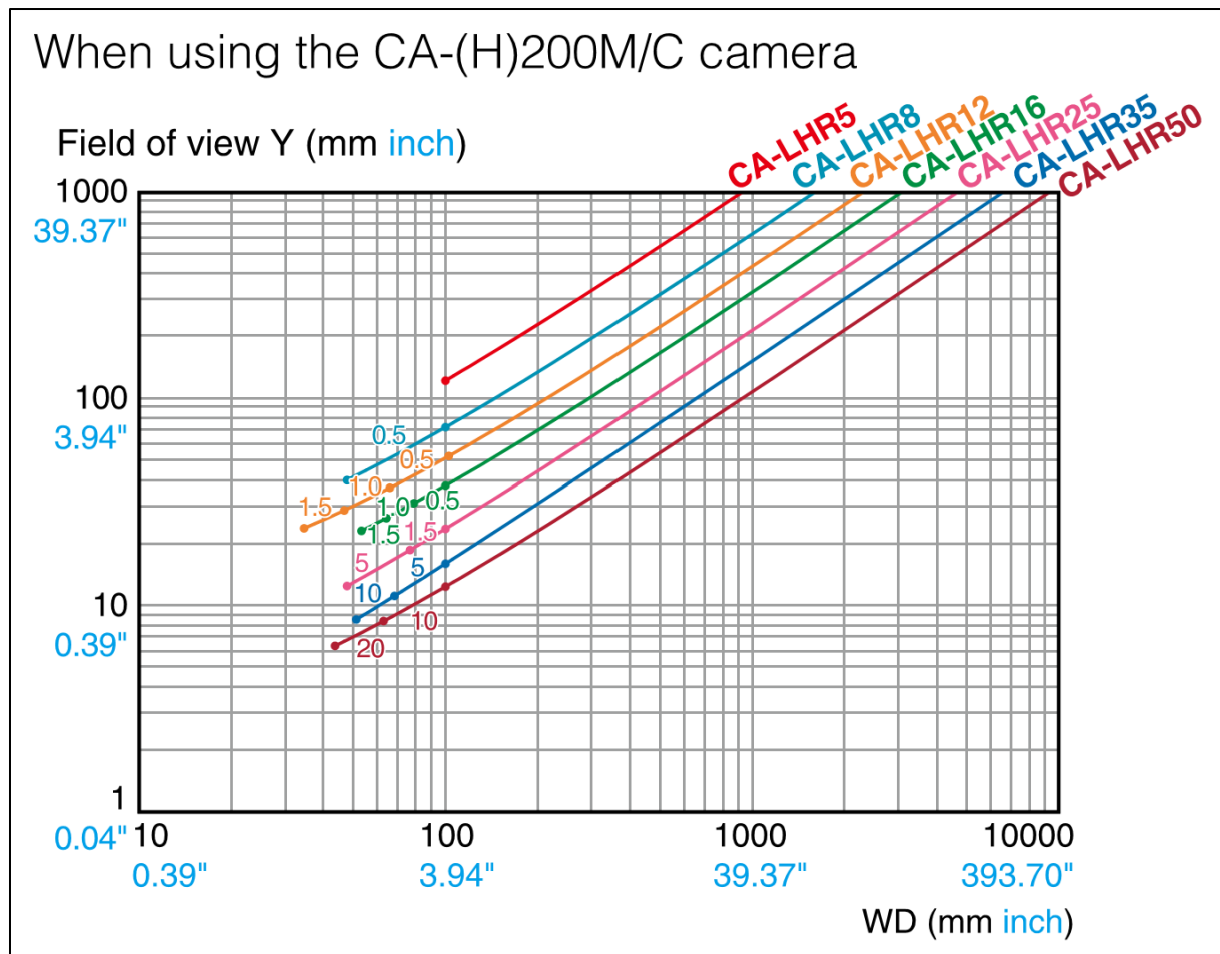
Ved å velge et kamera med en oppløsning på 2 megapiksler, har vi sikret tilstrekkelig detaljrikdom i bildene for å muliggjøre presis identifikasjon og måling av diagonalene på billetsene. Denne oppløsningen er valgt på bakgrunn av beregningen gjort i Tabell 3 - Kameraberegninger. Teorien bak utregningene er hentet fra tekniske notater fra leverandør av vision systemet (Keyence, 2024a, 2024b)

KATEGORI	HVA	TALL	ENHET	MERKNAD	FORKLARING
Piksel oppløsning	Valgt kamera MP	2	MP		
	Antall piksler i Y	1200	piksler		Se vedlegg B for oppgitte piksler i Y
	Field of View	260	mm		Hvor stort område i mm (x og y) som skal være målbart med kameraet
	Piksel oppløsning (Po)	0,217	mm/piksel	$\frac{FoV}{Y} = Po$	
Deteksjon	Minimum piksel deteksjonsevne	4	piksler	Bransjestandard er å bruke 4 piksler i beregningene	Hvor mange piksler som minimum trengs før å kunne behandles i programvaren
	Deteksjonsevne (DetE)	0,867	mm area	$Po \cdot 4 = DetE$	Piksel oppløsning * min. piksel deteksjonsevne
Dimensjon	Dimensjonstoleranse	5	piksler	Bransjestandarden er å bruke 5 piksler i beregningene	Toleransen på hvor mange piksler avvik det kan være
	Dimensjonsevne (DimE)	1,083	mm	$Po \cdot 5 = DimE$	Hvor nøyaktig systemet kan fastslå dimensjon på det som tas bilde av

Tabell 3 - Kameraberegninger

Linse:

Valg av linse som passer til kamera og FoV ble forankret gjennom linsediagram fra leverandør, som sikrer at linse og kamera er kompatible. Et FoV på 260mm og en WD på 1800mm ser man at ut ifra krysningspunktet i linsediagrammet som vist i Figur 1 – Linsediagram for å velge linsetype - hvilken linse som er kompatibelt med vårt kamera. Dette sikrer at kamera og linse kan fange hele området av interesse med tilstrekkelig oppløsning og detaljnivå. Ved å optimalisere linse valget, kan man oppnå ønsket nivå av dekning og nøyaktighet i bildeopptaket.



Figur 1 – Linsediagram for å velge linsetype - (Keyence, 2022b, s. 43)

1.2.2. Bildebehandling

For å oppnå måling av diagonaler må man kjenne til prinsippene for bildebehandling. Dette omfatter å forstå grunnleggende teori, men også å anvende metoder for å optimalisere bildekvaliteten og nøyaktig detektere kantene.

Bildeforbedring har vært en viktig del av prosessen. Dette innebærer teknikker for å redusere støy, forbedre kontrast og skarphet, samt korrigere for eventuelle forvrengninger som kan påvirke nøyaktigheten til målingene. Ved å bruke bildeforbedringsverktøy sikrer man at de innsamlede bildene er av riktig kvalitet og egnet for målinger. Det er brukt faglig forankring fra leverandør Keyence, som har egne manualer for hvordan man kan bruke forskjellige verktøy for å forbedre bildekvaliteten (Keyence, 2012, ss. 12-15).

Kantdeteksjon har også vært avgjørende for å identifisere og lokalisere diagonalene på billetsene nøyaktig. Ved å anvende innebygde programvareverktøy for kantdeteksjon kan man skille

diagonalene fra bakgrunnen og andre detaljer i bildene. Dette har gjort det mulig å ekstrahere de nødvendige målingene (Keyence, 2022a, ss. 2-159 - 2-167)

Riktig tilnærming til bildebehandlingsteknikker bidrar til å sikre at det oppnås resultater i målingen av diagonaler på billetsene. Ved å kombinere bildeforbedring og kantdeteksjon skapes det en bildeanalyse som oppfyller kravene som er nødvendige for formålet.

1.2.3. Bruk av digital teknologi til produksjon

For å kunne designe og produsere kamerastativet og låvedør til lysbar, er det brukt kunnskap og ferdigheter oppnådd gjennom læringsutbyttene fra emnet Agil produksjon som faglig forankring. I disse læringsutbyttene er kunnskapen om 3D modellering og anvendelsen i industrien (Fagskolen i Viken, 2024a) sentral i arbeidet for å produsere kamerastativ og låvedør. Skisser i 3D ble først modellert i Autodesk Inventor før de ble omgjort til 2D tekniske tegninger som underlag til produksjonen.

1.2.4 Måleteknikk

Gruppen har valgt å inkludere en laser lengdemåler som en del av vision systemet for å trigge billedtaking og lysblits som er starten på en diagonalberegning. Laser lengdemåleren fungerer som en sensor og bidrar til å gi beskjed til vision systemet når vision kontrolleren skal aktivere kamera og lys for billedtaking. Her er det brukt ferdigheter og kunnskap fra emnet elektriske systemer som faglig forankring for å velge laser lengdemåler. Læringsutbyttet hvor man har kunnskap om elektrisk og industriell måleteknikk (Fagskolen i Viken, 2024b) er sentral i valg av sensor, hvor det måtte gjøres vurdering på hvilket måleprinsipp som ville fungere til formålet. Laser ble valgt for å kunne sikre stabil måling samtidig som det har en god rekkevidde. Valg av lasersensoren forankres dermed gjennom elektrisk kunnskap kombinert med praktisk måleteknikk.

1.3. Fremgangsmåte/metode

1.3.1 Anskaffelse av utstyr

Nødvendig utstyr ble bestilt fra Eltech Solutions i Sverige som er distributør av Keyence vision system. Systemet består av følgende komponentene vist i Tabell 4 – Komponentliste:

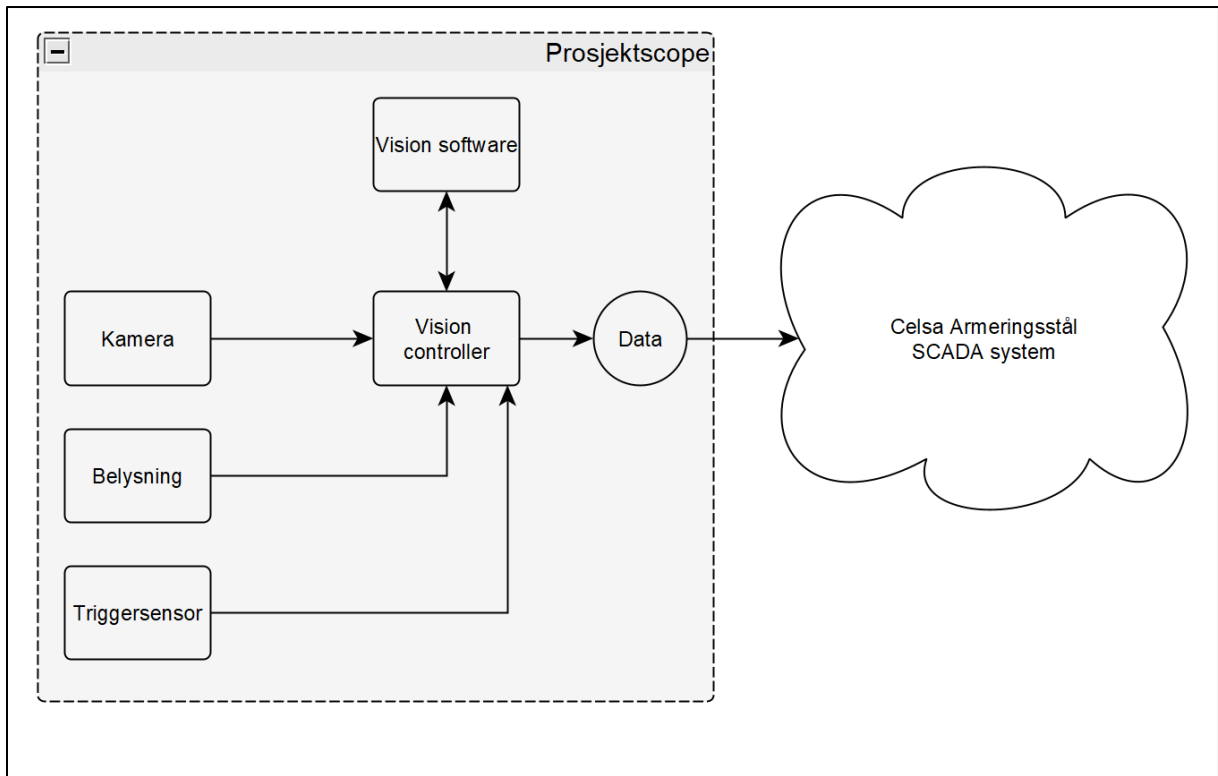
Pos	Artikkel#	Antall	Beskrivelse	Leverandør
1	CV-X320F Kit1	1	CV-X320F, Vision Controller, 2Mpix support, 2 Camera input, Full Tool set	Eltech Solutions
		1	CA-H200M, Camera, 1/1.8", C mount, 1600x1200 / 1024x960, Monochrome, x16 (11.8ms), IP64	Eltech Solutions
		1	CA-CH5, Camera Cable 5m, High Speed, Straight	Eltech Solutions
2	CA-DC40E	1	LED illumination Controller, DIN, 2 channel, 2-pin, 12V/24V, (CV-X300/400)	Eltech Solutions
3	TCL 3520 5MP	1	Lens 35mm, 2/3", C-Mount, F2-F16	Eltech Solutions
4	HLDL3-450X28SW-DF-N	1	LED Light Bar, White, 470x44x30mm, Narrow type, 24V	Eltech Solutions
5	FCB-5	3	LED Cable 3-Pin, 5m	Eltech Solutions
6	MVEC267-XL	1	Camera Housing XL	Eltech Solutions
7	CA-CH10X	1	Camera Cable 10m, High Speed	Eltech Solutions
8	CA-CHX10U	1	Amplifier for Extension Cables, High Speed Camera	Eltech Solutions
9	CA-U4	1	Power supply 85 to 264VAC to 24VDC, 6.5A, Display	Eltech Solutions
10	Ifm O1D100	1	Lengdelasermåler	Celsa Armeringsstål
11	Kamerastativ	1	Produsert i henhold til vedlagt tegning:	Exactomatic

Tabell 4 – Komponentliste

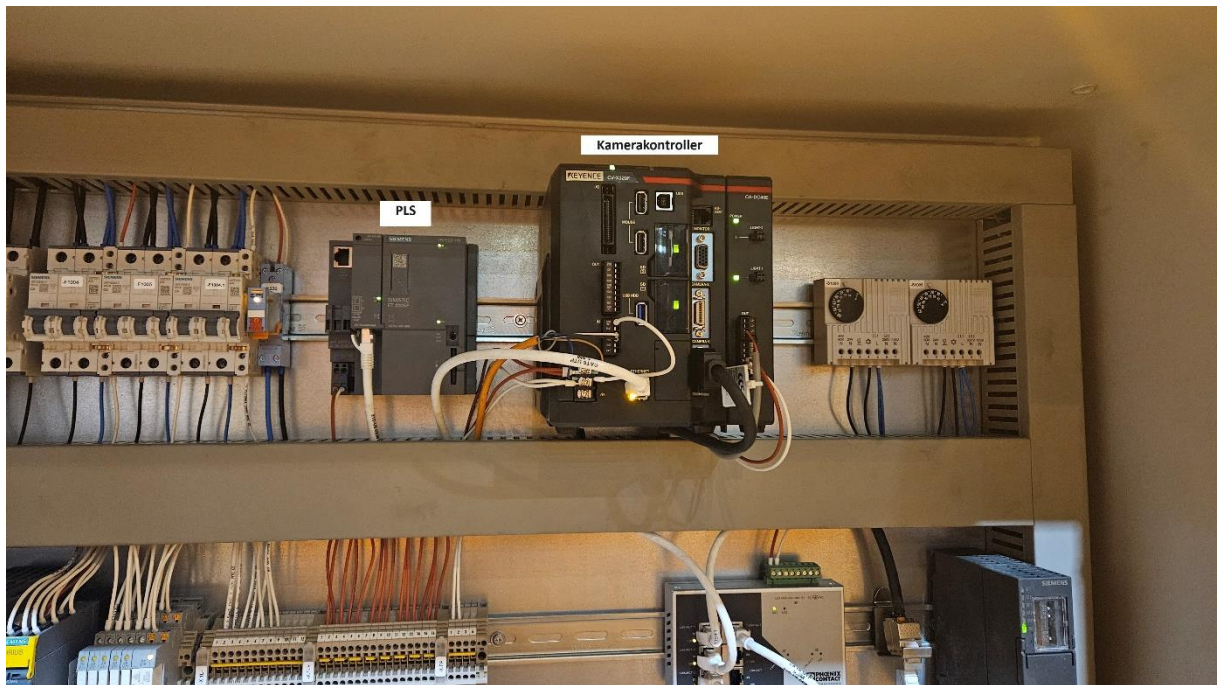
Sammensetningen av komponentene er ett resultat av en forprosjektering på hva må til for å kunne oppnå tilfredsstillende resultater, og ikke bruke komponenter som er unødvendig kostbar for å forhindre at budsjettet sprekker. I tillegg ikke har for høy ytelse, kompleksitet eller presisjon til vårt formål slik at risikoen for feilmålinger og igangkjøringsproblemer reduseres. Komponentene er i tillegg også kjent fra andre systemer hos oppdragsgiver.

1.3.2 Installasjon av utstyr

Kamerakontrolleren ble installert i ett allerede eksisterende skap hos oppdragsgiveren på en ledig DIN-skinne som vist på Bilde 2 – Skapoversikt. Den er koblet til en 24V strømforsyning og en nettverk svitsj slik at kommunikasjon kunne opprettes og for å muliggjøre konfigurasjon, dataoverføring til databasen og HMI operatørene skal bruke, se Figur 2 – Dataflyskjema – for mer detaljer, samt vedlegg C for koblingskjema.



Figur 2 – Dataflyskjema



Bilde 2 – Skapoversikt

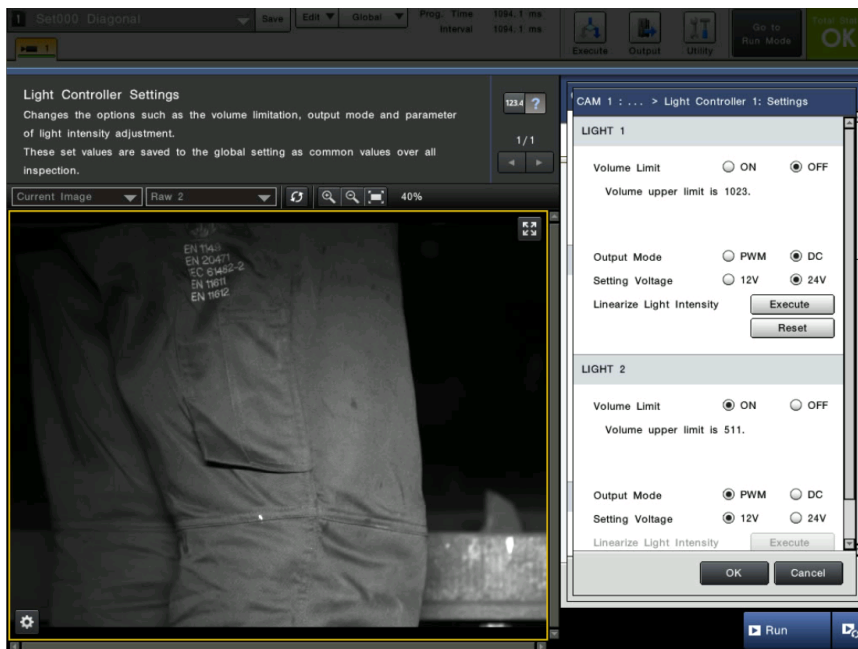
Avstanden mellom billetsenden som ligger på kjøleristen og senterlinjen på kamerastativet ble målt opp til 1,8 meter slik at WD og FoV ble riktig i henhold til Figur 1 – Linsediagram for å velge linsetype - . Lysbaren ble montert frempå varmebeskyttelsen som allerede fantes for å beskytte et annet kamera. Til lyset ble det laget en låvedør av tynne stålplater i henhold til vedlegg D – produksjonstegninger – for å unngå lysforurensning inn til kontrollrommet til operatørene, samt for å konsentrere lysstrålen mot billets med formål om å bedre kontrast. Vinkelen på braketten til lasersensoren ble justert slik at den treffer enden på billetsen slik at den kan gi signal til kamerakontrolleren om å ta bilde. Bilde 3 – Kamera, lys, kamerastativ og triggerlaser viser ferdig montasje av kamerahus, kamerastativ, lasermåler og lysbar med låvedører.



Bilde 3 – Kamera, lys, kamerastativ og triggerlaser

1.3.3 Konfigurering av systemkomponenter

Første gang kamerakontrolleren ble startet opp var på labben til automasjonsavdelingen hos oppdragsgiver. Kamerakontrolleren ble gitt IP-adressen den har fått tildelt av systemansvarlig slik at kommunikasjon og konfigurering kunne foregå ute i felt når den ble montert, korrekt kameramodell ble valgt, lys-kontrollermodulen ble konfigurert, som vist i Bilde 4 – Innstillinger lyskontroller – til å gi 24V spenning som LED-baren krever for å operere og triggerensoren ble konfigurert og testet at den ga riktig output som kunne håndteres av kamerakontrolleren.

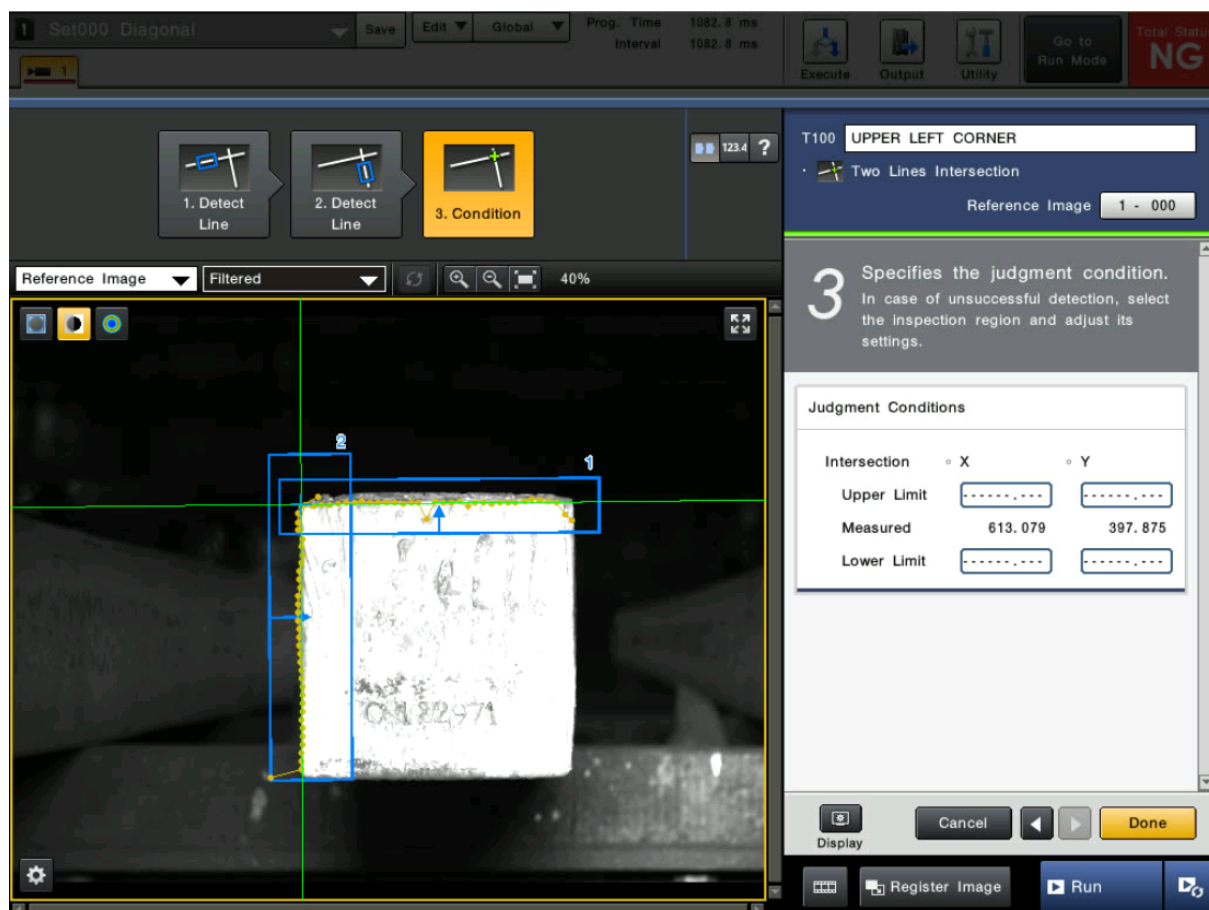


Bilde 4 – Innstillinger lyskontroller

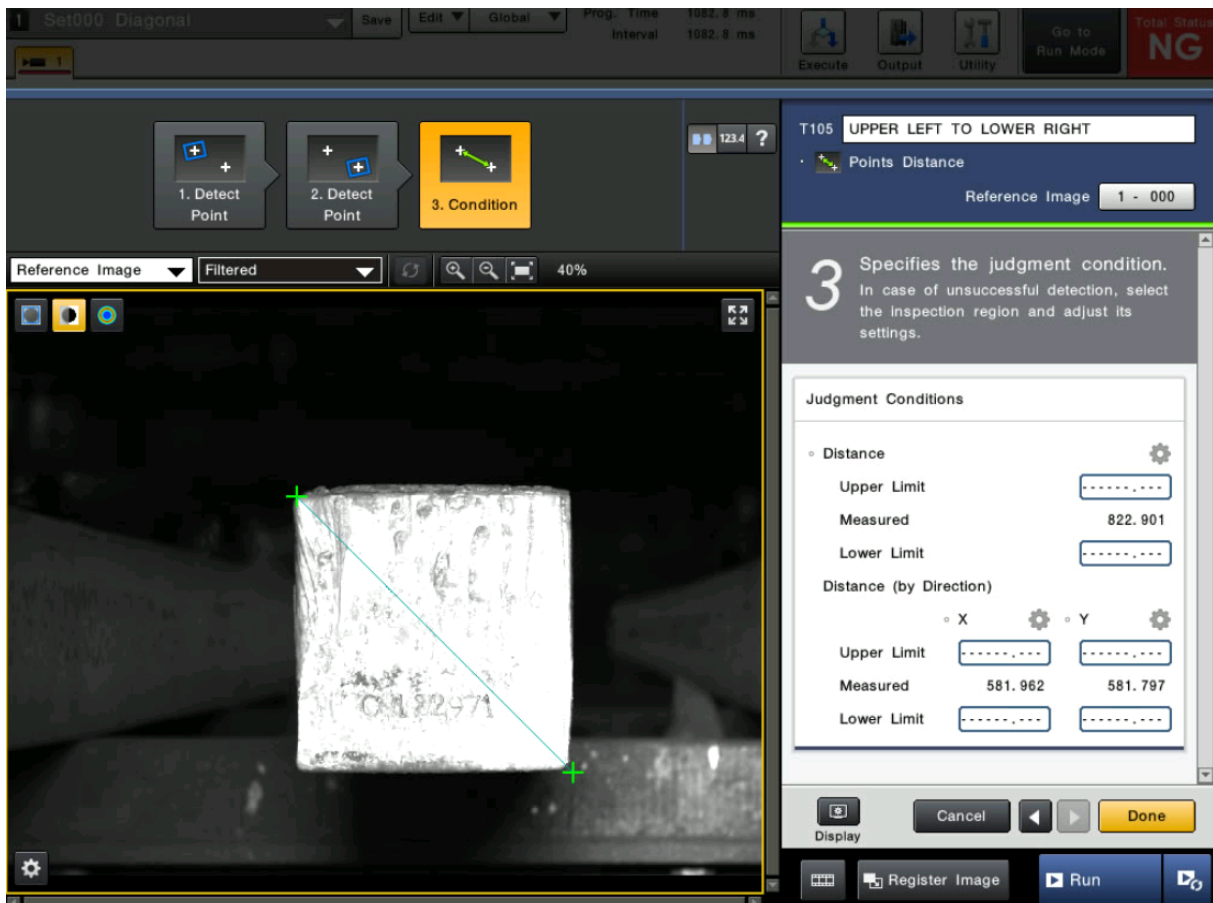
1.3.4 Tilpasning og kalibrering

Når kameraet, lyset og triggerlaseren var installert på riktig plass, ble linsefokus og blenderåpningen justert slik at bildet ble så skrapt som mulig. I programvaren til kamerakontrolleren, er det ett optimaliseringsverktøy som tar brukeren gjennom en steg-for-steg prosedyre som er veldig intuitiv for å oppnå optimale bilderresultater. Triggersignalet ble finjustert med å sette opp forsinkelse på når triggerlaseren skal sende signal til kamerakontrolleren, og i kamerakontrolleren når bildet skal tas, slik at bildet blir tatt på rett tid. I tillegg ble triggerområdet til lasersensoren satt til å være mellom 2000mm og 1700mm.

For å kunne måle diagonalene satte vi opp hjørnedeteksjon med en funksjon i programvaren som heter «Two lines intersection» (se Bilde 5 – Two-Lines-Intersection funksjon) for alle fire hjørnene. Funksjonen lager ett punkt der linjene fra to sider krysser hverandre, med disse punktene kan man bruke funksjonen «Points Distance» (se Bilde 6 – Points-Distance funksjon) for å måle diagonalene på billetten.

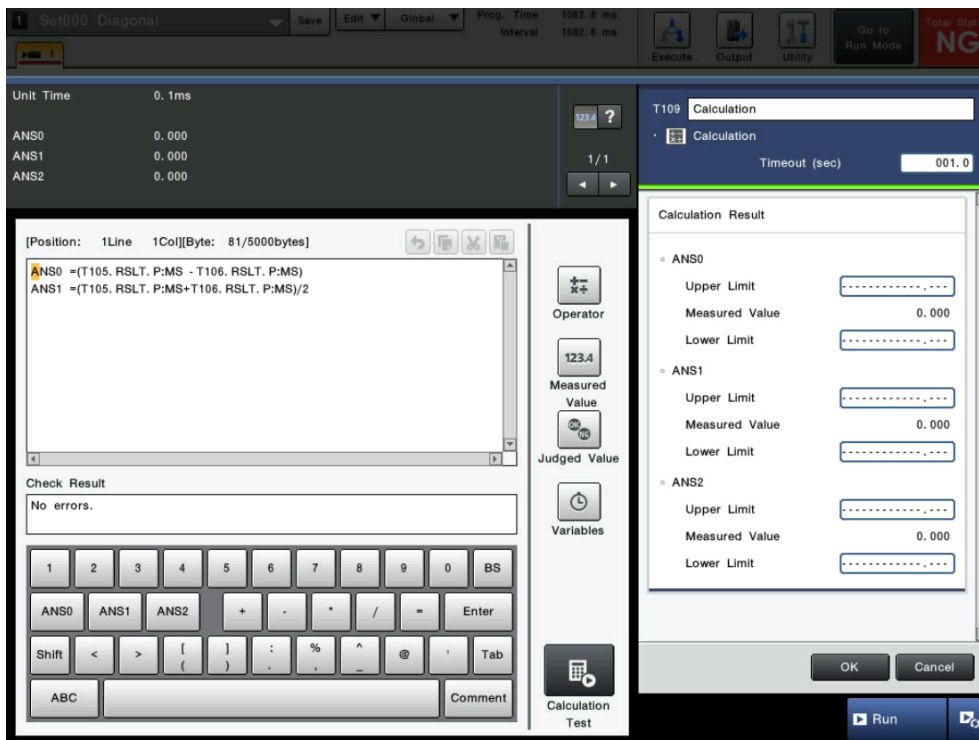


Bilde 5 – Two-Lines-Intersection funksjon

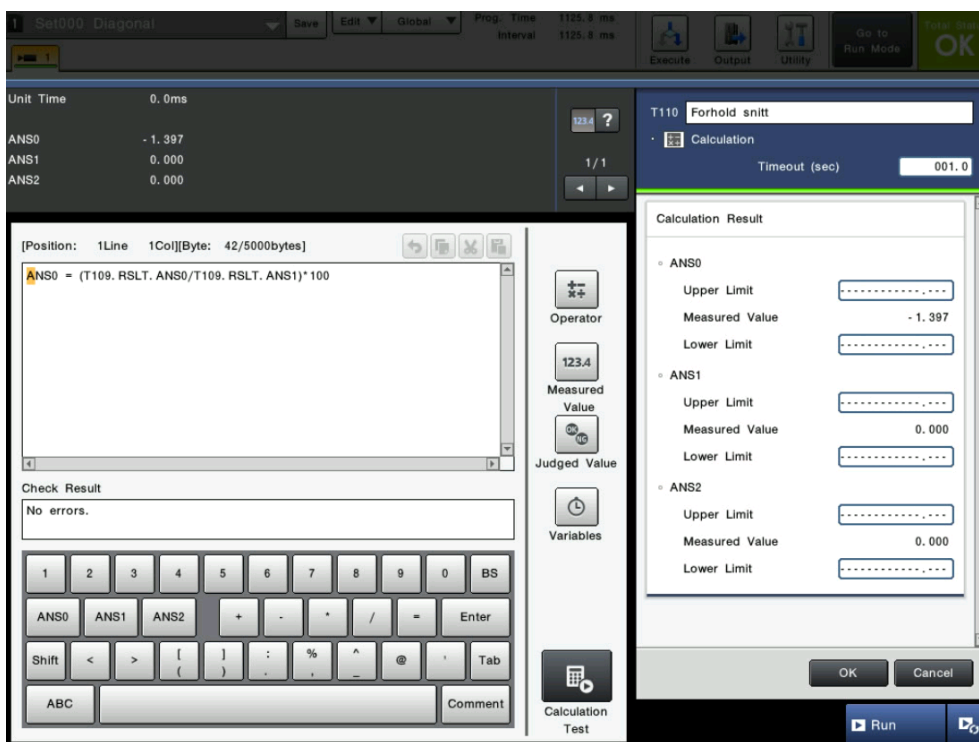


Bilde 6 – Points-Distance funksjon

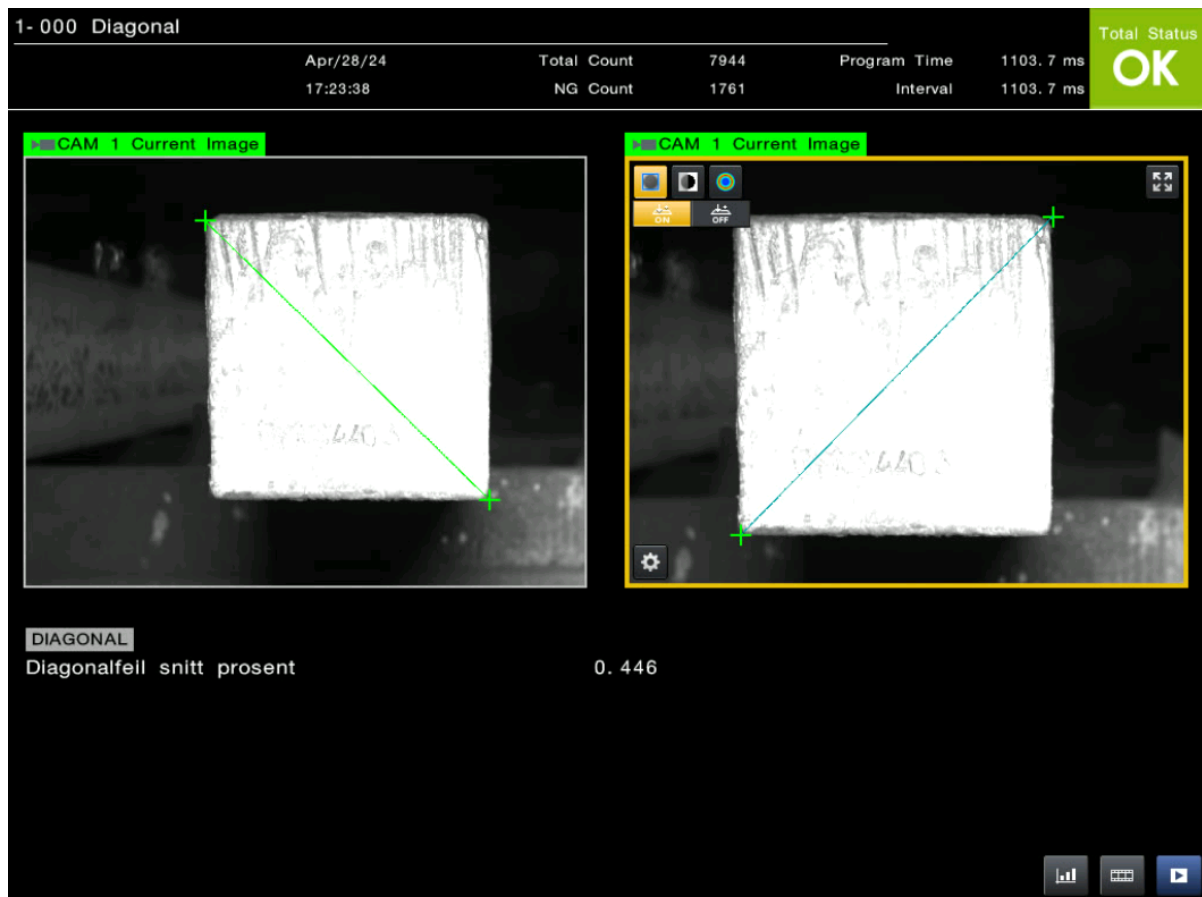
For å regne ut forholdet mellom diagonalene som er ett tall som forteller noe om hvor firkantet billetten er så beregnes diagonalfeilen slik: $Diagonalfeil = \frac{|d_1 - d_2|}{(d_1 + d_2)/2}$. Differansen mellom diagonal 1 og diagonal 2 deles på gjennomsnittet av diagonalene. Dette gjøres i en egen beregningsfunksjon i kamerakontrolleren som vist i Bilde 7 – Beregning og Bilde 8 – Endelig resultat. Resultatet av beregningen vises i HMI til operatørene samt sendes til en database slik at dataen blir lagret sammen med informasjonen som følger med den chargen. HMI bildet kan ses i Bilde 9 – Operatør HMI.



Bilde 7 – Beregning mellomregning



Bilde 8 – Endelig resultat



Bilde 9 – Operatør HMI

For å finjustere hjørnedeteksjonen så er det lagt på filtrering i området hvor det er kritisk og feildeteksjon kan oppstå, i dette tilfellet var det «Contrast conversion» filteret som ga best resultater. Dette filteret kontrollerer forsterkningen for å justere bildekontrasten eller graden av skyggevariasjon.

Det brukes en skjæreflamme for å kutte billetsen når den når sin angitte lengde ut av støypemaskinen. Da er det fare for at det blir hengende igjen skjæreskjegg. Dette skjegget kan i enkelte tilfeller forårsake upresise hjørnedeteksjoner, men ved hjelp av tonefilteret ble ikke skjegget like fremhevet i bildet, noe som gjør det lettere for hjørnedeteksjonsfunksjonen å finne den «rette» kanten.

1.4. Resultat

Resultatet av prosjektet viser en vellykket implementering av et automatisert vision system for måling av diagonaler på billetsene hos Celsa Armeringsstål. Dette resultatet oppfyller kravene i kravspesifikasjonen gitt fra Celsa Armeringsstål og sikrer pålitelig og nøyaktig måling av diagonalene.

1.4.1 Systembeskrivelse

Systemet består av følgende komponenter:

- **Kamera:** CV-X320F Kit1 fra Keyence med et CA-H200M kamerahode
- **Linse:** TCL 3520 5MP 35 mm
- **Belysning:** HLDL3-450X28SW-DF-N LED lysbar
- **Kamerastativ:** Mekanisk stativ designet og produsert av prosjektgruppen
- **Triggerlaser:** ifm O1D100 laser lengdemåler
- **Kamerakontroller:** CV-X320F fra Keyence
- **Programvare:** Keyence CV-X vision software

1.4.2 Systemfunksjonalitet

Systemet fungerer som følger:

1. En triggersensor detekterer når en billets passerer foran kameraet
2. Kameraet tar et bilde av billetsen
3. Programvaren i kamerakontrolleren analyserer bildet og identifiserer de fire hjørnepunktene på billetsen
4. Diagonalene på billetsen måles basert på hjørnepunktene
5. Diagonalmålene og diagonalforholdet vises på en HMI-skjerm
6. Diagonalmålene og diagonalfeilen sendes til en Ignition SCADA-server for lagring

1.4.3 Teknologivalg

En viktig årsak til at prosjektet lyktes var nøysom vurdering av mulig teknologier samt valget av passende komponenter. Ved å benytte Keyence vision system, ble det valgt en løsning som oppfylte kravene til pålitelighet og sanntidsmåling. Denne beslutningen ble støttet av dokumentasjon fra Keyence om deres vision systemer, som bekreftet systemets evne til å håndtere måleoppgaven på en effektiv måte.

1.4.4 Konfigurering og kalibrering

Konfigurering og kalibrering av systemkomponenter spilte en avgjørende rolle for å sikre optimal ytelse og pålitelighet. Installasjonen av kamerakontrolleren og tilpasningen av programvaren ble nøye utført, noe som var avgjørende for å oppnå gode bilderresultater og optimal bildeanalyse. En trinnvis guide i vision programvaren ble fulgt for å konfigurere kameraet og tilpasning av programvaren, som resulterte i ønskede bilderresultater og optimale måleresultater. Igangkjøringen ble utført med få utfordringer, slik at systemet opererte raskt i samsvar med kravspesifikasjonen. Tilpasning av programvare og kalibrering av systemkomponenter ble gjennomført med fokus på å oppnå pålitelighet i måleresultatene.

1.4.5 Timing

Integreringen av triggersensoren har vært avgjørende for å sikre presis timing for bildeopptak av billetsene. Laseren fungerer som et signal for å indikere når en billett er på plass foran kameraet, og initierer dermed billedtaking. Denne presise timingen eliminerer feilkilder og sikrer en optimal bildeopptaksprosess, og bidrar dermed til forbedret pålitelighet i målingene av billets diagonalen.

1.4.6 Tilpasning

I kravspesifikasjonen fra oppdragsgiver er det sagt at systemet skal kunne oppnå ± 1 mm nøyaktighet, systemet har i teorien mulighet dette, men det forutsetter at avstanden til billetten og kameraet er tilnærmet 100% nøyaktig hver gang, slik at skaleringen fra piksler til mm er konstant. Dette lar seg ikke gjøre slik som maskineriet hos oppdragsgiveren opererer.

Kravet om nøyaktighet på ± 1 mm ble fraveket etter samråd med oppdragsgiveren. En slik nøyaktighet krever en presisjon i avstanden mellom billett og kamera på under 0,1 mm. Dette er ikke mulig å oppnå i maskineriet hos oppdragsgiveren, og en investering for å forbedre maskineriet ville være uforholdsmessig kostbar. I stedet ble det fokusert på å bevise repeterbarhet og korrelasjon

mellom manuelle og kamerabaserte målinger. Måleresultatene i vedlegg E viser et standardavvik på 0,43 og en korrelasjonsfaktor på 0,66. Dette indikerer at kameramålingene gir en god veiledning for å avgjøre om billetten oppfyller kundekravet på 5%.

1.4.7 Effektivitet og brukervennlighet

Systemet er brukervennlig og enkelt å betjene med en programvare som er åpent tilgjengelig uten ekstra kostnader. Prosjektet har klargjort slik at resultatene kan integreres i operatørens kontrollsystem. Dette gir minimale behov for opplæring av operatører.

Systemet har tatt cirka 27 000 bilder siden oppstart og hvorav cirka 750 bilder er forkastet på grunn av for dårlig kvalitet, noe som gir en datafangst på cirka 98%. Dette gir et mer effektivt system enn manuelle målinger.

1.5. Drøfting

Resultatet forteller at det er levert et produkt etter bestilling fra oppdragsgiver. Underveis i prosjektet har det vært mange faglige diskusjoner for å kunne komme frem til levert produkt.

1.5.1 Teknologivalg

Teknologivalget ble gjort ut ifra prinsippene rundt optikk og kamerateknologi sammen med teori rundt maskinsyn og dataanalyse. Når kamera og linse ble valgt var det to muligheter, kamera på 2MP og 5MP. Utrengninger utført av Eltech Solutions viste at kamera på 2MP ville være tilstrekkelig for å kunne oppnå ønsket nøyaktighet, men ikke med så høyt FoV som 300mm. Kamera beregninger i Tabell 3 - Kameraberegninger med et FoV på 200mm gav tilstrekkelig nøyaktighet, og siden billets har en dimensjon på 160x160mm så vil et FoV på 200mm holde. På grunn av forhold med plassering av kamera under installasjon så ble virkelig FoV etter montering 260mm, noe som gav oss en beregnet nøyaktighet på 1,08mm. Fordelen med å plassere kameraet der det ble plassert, er at man fikk benyttet seg av eksisterende varmeskjold, som gir bedre operasjonsforhold da det er 60°C bak varmeskjoldet og 80°C foran. Ulempen med FoV på 260mm er at kameraet får en dårligere nøyaktighet enn om det hadde vært plassert med tanke på 200mm FoV. Vurderingene ut fra problemstillingen er at gode operasjonsforhold for kameraet gir en høyere pålitelighet og varighet, og ble dermed vektlagt høyere enn nøyaktighet på 1mm.

Ved å implementere et vision system er det oppnådd målinger i sanntid. En stor fordel man ser med dette er høyere målefrekvens enn hva manuelle målinger gir. Dette menes å gi en positiv effekt for Celsa Armeringsstål i form av tidsbesparelser og eliminering av manuelle feilkilde. I tillegg kan systemet være med på å gjøre produksjonen til Celsa Armeringsstål mer bærekraftig. Dette ved at systemet kan hjelpe de med å oppdage feil på diagonal før de blir utenfor kunde spesifikasjonene, og dermed kan de gjøre korrektive tiltak i sin prosess.

Problemstillingen sier at det ønsker å redusere feil på billets og øke kvalitetskontrollen, noe som oppnås ved å implementere et vision system da data samles inn i større grad enn tidligere. Dette vises av at det har blitt tatt cirka 27 000 bilder siden oppstart og kun cirka 750 bilder er forkastet, noe som gir en datafangst suksessrate på 98%. Ulemper kan være at man stoler for mye på et system, som kan feile eller gi feil målinger. Det vil derfor være viktig for operatørene å bruke erfaringer når man skal vurdere målingene. Og at systemet blir sjekket opp mot manuelle målinger med et gitt intervall.

1.5.2 Kontrast og lyssetting

Det oppsto noen problemer rundt lyssetting og kontrasten på bildet. Problemet var at det var liten kontrast mellom selve billetsen vi skulle måle på og omgivelsene rundt. Dette førte til at man ikke klarte å få god repeterbarhet på målingen og var et problem vi måtte løse. Løsningen ble å montere lysflaps/låvedør på lys-bjelken. Dette gjorde at lyset kunne konsentreres mer mot kuttflaten på billetsen. Med hjelp av låvedøren og kontrastinnstillingen i programvaren ble dette problemet løst. En annen svakhet er dagslys, som i Nord-Norge på sommeren kommer til å bli en utfordring for vision systemet. Man ser antydning til at det på ettermiddag og kveld, når solen står rett inn i produksjonshallen, at dette kan by på utfordringer med å få god nok kontrast på bildene som tas. Dette gir direkte påvirkning på kvaliteten på målingen og kan gi økt antall forkastede målinger.

1.5.3 Samspill

Det er et samspill mellom utstyr for å kunne blitse med lys og ta bilder i korrekt rekkefølge og med korrekt timing. Triggersensor for å initiere bildetakingen kan være følsom for enkelte driftsituasjoner, som for eksempel at det ikke kommer en billets forbi, eller at det trigges ved at en person beveger seg foran laserstrålen. Det er eksempler på bilder som er tatt av ingenting, nettopp fordi lasermåler har trigget et bilde uten billets til stede.

1.5.4 Optikk og kamera

Det er viktig å merke seg at optikk og kamerateknologi ikke bare omfatter maskinvarevalg, men også konfigurasjon og kalibrering av systemet. Dette inkluderer justering av kameraparametere som blenderåpning og linsefokus for å sikre optimal bilde kvalitet og nøyaktighet i målingene våre. Ved å kombinere optimal optikk og kamera med optimal konfigurasjon, samt kalibrering av blenderåpning og linsefokus, fås det et system som oppfyller de kravene oppdragsgiver har satt. Kamera og optikk er følsom for støv og partikler på linse og glass, slik at i vedlikeholdsinstruks, som er overlevert i dokumentasjonspakken til Celsa Armeringsstål, er det anbefalt månedlige rengjøring av linse og glass.

1.6. Konklusjon

Prosjektets undersøkelser og implementering har direkte adressert de behovene som ble identifisert i problemstillingen. Ved å fokusere på å utvikle en robust og pålitelig løsning for måling av diagonalene på billets, har prosjektet møtt kravene fra oppdragsgiveren og løst den underliggende utfordringen med å oppnå nøyaktige målinger under forskjellige forhold i produksjonen. Prosjektets leveranse gir derfor et solid svar på problemstillingen og hjelper Celsa Armeringsstål videre på veien for en bedre prosesskontroll og kvalitetssikring av sitt produkt.

1.6.1 Oppsummering

Resultatene fra testingen som er gjennomført viser at systemet oppnår en god nøyaktighet. Dette har blitt bekreftet med sammenligningen som er gjort mellom manuelle mål og målene fra vision systemet. Dette ble gjort på 52 billets og endte opp med et standardavvik på 0,43%, noe som indikerer systemets evne til å produsere pålitelige og repeterbare målinger.

Det er viktig å merke seg at evalueringen av systemets nøyaktighet avdekket noen begrensninger med tanke på måten kontrollen av systemet ble gjort på. Spesielt opp mot de manuelle målingene. Siden dette gjøres manuelt med et analogt skyvelære er det muligheter for målefeil når dette gjøres, dette fordi det er varmt og man ikke ønsker å oppholde seg nært billettene for lenge. Dette kan fort føre til at det blir ± 1 mm feil på de manuelle målingene.

1.6.2 Kvalitet og pålitelighet

Påliteligheten og kvaliteten til systemet har blitt testet i en lengere periode og vist seg å være god. Etter installasjon av systemet har kjørt kameraet i over 70 dager uten at det har støtt på noen problemer eller vært behov for noe vedlikehold. I løpet av denne tiden har det blitt tatt over 27 000

bilder hvor av kun cirka 750 av disse har blitt forkastet grunnet for dårlig kvalitet til å kunne finne punkter systemet kan måle diagonaler på. Mange av disse 750 bildene kommer av vedlikeholds stanser i området og at folk har kommet fremfor trigger sensoren og utilsiktet utløst kameraet. Dette er et forbedringsområde for vision systemet.

1.6.3 Nøyaktighet

Resultatene fra testingen viser at systemet oppnår en nøyaktighet som er innenfor kravspesifikasjonene fra oppdragsgiver. Med et standardavvik på 0,43%, tilsvarer dette et millimeteravvik på ca. 0,97 mm på en perfekt diagonal på 226 mm: $millimeteravvik = 0,43\% * 226mm = 0,0043 * 226mm = 0,97mm$

Den oppnådde nøyaktigheten gir Celsa Armeringsstål et solid grunnlag for å opprettholde høy kvalitetskontroll i produksjonsprosessen, og de kan stole på at vision systemet gir nøyaktige målinger. Selv om systemet oppfyller kravene, er det viktig å innføre periodiske kontroller for å sikre konsistens og pålitelighet over tid.

1.6.4 Veien videre

Basert på leveransen som er gjort i dette prosjektet, har prosjektet noen anbefalinger til oppdragsgiveren. Prosjektgruppen anbefaler å bruke prosentverdiene som kommer ut fra systemet til å forbedre kvalitetskontrollen på anlegget. Systemet gir Celsa Armeringsstål muligheten til å kunne følge opp diagonalen bedre for sine forskjellige produkter. Celsa Armeringsstål kan også jobbe videre med å øke sitt produksjonsutbytte med hjelp av vision systemet og sanntids dataen det gir.

Del 2- Prosessen

Del 2: Prosessen

2.1 Referat fra arbeidet

2.1.1 Innledning – September 2023

Prosjektet startet med å etablere en prosjektgruppe, som fikk navnet Exactomatic. Prosjektgruppen består av tre personer som skulle løse problemstillingen vi hadde fått hos oppdragsgiver. Vi startet først med å utarbeide en prosjektbeskrivelse som vi viste til oppdragsgiver og skolen for å få prosjektet godkjent. I prosjektbeskrivelsen så vi blant annet på organisering av prosjektgruppen, leveranser, kontaktinformasjon til oppdragsgiver med mere.

2.1.2 Teknisk løsning og prosjektering del 1 – oktober til november 2023

Videre så var fokuset på å velge teknisk løsning for å kunne svare på problemstillingen. Dette ble gjort ved å søke etter mulige løsninger på internett samt å kontakte de leverandørene som så mest lovende ut etter innledende søk på internett. Det var tre leverandører som vi tok kontakt med, Eltech Solutions, Stemmer Imaging og Lucid. Etter flere møter med leverandørene samt med oppdragsgiver for å få satt en ramme på prosjektet, ble det besluttet å gå videre med Eltech Solutions, som er distributør for Keyence, for å sette opp en pakke med det utstyret vi trengte. Vi kunne deretter starte prosjektering del 1, med mål om å ha et komplett vision system.

Vi hadde også en befaring hos Celsa Armeringsstål i oktober. Der tok vi en del mål og bilder fra området hvor vi hadde planlagt å installere vision systemet. Vi arrangerte også et møte med faglige ressurspersoner hos oppdragsgiveren for å kunne diskutere saker som var aktuelle i perioden. Vi hadde to dager på befaring.

I denne perioden ble det i tillegg utarbeidet en prosjektplan som forteller hvordan vi ønsket å løse problemstillingen, samt om hvordan fremdrift og ansvar skulle løses. Denne planen ble presentert på en skolesamling 28.november 2023 foran veiledere.

2.1.3 Anskaffelse av utstyr og tjenester – desember 2023

Når utstyrspakken var ferdig utarbeidet, ble det satt en bestilling til Eltech Solutions som er distributør av vision system fra Keyence. Det ble i tillegg utført prosjektering på det vi trengte av eksterne leveranser til vårt prosjekt. Dette var elektro for klargjøring av strøm- og nettverkstilførsel.

Det var også en plan om at vi skulle få en ekstern bedrift til å produsere vårt kamerastativ, men etter samtaler i prosjektgruppen, ønsket vi å gjøre dette selv.

2.1.4 Prosjektering del 2 samt installasjon – januar til februar 2024

Utstyret vi hadde bestilt var ankommet slik at vi kunne starte på prosjektering del 2, som omhandlet installasjonen av vision systemet. Dette omfatter plassering, kamerastativ, kabeltrekking, oppsett og uttesting.

Etter prosjekteringen var ferdig og kvalitetssjekket, så møttes prosjektgruppen hos oppdragsgiver for å installere vision systemet. Dette ble gjort over en 4 dagers periode, hvor målet var å ha ferdig installert vision system i henhold til prosjektering. Vedlegg F – Rapport installasjonstur – forteller mer fra installasjonen.

2.1.5 Idriftsettelse og dokumentasjon – mars 2024

Etter at vision systemet var installert og kjørt i gang, skulle det settes i drift og dokumenteres.

Idriftsettelse innefatter at kamera og vision programvare skulle settes opp for å kunne ta automatiske diagonalmålinger og regne disse om slik at de passet til kravspesifikasjon fra oppdragsgiver. En viktig avgrensing i prosjektet er at prosjektgruppen kun skal levere data klar til sending ut til oppdragsgivers kontrollsystemer.

Dokumentasjon som består av mekaniske og elektriske tegninger, bilder, brukermanualer, rapport fra installasjonen ble utarbeidet og gjort tilgjengelig for oppdragsgiveren.

2.1.6 Sluttrapport og overlevering – april til og med mai 2024

Siste fase av prosjektet var å skrive sluttrapporten samt å få planlegge, gjennomføre og få godkjent overlevering av vision systemet til oppdragsgiveren.

Sluttrapporten ble påstartet ved å ta utgangspunkt i tilgjengelig mal dokument fra Fagskolen i Viken avd. Kongsberg. Skrivningen ble utført etter samme metodikk som resten av prosjektet, at vi møttes 1-2 ganger i uken for å diskutere aktuelle saker og sjekke status, mens arbeidet med skrivningen ble gjort mellom møtene. Når sluttrapporten nærmet seg ferdig, hadde vi hyppigere møter for å utføre kvalitetssjekk og ferdigstille rapporten før innlevering.

Overleveringsfasen fortsetter videre ut i mai måned, slik det er planlagt for i Gantt skjemaet i vedlegg G. Dette for å sikre at vi får et stort nok datagrunnlag til å kunne verifisere systemet på god måte. Det

er utført en første gangs verifisering, som gir en god indikasjon, men prosjektet trenger et større datasett for å kunne verifisere indikasjonene på nøyaktighet og pålitelighet. Siden dette tar tid og krever koordinering mot drift å innhente mer data, er dette planlagt som arbeid videre utover i mai, med planlagt sluttdato 31.mai 2024. Da skal prosjektet være overlevert til oppdragsgiver. For å sikre oss at overleveringen blir gjort korrekt og med kvalitet har vi laget til et skjema for å håndtere overleveringen. Dette skjemaet kan leses i vedlegg H.

2.2 Planlegging

2.2.1 Tidsbruk

Prosjektgruppen har hele tiden hatt fokus på å besvare problemstillingen på best mulige måte, men samtidig være nøye på å avgrense prosjektomfanget til kun det som er nødvendig for å kunne besvare problemstillingen. Dette har gjort at vi har kunnet planlagt arbeidet med gode marginer med tanke på tidsbruk og ivaretatt ferier, eventuelle sykdomsperioder med videre. Det at prosjektet har hatt en klar fremdriftsplan og en absolutt sluttdato for prosjektet gjør at vi har klart å holde alle milepæler og har levert i henhold til planlagt tidsbruk.

Prosjektgruppen har underveis i prosjektet hatt faste prosjektmøter en gang i uken hvor vi har diskutert fremdrift, problemstillinger og aksjoner videre. I tillegg har vi hatt andre møter ved behov. Det har imellom de ukentlige møtene vært arbeidet med pågående aksjoner. Vedlagte Gantt skjema viser de ulike fasene og hvordan tidsbruken har vært i prosjektet.

Vi planla med i gjennomsnitt 9 timer prosjektarbeid pr uke gjennom hele prosjektløpet. Noen uker har det vært mindre, mens andre uker har det vært mer. Prosjektet ble startet i uke 35-2023 og avsluttet i uke 22-2024. Dette er 40 uker som gir en oppsummert tidsbruk pr. prosjektdeltager på 360 timer. Dette vises ved at fremdriftsplan har vært gjennomført uten avvik. Prosjektet måtte gjøre en vurdering som kunne ha ført til et avvik fra fremdriftsplanen.

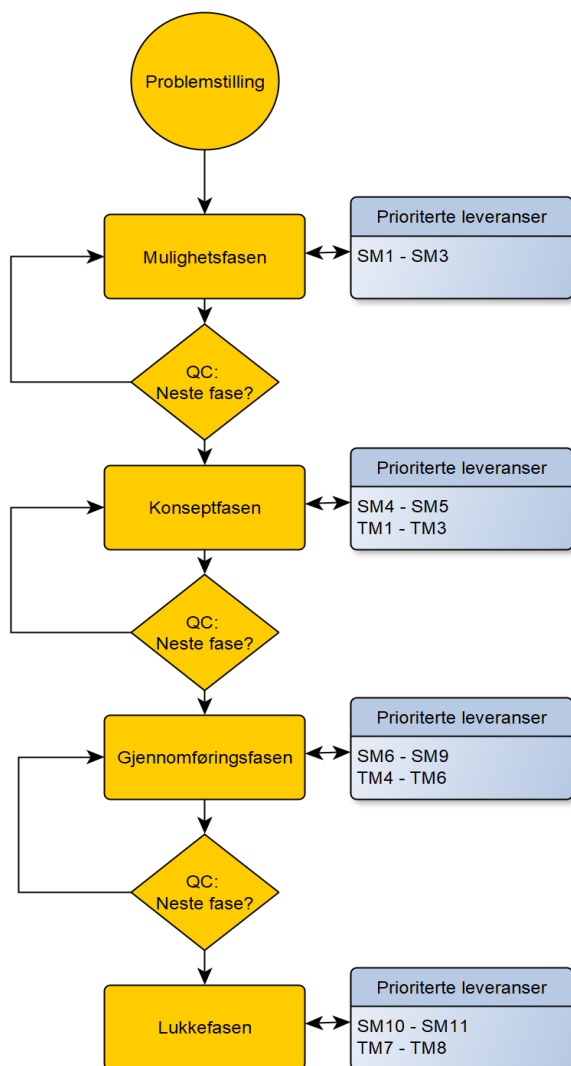
Fra Eltech Solutions fikk vi muligheten til å få tilsendt et testsystem for å se om det vi hadde forprosjektert av utstyr fra Keyence ville passe vårt behov. Dette ønsket prosjektgruppen å gå videre med, for å få en tidlig bekreftelse på at valgt løsning ville svare på problemstillingen. Dette var noe vi ikke hadde planlagt inn i vår fremdriftsplan, men vi så vi hadde greit med tid i prosjektfasen «anskaffelse av utstyr og tjenester», så vi bestemte oss for å takke ja til tilbudet fra Eltech Solutions. Det viste seg etter hvert at på grunn av utfordringer med toll og at testsystemet bare var ledig i en uke innenfor den perioden vi hadde avsatt til dette, ble det vanskelig å få testsystemet til å passe inn med fremdriften av prosjektet. Prosjektgruppen tok da et valg om at vi ikke ønsket å vente på

testsystemet. Her argumenterte vi med at vi følte oss sikker på forprosjekteringen og beregningene som var utført var av god nok kvalitet, slik at prosjektet ikke var avhengig av å få en bekreftelse fra testsystemet. Vi prioriterte også fremdrift og holde planen fremfor å vente på testsystemet.

2.2.2 Arbeidsfordeling og oppgaveløsning

Vi valgte å fordele arbeidet mellom gruppe medlemmene slik at hvert gruppe medlem har hatt sine dedikerte ansvarsområder. I tillegg har vi hatt arbeid som har vært gjort sammen som prosjektgruppe. Her nevnes diskusjoner og kvalitetssjekker av hverandres arbeid på tvers.

Rekkefølgen oppgavene har vært gjort i har fulgt ulike faser av prosjektet som illustrert i Figur 3 – Prosjektfaser. Her er det også listet opp de viktigste leveransene pr. fase. Se vedlegg G – Gantt skjema for detaljer rundt leveransene.

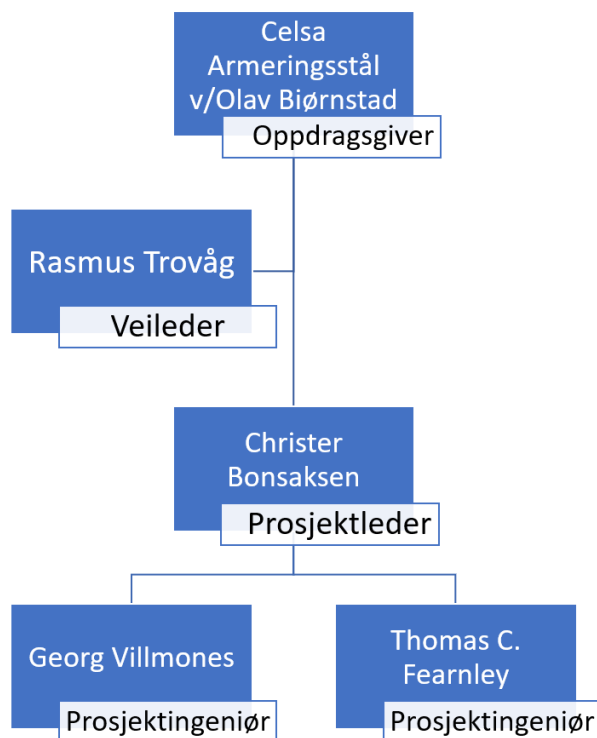


Figur 3 – Prosjektfaser

Planleggingen av prosjektet har i stor grad tilfalt prosjektleder. Det ble tidlig i prosjektet opprettet et prosjekt i Microsoft Project for å kunne planlegge hele prosjektet gjennom de ulike fasene. Her ble det lagt vekt på å tydelig skille mellom skolens milepæler (SM) og tekniske milepæler (TM) for å lettere kunne planlegge når de ulike leveransene av prosjektet skulle leveres. Det er i tillegg til milepælene laget til kategori i Microsoft Project for «tekniske prosjektoppgaver» og «skole prosjektoppgaver» for å få et helhetlig bilde over alle oppgavene som skulle gjøres. Vedlegg G – Gantt skjema viser detaljene i tidsplanen og milepælene. Prioritering av milepæler har vært SM først og deretter TM. Dette på grunn av at SM har fastsatte frister for innlevering, mens TM har i større grad vært mulig å forskyve etter behov. Når det er sagt var det ikke behov for prioritering av oppgavene, da prosjektet har vært gjennomført uten avvik fra tidsplanen. Dette mener vi har med å gjøre at vi har vært flinke gjennom prosjektforløpet å vurdere hvilke oppgaver som måtte utføres og hvilke som ikke var en del av oppdragsbeskrivelsen for å svare på problemstillingen. En slik tydelig avgrensning av omfanget er en viktig faktor til at prosjektet har levert på tid og i henhold til oppdragsbeskrivelse.

2.2.3 Gruppeledelse

Prosjektgruppen er organisert slik Figur 4 – Prosjekt organisering – viser:



Figur 4 – Prosjekt organisering

Prosjektleder har hatt ansvaret for gruppeledelsen. I dette innebærer det planlegging, utarbeidelse av planer og budsjett samt generell oppfølging av prosjektet opp mot milepæler. Prosjektledelsen har hatt et mål om å utøve lederstil som er delegerende ved å gi arbeidsoppgaver til prosjektingeniørene og la dem jobbe med stor frihet og selv bestemme utfallet av leveransen på oppgavene. Prosjektingeniørene har da jobbet selvstendig og sammen uten behov for instruering og man kan derfor si at lederstilen har vært delegerende. Dette mener prosjektledelsen å ha lyktes med, da alle leveranser ble levert i henhold til milepælsplan. Samtidig har det vært en viktig oppgave for prosjektledelsen å kontinuerlig innhente informasjon fra prosjektingeniørene for å kunne få oversikt over pågående aktiviteter og status på arbeidet. Dette er viktig for å sørge for at alle jobber mot felles mål og ikke har sprikende leveranser.

Prosjektingeniørene har sammen hatt ansvaret for det tekniske i prosjektet som å prosjektere utstyrspakken sammen med Eltech Solutions, installasjon og idriftsettelse. De har også hatt side respektive ansvarsområder. Den ene prosjektingeniøren har hatt ansvaret for kommunikasjonen mot oppdragsgiver, noe som var naturlig siden denne personen jobber der. Den andre prosjektingeniøren har hatt ansvaret for design, prosjektering og fabrikasjon av kamerastativ.

Vurderingen er at dette har fungert bra, og det eneste vi ville forbedret er at vi hadde vært flinkere å oppdatere hverandre med status på arbeid underveis, for å gi en enda bedre informasjonsflyt mellom prosjektmedlemmene.

Prosjektledelse og Teamarbeid:

Teorier og beste praksis innen prosjektledelse og teamarbeid har blitt benyttet for å organisere arbeidet effektivt og oppnå målene innen gitte tidsrammer og ressursbegrensninger.

Hvert individ er unikt og har forskjellige egenskaper. For å kartlegge hvilke naturlige egenskaper (styrker og svakheter) hvert individ i prosjektteamet har, ble det tatt en Belbin test i starten av prosjektet (Belbin Norge, 2024). Denne testen dannet grunnlaget for å fordele rollene innad i prosjektteamet. Det er viktig å fordele riktig rolle til rett individ. Alle ønsker å oppleve mestring og at dette gjør at vi ønsker å prestere bedre (Hammernes, 2023).

Prosjektledelsen har hatt som mål å lede ut ifra en situasjonsbestemt ledelse, hvor lederstil og lederadferd vurderes og tilpasses situasjonen (Sagberg, 2020). Med dette menes at ledelsesstilen tilpasses situasjonen underveis i prosjektet. Som eksempel nevnes at det i tidlig fase ble det gitt stor frihet til å jobbe med de løsningene som hver prosjektingeniør ønsket, mens det senere i prosjektet

nå konsept var valgt så var der mer fokus på å delegere konkrete oppgaver for å sørge for at riktig leveranse ble utført til riktig tid.

2.3 Kommunikasjon

2.3.1 Kommunikasjon i prosjektgruppen

Kommunikasjonen internt i prosjektgruppen har vært bra under hele prosjektet. Vi har brukt Microsoft Teams som hovedkanal for kommunikasjon og har der hatt vårt eget team i tillegg til en gruppesamtale hvor vi har diskutert og lagt planer. I tillegg til dette har vi hatt et fast møtepunkt en gang i uken for å diskutere fremdrift, tekniske spørsmål samt oppfølging av aksjoner. Ved behov har vi hatt møter utenom de faste arenaene. Prosjektgruppens vurdering er at kommunikasjon internt i gruppen har fungert godt og det har ikke skapt utfordringer som har gjort at det er noen grunn til å vurdere andre løsninger for kommunikasjon.

2.3.2 Kommunikasjon mot oppdragsgiver

I kommunikasjonen mot oppdragsgiver har prosjektet praktisert «single point of contact» prinsippet, hvor en utpekt får ansvaret for all kommunikasjon mot oppdragsgiver. I dette tilfellet var dette den personen i gruppen som jobber hos oppdragsgiver. Gruppens vurdering er at dette har fungert tilfredsstillende og at oppdragsgiver synes dette har vært ryddig å forholde seg til en kontaktperson fra prosjektgruppen. Det har vært noen få tilfeller av epost kommunikasjon som ikke har kommet frem til alle i prosjektgruppen, men dette har løst seg ved å etterspørre i gruppens gruppesamtale på Teams.

2.3.3 Kommunikasjon mot skolen

For kommunikasjon mot skolen ble samme prinsipp som kommunikasjon mot oppdragsgiver fulgt. Eneste forskjellen er at det er prosjektleder som har fått dette ansvaret. Da prosjektet har hatt god kontroll på fremdrift og milepæler har det ikke vært mye kommunikasjon mot skolen, men gruppens vurdering er at den kommunikasjonen som har vært, har fungert bra. Det er stort sett samtaler og tilbakemeldinger på innleveringer via Teams som har vært kommunikasjonen mot skolen.

2.3.4 Kommunikasjon mot leverandører

I tidlig fase av prosjektet hadde gruppen tre aktuelle leverandører av vision system, men valgte å gå for leverandør Eltech Solutions. Kommunikasjonen mot Eltech Solutions har vært god og har foregått på epost og via digitale møter på Microsoft Teams. Her hadde vi pekt ut en person som fikk ansvaret med kontakten mot Eltech Solutions.

En av grunnene til at Eltech Solutions ble valgt leverandør er på grunn av vår vurdering av samarbeid og kommunikasjon mellom prosjektgruppen og leverandøren. Da prosjektet hadde en avgrenset tidsperiode, mente prosjektgruppen at det var viktig å finne en leverandør som vi hadde god kommunikasjon med. Dermed ble dette et av de viktigste kriteriene vi valgte konsept ut ifra. Se konseptmatrise i vedlegg I.

2.4 Ressurser

2.4.1 Faglige ressurser

Prosjektet har hatt tilgang på flere faglige ressurser. Leverandør Eltech Solutions har bidratt med faglige ressurs på Keyence Vision System, noe som har vært avgjørende for å raskt kunne spesifisere hvilket utstyr som dekket vårt behov. I tillegg har vi hatt tilgang på faglige ressurser innenfor automasjon og produktkvalitet. Dette har vært fine samarbeidspartnere for å diskutere ulike løsninger og det har vært nyttig å ha noen med lokalkunnskap som kunne bidra til at prosjektet treffer på leveransen. Det som kunne vært forbedret er vi kunne invitert til hyppigere dialog for å avklare utfordringer som vi har møtt på underveis i prosjektet. Dette kunne hjulpet på et enda mer smidig prosjektforløp.

2.4.2 Økonomiske ressurser

Vi hadde et forslag til budsjett under prosjektbeskrivelsen i tidlig fase av prosjektet. Dette budsjettet har hatt tre revisjoner før vi endte opp med det godkjente budsjettet. Årsaken til at det ble flere revisjoner av budsjettet var at arbeidet med å prosjektere og fabrikkere kamerastativ ble valgt å gjøre innad i prosjektgruppen istedenfor av eksterne som det første budsjettet foreslo. En annen post som ble fjernet fra budsjettet var behov for eget kabinett for å montere vision systemet inni samt kostnader med å trekke strøm- og nettverkskabler.

Det fungerte bra å tidlig ha et budsjett å forholde seg til da dette var en viktig faktor for å velge teknisk løsning. Vi så at kostnadsestimatet endte opp med flere revisjoner etter hvert som mer detaljer kom på plass i prosjekteringen. Dette skyldtes at det underveis i detaljprosjekteringen ble

det klart at vi slapp å prosjektere samt kjøpe inn et kabinett for å sette vårt utstyr i, da det i et annet prosjekt hadde montert et kabinett i nærheten av vår ønskede plassering. Dette nye kabinettet var ferdig prosjektert med strøm og nettverk, og hadde ledig kapasitet slik at vi kunne montere vårt utstyr i dette kabinettet. Dette sparte prosjektet for en større kostnad.

Dette var ikke informasjon som prosjektet hadde før etter utstyret var bestilt i milepæl «TM2: Utstyr og tjenester bestilt». Hadde prosjektet vist dette tidligere i prosjekteringen kunne vi fått mer nøyaktighet i budsjettet. Dette igjen hadde ført til at vi kunne vurdert et vision system med bedre oppløsning for å få enda bedre nøyaktighet på systemet. Et vision system med høyere oppløsning hadde svart like godt på problemstillingen og kravspesifikasjon fra oppdragsgiver, men fordelene med et vision system med høyere oppløsning er at vi hadde hatt et større mulighetsrom til fysisk plassering av kamera, linse og belysning, enn hva vi fikk. Dette hadde gjort at installasjonen kunne ha gått raskere.

2.4.3 Ressurser intern i prosjektgruppen

Internt i prosjektgruppen har vi ikke hatt noen spesielle ressurser å spille på i forhold til teknologien bak vision system. Dette var nytt for alle deltagerne. Vi har organisert prosjektgruppen ut ifra personlige styrker for å best kunne utnytte deltagerne ressurser på prosjektgjennomføring. Blant annet hadde alle deltagerne erfaring fra prosjektarbeid fra tidligere, samt at alle hadde tilegnet kompetanse gjennom fagskole på blant annet Autodesk Inventor.

2.4.4 Ressurser hos oppdragsgiver

Hos oppdragsgiver har prosjektet hatt tilgang på ressurser innenfor automasjon og materialteknologi. Dette har vært nyttig for å kunne diskutere seg frem til gode kravspesifikasjoner for vision systemet i tillegg til å kunne detaljere hvilke automasjonssystemer vision systemet skulle kunne kommunisere med.

2.4.5 Ressurser hos leverandør

Valg leverandør har vært en av de viktigste ressursene prosjektet har hatt å spille på. Leverandør Eltech Solutions har den ekspertise på vision system som var nødvendig for å kunne sette sammen en vision system pakke som tilfredsstilte kravspesifikasjon og som en diskusjonspartner i starten for å vurdere om et vision system kunne fungere for å besvare problemstillingen.

Prosjektgruppen hadde fokus på å velge en leverandør som vi hadde god kommunikasjon med og som kunne bistå litt ekstra ved behov. Ressursene hos Eltech Solutions var en viktig faktor til at prosjektet har levert på tid og etter kravspesifikasjon.

Det som kunne vært forbedret er at vi hadde valgt leverandør tidligere enn hva vi la opp til. Dette for å kunne spille mer på leverandørens ekspertise og dette hadde gitt oss tid til å låne et testsystem for å sjekke hvilken oppløsning som hadde vært det optimale i bruk i fabrikkområdet til oppdragsgiver.

2.5 Verktøy og praksis

2.5.1 Praksis for å jobbe

Prosjektgruppen har hatt ukentlige møter på teams under hele prosjektløpet. Der har vi diskutert det som har vært aktuelle tema underveis i prosjektet. For mer info rundt prosessen, se kapittel 2.1.

Prosjektgruppen har møttes fysisk tre ganger under prosjektet. En gang på befaring hos oppdragsgiver, en dag i forbindelse med skolesamling på Kongsberg, og en siste gang hos oppdragsgiver for å installere og montere vision systemet. Vi har hatt flere teams møter med personer utenfor prosjektgruppen. Her nevnes; faglige ressurser hos oppdragsgiver, mulige leverandører, veiledere fra fagskolen.

Vi har ført og fulgt opp aksjoner i Microsoft Planner og referat og notater i Microsoft OneNote. De ukentlige møtene vi har hatt har stort sett vært møter for å diskutere fremdrift, status på aksjoner og lignende. Arbeid har som hovedregel skjedd mellom de ukentlige Teams møtene. Dermed har det vært viktig å ha fokus og oppfølging på aksjonene, samt at alle gruppe-medlemmer har hatt aksjoner å jobbe med.

Da prosjektgruppen består av personer i fast jobb på siden av dette prosjektet, har det vært viktig å tilrettelegge og være fleksible slik at alle har hatt mulighet til å levere på sine aksjoner. Her nevnes utsatte frister på aksjoner, fordele aksjoner ut ifra hvem som har kapasitet og lignende.

Vår vurdering er at dette har fungert tilfredsstillende, siden prosjektet har overholdt alle sine tidsfrister og milepæler. Om vi skulle gjort noe annerledes måtte det ha vært å være enda mer nøye på å føre ned notater og referat fra våre diskusjoner, for å slippe å diskutere samme problemstilling flere ganger, da man ikke alltid husker diskusjonene fra sist. Vi ser også at strammere tidsfrister i prosjektet hadde vært en styrke for å ha bedre tid mot slutten av prosjektet til idriftsetting, dokumentasjonsarbeid og overlevering.

2.5.2 Testing og kvalitetsjekking av vision systemet

Vi gjorde uttesting av vision systemet etter installasjonen. Dette for å kunne gjøre det mens hele prosjektgruppen var til stede. Det ble kjørt billets forbi vision systemet slik at vi kunne se at trigger sensor traff korrekt på billets, at timingen av lys/blits ble korrekt samt at bilde fra kamera ble så skarpt som mulig. Alle punktene nevnt over trengte finjusteringer for å fungere optimalt. Som eksempel nevnes skarphet på bildene, hvor vi måtte finjustere linsen for å sikre god nok kvalitet på bildene slik at vision programvaren klarte å finne hjørnene på billetsen.

Etter uttesting av vision systemet var det klart for kvalitetsjekking. Siden vision systemet vårt måler forholdet mellom de to diagonalene på en billets, så var prosedyren for kvalitetssjekk følgende:

1. Klargjøre vision systemet for å logge data
2. Kjøre 52 billets (en charge) forbi vision systemet på kjøreristen
3. Ta manuelle mål med skyvelære (den originale metoden å ta diagonal mål på) på alle 52 billetsene. Dette skulle da fungere som kalibreringsverdien som vision systemet skulle treffe på.
4. Sammenligne måledata fra manuell måling og vision system målingen
5. Vurdering av validitet og kvalitet på måledata. Må noen måledata forkastes?
6. Utrekninger av ønskede måle parameter, slik som standard avvik og median verdi
7. Vurdering av utregninger
8. Presentere resultat for oppdragsgiver

Etter dette var utført fikk vi følgende resultatene som vist i Tabell 5 – Resultat av verifikasjonsmålinger:

Resultat	Gjennomsnitt	Std.avvik ut fra diff manuell og kamera	Varians ut fra diff manuell og kamera	Korrelasjon mellom manuell og kamera
		0,64	0,43	0,18

Tabell 5 – Resultat av verifikasjonsmålinger

Vår vurdering av resultatet er:

- Gjennomsnittet forteller oss noe om hvor midten på datasettet er.
- Standard avviket forteller oss om spredningen i dataene. Et standard avvik på 0,43 gir oss en indikasjon på at dataene har en moderat spredning rundt gjennomsnittet som betyr at dataene ikke ligger langt fra gjennomsnittet, men fortsatt har en viss spredning.

- Variansen gir oss et mål på den absolutte spredningen. 0,18 er en lav varians som også forteller oss at vi har en relativt liten spredning rundt gjennomsnittet.
- Korrelasjonen forteller oss noe om styrken og retningen på datasettet. Med 0,66 har vi en positiv lineær sammenheng, noe som betyr at om den ene variabelen endres, så er det moderat stor sannsynlighet for at den andre variabelen endres i samme retning.

Samlet vurdering så mener vi at alle våre statistiske utregninger gir grunn til å konkludere med at vårt vision system leverer pålitelige målinger og er innenfor kravspesifikasjonen.

2.5.3 Har vision systemet fungert som tiltenkt?

Vi mener at vision systemet har fungert som tiltenkt og at det kan brukes til å tidlig varsle diagonalfeil på billets. Vår verifisering er gjort på 52 emner og gir et utgangspunkt for en statistisk vurdering av nøyaktighet, men med erfaringen og datafangsten som man får over tid med systemet i drift, vil man kunne oppgi nøyaktighet med større statistisk styrke og sannsynlighet.

Cirka 27000 bilder er tatt siden oppstart og ca. 750 bilder er forkastet på grunn av for dårlig kvalitet, noe som gir en datafangst på cirka 98%

Vi hadde som ønske å kunne lese av charge nr. (stempling på billets) samt å ha et system som også tar diagonal mål på billets som er 140x140mm. Vi har ikke fått til å lese ut charge nr. på grunn av at lyssetting må gjøres mer konsentrert, noe som påvirker bildetakingen av hele billetsen. I tillegg er stemplingen av charge nr. for dårlig til at vårt vision system klarer å fange opp dette.

Når det gjelder å kunne måle diagonal på 140x140mm så har vi fått dette til ved å lage to programmer i vision kontrolleren som man må veksle mellom når man kjører 140x140mm produksjon kontra 160x160mm produksjon.

Som nevnt i problemstillingen i kapittel 1.1.2, så har målet vært å «*Å identifisere og implementere en robust og pålitelig løsning basert på vision for måling av diagonalene på billets.*» Dette mener vi at vi har levert på da vi har et system som har vist seg pålitelig og som gir en måling av diagonalene med det formål å tidlig avdekke feil.

2.5.4 Digitale verktøy

Under prosjektet har vi brukt et flertall av digitale verktøy herunder Microsoft Teams, Microsoft Planner, Microsoft Project, Autodesk Inventor, Autodesk AutoCAD, Microsoft OneNote. Disse verktøyene kan vi igjen dele opp etter formål.

Verktøyene fra Microsoft har vært viktige i prosjektstyringen og de har tjent hver sine formål som kommunikasjon i prosjektgruppen, fillagring, notatblokk, aksjoner og tidsplanlegging.

Verktøyene fra Autodesk er brukt til teknisk arbeid for å utarbeide tekniske tegninger og teknisk dokumentasjon.

2.5.5 Håndverktøy

Under installasjonsfasen av prosjektet er det brukt et utvalg håndverktøy, herunder skrumaskin, skrujern, sveiseapparat, båndsliper, slagborremaskin med mere. Disse har vi lånt av oppdragsgiver.

2.6 Læringsutbytte

Problemstillingen i kapittel 1.1.2 sier «*Hvordan kan et pålitelig og effektivt system designes og implementeres for automatisk å måle diagonalmålene til billets i Celsa Armeringsstål, med sikte på å redusere feil på billets og øke kvalitetskontrollen?*»

Her har prosjektgruppen lært hvordan man kan bruke et marked med ekspertise innenfor flere fagfelt for å komme med løsninger på et problem. Vi hadde en tanke om å kunne bruke noe innenfor vision fagfeltet, men det var i dialog med leverandørene at vi kom frem til et produkt som kunne passe innenfor vår problemstilling. Det med å måle diagonal på billets er i utgangspunktet ikke vanskelig, men det å ha kvalitet i målingene, samtidig som produktet skal være pålitelig og effektivt krevde at vi søkte i markedet for hjelp.

Vi har også lært at det kan være veldig effektivt å avgrense problemstillinger og sette seg mål for hva man ønsker å oppnå. Det gjorde vi i dette prosjektet og det mener vi at har vært en av suksessfaktorene for at vi har lyktes både med å levere i henhold til avtale, men også på avtalt tid, noe som er en viktig faktor i et prosjekt. Avgrensningene og målene for å levere på problemstillingen kan leses i kapittel 1.1.2.

Vi lærte at det å ta ansvar er viktig for å sikre fremdrift. Vi var tidlig enige og tydelige på ansvarsfordeling mellom gruppedeltagerne. Dette for å sikre at alle får eierskap til leveransen, men også at det er tydelig hva som forventes av de gruppedeltagerne.

Vi lærte at tett og god dialog mellom prosjektgruppen og oppdragsgiveren er viktig for å kunne ta avklaringer med en gang for å sikre misforståelser. Vi har i løpet av prosjektet opplevd at vi har diskutert samme tingene flere ganger, da vi ikke har hatt et godt nok system for å notere ned de avklaringene vi har gjort. Selv om det ikke førte til noen forsinkelser eller avvik, kunne vi jobbet mer effektivt om vi hadde hatt et register på avklaringer som er gjort fra før. Dette anser vi som et forbedringspunkt.

Om man ser på læreplanmålene for studiet kan man se at flere av punktene inngår i det vi har jobbet med i løpet av prosjektforløpet. Her nevnes:

- Kunnskap: Har kunnskap om relevante maskiner og systemer som inngår i en virksomhet som baseres på prinsippene for Smart Produksjon, Industri 4.0 og Industriell Digitalisering (Fagskolen i Viken, 2024c). Dette er kanskje essensen i det vi har jobbet med i dette prosjektet, da vi har vært med å sette sammen, installere og idriftsetting av et system som helt klart dekker alle tre kategoriene.
- Ferdigheter: kan reflektere over egen faglig utøvelse innenfor smart automasjon og produksjon og justere denne under veiledning (Fagskolen i Viken, 2024c). Dette læringsmålet er i stor grad dekt ved å skrive rapport og ved å få tilbakemeldinger fra andre underveis i prosjektforløpet. Vi har gjennom skriveprosessen fått reflektert over prosessene vi har vært gjennom i løpet av prosjektiden.
- Generell kompetanse: kan utføre arbeid etter bedriftens og/eller oppdragsgivers behov (Fagskolen i Viken, 2024c). Igjen kan vi relatere til prosjektarbeidet hvor vi, basert på et oppdrag fra en oppdragsgiver har utført arbeid for å svare på oppdraget.

Det er flere andre læringsmål som kunne vært nevnt her, både mål som går på studiet Industriell Digitalisering, men også mål som mer konkret treffer alle de emnene vi har vært gjennom.

2.7 Konklusjon

Basert på det som er presentert i rapporten, konkluderer vi her med tre vellykkede punkter og tre punkter vi ville gjort annerledes.

Vellykkede

1. Gjennomføringsevnen – det har fra starten vært god gjennomføringsevne og det har vært levert i henhold til problemstilling, krav og plan. Som nevnt tidligere, så har gode relasjoner og tillit til oppdragsgiver og leverandør gjort at vi har fått stor frihet til å gjennomføre prosjektet etter vårt ønske, noe som har ført til god gjennomføringsevne.
2. Tidlig bevisst på å avgrense problemstilling. Dette for å gi en realistisk prosjektgjennomføring som gav oss muligheten til å gjennomføre prosjektet i henhold til mandat for tid og oppdrag.
3. Gruppedynamikken har vært vellykket noe som vises ved at det ikke har vært konflikter eller diskusjoner som ikke har hatt relevans til prosjektet. Prosjektmøtene har inneholdt gode diskusjoner og har hatt god takhøyde som dermed har bidratt til god gruppedynamikk.

Kunne vært gjort annerledes

1. Bedre struktur på referat skrivning og notater på avklaringer og beslutninger som er gjort. Det hadde da blitt brukt mindre tid på å diskutere ting som er glemt fra forrige gang. Det hadde også blitt bedre struktur i møter med gjennomgang av forrige referat.
2. Raskere beslutning av leverandør hadde gitt oss mulighet til å teste systemet i forkant av innkjøp. Vi måtte stole på beregninger istedenfor faktisk test av utstyret. Hadde vi fått utført testene med låneutstyr først, ville det ha redusert risikoen ytterligere for feilvalg av systempakke.
3. Strammere tidsfrister for å kunne ha en buffer av tid mot slutten av prosjektet. Ved å gi oss selv strammere frister, så hadde vi kunnet overlevert systemet til oppdragsgiveren ved ett tidligere tidspunkt. Vi har fulgt planen, men ved stramme tidsfrister kunne vi fullført overleveringen før 1.mai.

Referanser

- Belbin Norge. (2024, april 20). *Belbin – Verdens mest brukte verktøy for teamanalyse og teamutvikling*. Belbin Norge. <https://belbin-norge.no/teamanalyse/?classId=e6e69529-b1bc-4be0-b570-12306a512194>
- Bonsaksen, C., Villmones, G., & Fearnley, T. C. (2023). *Automatisert kamera vision-løsning for måling av diagonalene på billet*. Fagskolen i Viken avd. Kongsberg.
- Fagskolen i Viken. (2024a, april 20). *25TE56E EITKIDK Agil produksjon*. Studieplan. <https://studiekatalog.edutorium.no/viken/nb/emne/25TE56E-EITKIDK/2022-host>
- Fagskolen i Viken. (2024b, april 20). *25TE56G EITKIDK Elektriske systemer*. Studieplan. <https://studiekatalog.edutorium.no/viken/nb/emne/25TE56G-EITKIDK/2021-host>
- Fagskolen i Viken. (2024c, april 20). *Industriell digitalisering, Kongsberg, H21*. Fagskolen i Viken. <https://studiekatalog.edutorium.no/viken/nb/program/EITKIDK>
- Hammernes, C. H. (2023, november 16). *Alle ønsker å føle mestring gjennom å lykkes i sin jobb og prestere bedre*. Ledernytt. <https://www.ledernytt.no/faa-dine-medarbeidere-til-aa-prestere-betere.6366702-458588.html>
- Keyence. (2012). *Image Processing Useful Tips part 2*. Download technical guides. <https://www.keyence.eu/downloads/?mode=tg&q=Image%20Processing%20Useful%20Tips%20part%202&o=0&s=3>
- Keyence. (2022a). *CV-X series User Manual*. Download user manuals. <https://www.keyence.eu/downloads/?mode=ma&q=cv-x%20series%20user%20manual&o=0&s=3>
- Keyence. (2022b). *Vision System Peripheral Equipment*. Download technical guides. <https://www.keyence.eu/downloads/?mode=ca&q=Vision%20System%20Peripheral%20Equipment&o=0&s=3>
- Keyence. (2023, desember 7). *Datasheet - CA-H200M*. Download datasheets. <https://www.keyence.eu/downloads/?mode=ds&q=ca-h200m>
- Keyence. (2024a, april 23). *Concept of Minimum Detectable Object Size*. Machine Vision Basics. <https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionbasics/basic/practice02/>
- Keyence. (2024b, april 23). *Dimension Measurement*. Machine Vision Basics. <https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionbasics/use/inspection03/>
- Sagberg, I. (2020, mars 4). *Situasjonsbestemt ledelse*. Store Norske Leksikon. https://snl.no/situasjonsbestemt_ledelse

Vedlegg A – Kravspesifikasjon fra oppdragsgiver

Kravspesifikasjon Hovedprosjekt «Exactomatic»

Hensikt/mål:

- Utvikle system for automatisk diagonalmåling

Kravspesifikasjon:

- Systemet må være åpent så Celsa Armeringsstål kan videreutvikle/vedlikeholde det ved behov
 - Løpende kostnader for lisenser og utviklerverktøy ol. som fortsetter etter prosjektets avslutning må godkjennes av Celsa Armeringsstål
 - Dokumentasjon og tegninger må leveres etter Celsa Armeringsstål sine standarder.
- Måledata må kunne sendes til et av Celsa Armeringsstål sine systemer (for eksempel. Oracle database, Ignition el.)
 - Ved behov for kommunikasjon med PLS ønskes Profinet.
- Måledata må bli oppgitt i % og/eller mm.
- Nøyaktighet på diagonalmålet skal være innenfor ± 1 mm
 - Systemet bør kunne kompensere for problematikken med skjegg på emner
 - Nøyaktighet og repeterbarhet skal være dokumentert før Celsa Armeringsstål overtar systemet



CA-H200M

16× speed, environment-resistant 2 megapixel camera (Monochrome)

CE

Specifications

Model	CA-H200M	
Image element	Monochrome CMOS, 7×/16× high-speed reading using square-pixel	
Unit cell size	4.5 μm × 4.5 μm	
Valid pixel count	2 megapixel mode: 1600 (H) × 1200 (V), 1 megapixel mode: 1024 (H) × 960 (V)	
Image size	Equivalent to 1/1.8"	
Scanning system	Progressive At 7× transfer speed: 28.9 ms *1, At 16× transfer speed: 11.8 ms *2	
Pixel transfer frequency	At 7× transfer speed: 86 MHz (43 MHz ×2) *1, At 16× transfer speed: 198 MHz *2	
Transfer system	Digital serial transfer	
Electronic shutter	Can be set to 0.05 to 9000 msec by specifying the following numerical inputs: 1/15, 1/30, 1/60, 1/120, 1/240, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000, 1/20000	
Lens mount	C-mount	
Enclosure rating	IP64*3	
Environmental resistance	Ambient temperature	0 to 45°C
	Relative humidity	35 to 85%RH
Weight	Approx. 75 g (not including lens)	

*1 Transfer speed setting: Standard

*2 Transfer speed setting: Fast

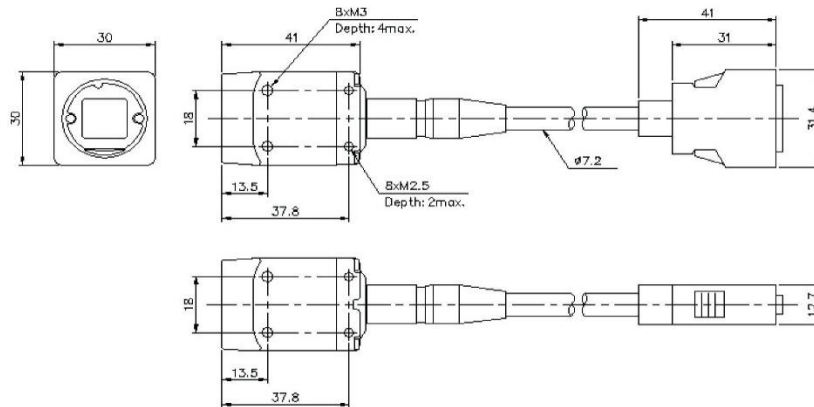
*3 A KEYENCE-specified IP64-rated lens and environment-resistant cable must be used on the product.

Dimensions

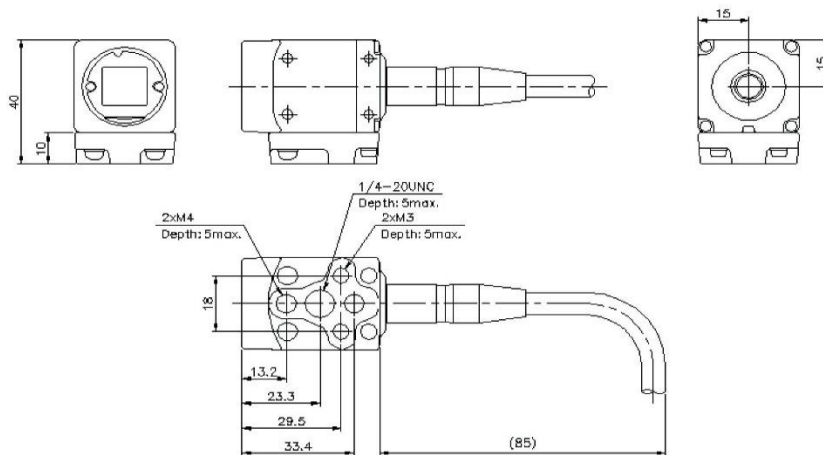
* Download CAD file or product manual for larger image/text and more detail.

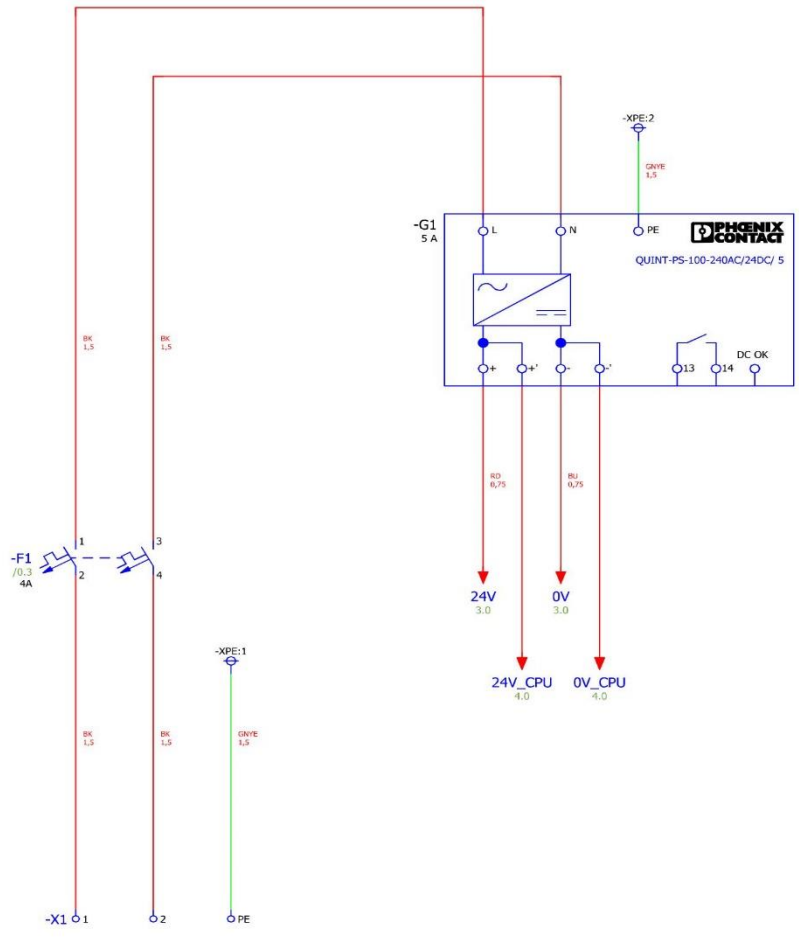
CA-H200M/H200C/200M/200C

When CA-CH* is connected

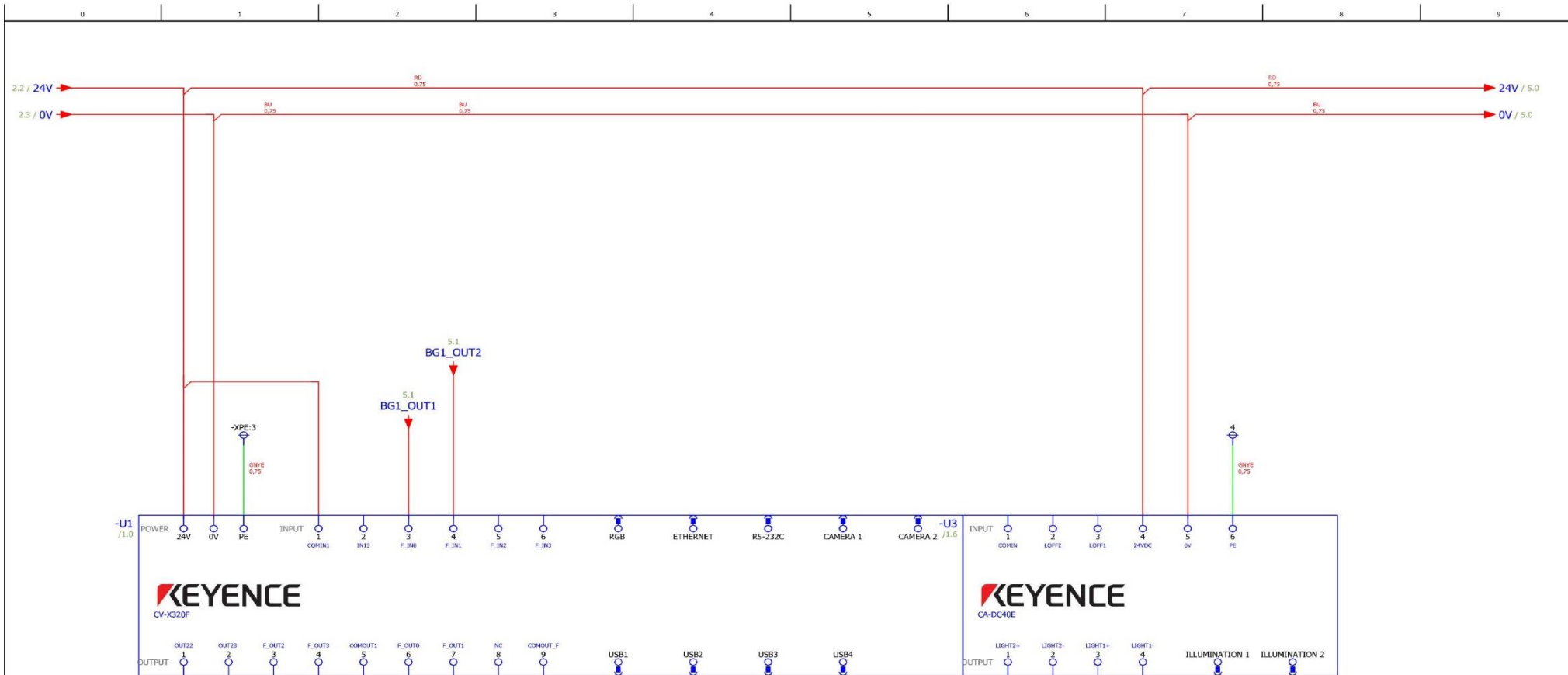


When plastic fitting (accessory) is attached





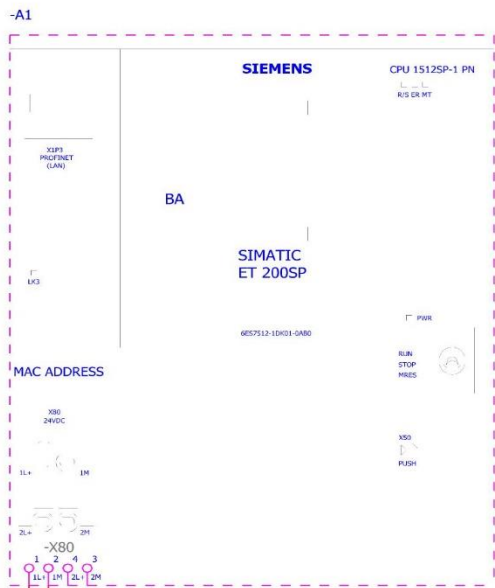
1										3	
			Date	23.02.2024	EPLAN	Celsa Armeringsstål AS	Power supply		= DE0222		
			Ed.	ASATKAN					+ DX1		
			Appr.		Billet diagonal measurement						
Modification	Date	Name	Original		Replacement of				=DE0222		Page 2
					Replaced by						Page 5 / 14



2

4

			Date	23.02.2024	EPLAN	Celsa Armeringsstål AS	Camera controller		= DE0222
			Ed.	ASATRAN	Billet diagonal measurement				+ DX1
			Appr.		Replacement of				Page 3
Modification	Date	Name	Original		Replaced by			=DE0222	Page 6 / 14



2.2 / 24V_CPU →
2.3 / 0V_CPU →

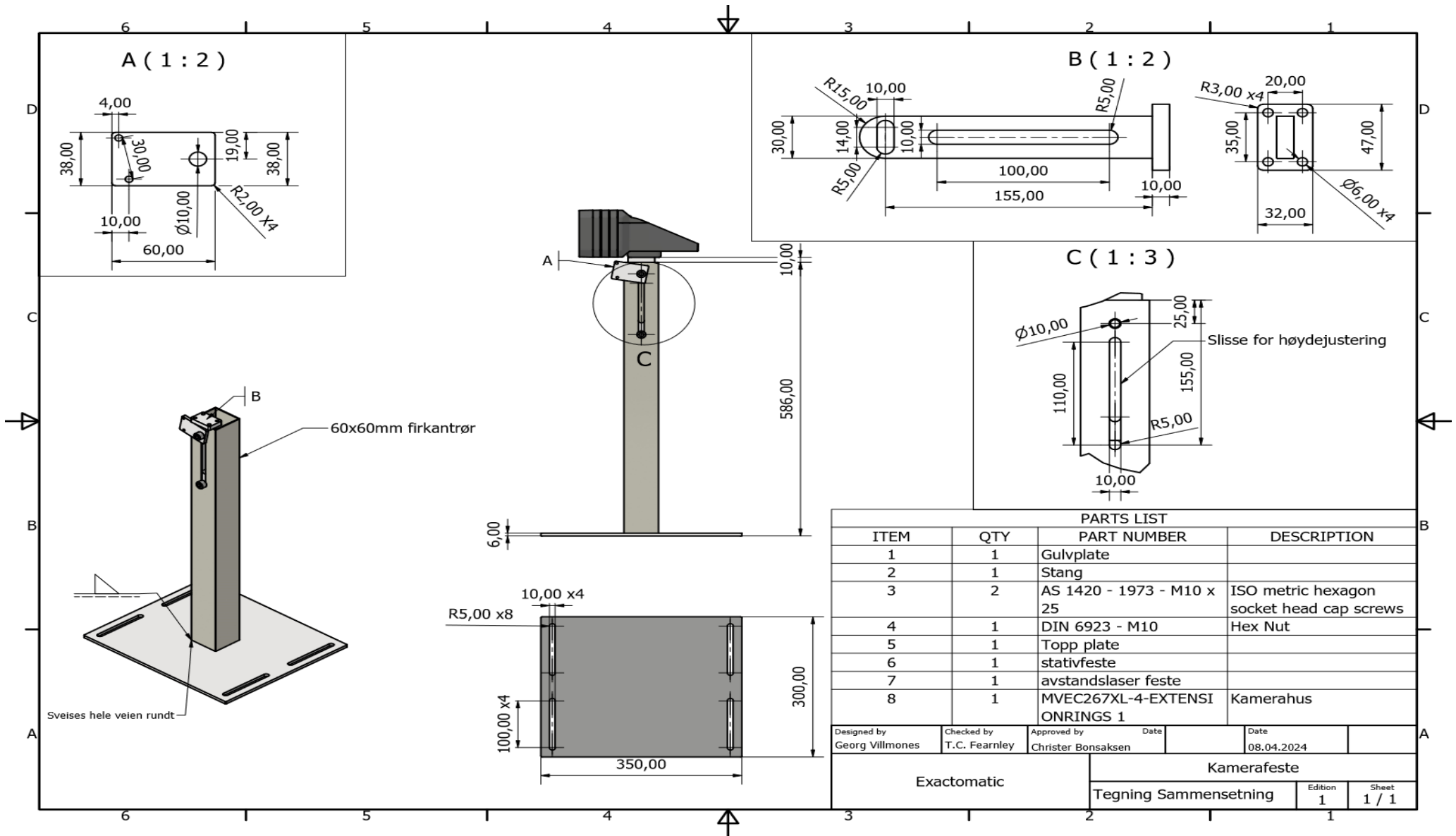
				3				5	
		Date	23.02.2024	EPLAN	Celsa Armeringsstål AS	SIMATIC CPU		= DE0222	
		Ed.	ASATRAN					+ DX1	
		Appr.		Billet diagonal measurement					Page 4
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by			=DE0222	Page 7 / 14

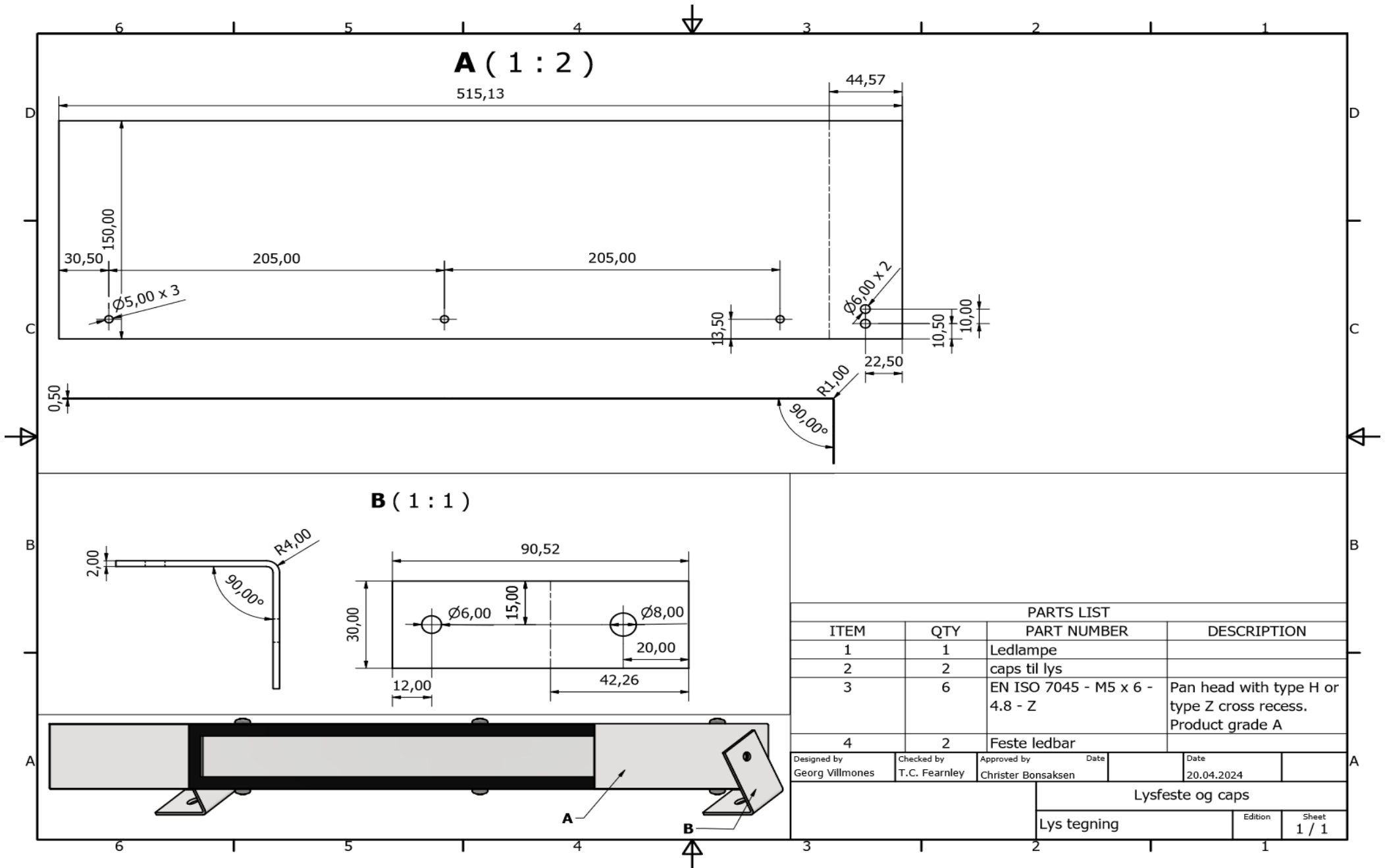


				Date	23.02.2024	EPLAN	Celsa Armeringsstål AS	Laser detection			= DE0222	Page 5
				Ed.	ASATRAN						+ DX1	
				Appr.								
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by			=DE0222	Page	8 / 14		

&EMA=+/1

Vedlegg D – Produksjonstegninger





A (1 : 2)

515,13

44,57

30,50

150,00

205,00

205,00

Ø5,00 x 3

13,50

Ø6,00 x 2

10,50

10,00

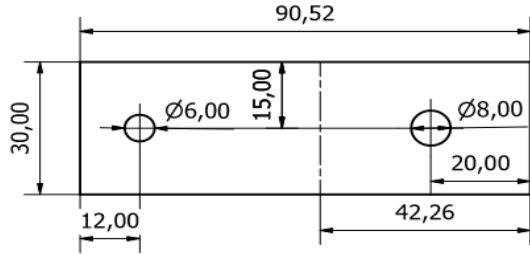
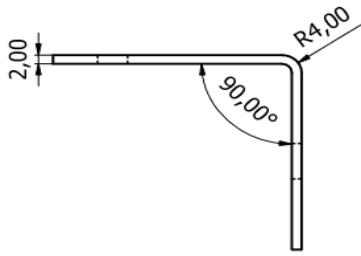
22,50

R1,00

90,00°

0,50

B (1 : 1)



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Ledlampe	
2	2	caps til lys	
3	6	EN ISO 7045 - M5 x 6 - 4.8 - Z	Pan head with type H or type Z cross recess. Product grade A
4	2	Feste ledbar	

Designed by Georg Villmones	Checked by T.C. Fearnley	Approved by Christer Bonsaksen	Date 20.04.2024
--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	--------------------

Lysfeste og caps	
Lys tegning	Edition Sheet 1 / 1

Vedlegg E – Verifisering av måling

Resultat	Gjennomsnitt	Std.avvik: differanse manuell - kamera	Varians: differanse manuell og kamera	Korrelasjon: manuell - kamera	Billett emne i mm	Perfekt diagonal basert på billett emne
		0,64	0,43	0,18	0,66	160

Verifisering av måleresultat opp mot manuelle målinger av diagonal på billetts

Billett nummer	Manuell - Upper left - Lower right	Manuell - Upper right - Lower left	Forhold i % - Manuell måling	Forhold i % - Kamera måling	Forhold i % - Differanse
1	226	222	1,786	3,156	1,370
2	226	223	1,336	1,557	0,221
3	223	223	0,000	0,541	0,541
4	224	225	0,445	1,104	0,659
5	225	222	1,342	2,325	0,983
6	224	221	1,348	1,754	0,406
7	221	224	1,348	2,136	0,788
8	222	224	0,897	0,973	0,076
9	225	221	1,794	0,57	1,224
10	226	221	2,237	2,338	0,101
11	227	220	3,132	1,897	1,235
12	224	223	0,447	1,438	0,991
13	222	224	0,897	0,942	0,045
14	226	220	2,691	3,379	0,688
15	221	225	1,794	1,085	0,709
16	223	224	0,447	1,535	1,088
17	223	222	0,449	0,067	0,382
18	226	220	2,691	3,813	1,122

19	223	224	0,447	1,428	0,981
20	223	226	1,336	2,022	0,686
21	223	224	0,447	0,007	0,440
22	225	221	1,794	1,811	0,017
23	222	225	1,342	3,124	1,782
24	222	226	1,786	1,883	0,097
25	225	224	0,445	0,914	0,469
26	225	222	1,342	2,014	0,672
27	223	223	0,000	1,606	1,606
28	223	225	0,893	1,913	1,020
29	225	222	1,342	1,603	0,261
30	226	221	2,237	1,681	0,556
31	222	224	0,897	1,366	0,469
32	222	226	1,786	1,618	0,168
33	225	221	1,794	2,02	0,226
34	226	220	2,691	2,422	0,269
35	222	224	0,897	1,655	0,758
36	221	224	1,348	0,49	0,858
37	225	222	1,342	2,163	0,821
38	226	220	2,691	2,817	0,126
39	223	224	0,447	0,885	0,438
40	223	225	0,893	0,999	0,106
41	225	223	0,893	1,607	0,714
42	226	222	1,786	2,177	0,391
43	224	223	0,447	1,714	1,267
44	223	224	0,447	0,222	0,225
45	223	223	0,000	0,895	0,895
46	223	225	0,893	0,865	0,028
47	224	223	0,447	1,013	0,566
48	225	223	0,893	1,873	0,980
49	222	224	0,897	1,499	0,602
50	223	224	0,447	0,912	0,465
51	224	223	0,447	1,335	0,888
52	227	227	0,000	1,024	1,024

Rapport etter tur til Celsa Armeringsstål 22.feb – 24.feb 2024

Målet med turen var å montere og gjøre en første oppsett av vision kamera systemet som var bestilt før nyttår 2023 og ankommet i januar/februar 2024.

På forhold hadde Celsa Armeringsstål montert inn vision kontrolleren i skapet og koblet den til strømforsyning og nettverk, slik at vi fikk tak i den via RDP.

Torsdag 22.feb: Vi startet med å montere kamera/linse i kamerahus og deretter kamerahuset oppå kamerastativet. Vi så at adapter platene som fulgte med ikke helt passet festet på kamera, slik at vi måtte tenke alternativt for å få skrudd kameraet fast.

Vi fylte ut en SJA for å få lov å arbeide ute i Strengen. Deretter startet vi å trekke kablene for kamera og lys fra skap hvor kontroll er montert og til plassering av kamera. Når kablene var trukket så koblet vi til for å se at vi fikk inn bilde og lys som planlagt. Nå justerte vi inn kameraet for å få best mulig bildekvalitet for å kunne fastslå endelig plassering av kameraet.

Arbeidstid: 12 timer, 3 personer

Fredag 23.feb: Når dette var gjort målte vi opp og kuttet hull i varmeskjoldet, som vi hadde demontert for å finne kameraplassering, før vi monterte det igjen.

Vi så litt på mulig plassering av LED lysbar og hadde flere ideer for plassering før vi bestemte oss for å plassere LED lysbar fremfor og ovenfor hullet til kameraet på den varme siden av varmeskjoldet. Vi så at LED lysbar hadde for stor spredning av lys slik at vi trengte en mulighet for å justere på vinkel. Da det ikke fulgte med noen braketter til å feste LED lysbar, måtte vi lage en L-brakett som vi kunne bruke, som samtidig var mulighet til å justere vinkel på. Vi jobbet med å sette opp triggersensoren, og trengte da en forlengelseskabel, da kablen som fulgte med var for kort. Dette fikk vi tak i hos elektro på Celsa Armeringsstål. Da måtte vi trekke ny kabel, i samme kabelgrøft som de to første, mellom kontroll og kamera. Trigger sensor måtte settes opp med rette trigger avstander, altså i hvilket område trigger skulle slås av og på. Det ble laget forsinkelse for å forhindre at kamera tar bilder for eksempel om noen skulle gå forbi triggerstrålen.

Arbeidstid: 12 timer, 3 personer

Lørdag 24.feb: Vi så at vi fremdeles trengte å begrense spredningen av lyset, så vi lagde til noen tynne plater av stål som vi kledde rundt LED Lysbar for å få mest mulig konsentrert lysstråle. Vi måtte også justere litt mer på trigger sensor for å få den til å trigge når vi ønsket det.

Nå var alle komponentene montert og oppe og kjører, så det som gjenstår er å finjustere software og sette inn reglene for måling av diagonal.

Arbeidstid: 12 timer, 3 personer

Forbedringer:

- Kvalitetssikring og kalibrering mot faktiske mål – hvordan gjør vi dette i praksis?
- GDPR – Er dette noe å tenke på? Kamera skal ikke klare å ta bilde av mennesker, da det kun har fokus på billets som er ca. 2 meter unna. Eneste måte å ta bilde av person på er ved å trigge sensoren manuelt og stå foran kamera.
- Laser – Laser peker litt på skrått oppover slik at når det ikke er billett på kjøreristen, så vil laser lyse på skrått oppover helt til den treffer en vegg i område rundt langrullene. Laser kan være synlig for forbigående som går fra strengen kabin og mot stimplingsmaskinen.
- Blink lys – Er synlig på CCTV kamera. Er blinking akseptabel eller må ytterligere tiltak gjøres?
- Avstand kamera til billett – Er forskjellig fra gang til gang (innenfor et visst område). Vanskelig for kamera å få skarpe bilder om avstand varierer mye.
- Betongspor til kabler – kabler er lagt i kabelgrøft hvor hydraulikkør (og andre kabler) til kjøreristen ligger. Men det er ca. 80cm med kabler som ligger oppå betongen mellom kabelgrøft og kamera. Er det ønskelig å skjære ut et betongspor for å slippe kabler oppå betongen. Kablene er i dag lagt inni en hydraulikkslange for bedre mekanisk beskyttelse.

Veien videre:

- Møte med Celsa Armeringsstål for å avklare om montasje er innenfor kravspesifikasjon.
- Møte med Eltech for tips til å optimalisere software
- Forbedre software basert på innspill

Vedlegg G – Gantt skjema

ExactOmatic



ExactOmatic



Vedlegg H – Overleveringsprotokoll

OVERLEVERINGSPROTOKOLL

Overleveringen gjelder

(prosjektnavn) _____

Prosjektansvarlig: _____

Prosjektleder: _____

1. Den _____ ble det holdt overleveringsmøte med gjennomgang av overnevnte utstyr/anlegg mellom prosjektorganisasjonen og oppdragsgiver.
2. Følgende deltok i møtet:

For oppdragsgiver:	For prosjektgruppen:

3. Disse feil og manglene ble påpekt under gjennomgangen og skal rettes av prosjektorganisasjonen i henhold til følgende frister:

Feil/Mangler	Tidsfrist:

4. Overleveringsdato fastsettes til dato: _____

For prosjektorganisasjonen

For brukerorganisasjonen

Sjekkliste:

Kontrollpunkter:	Ja/Nei/NA	Kommentar
Er anlegget/utstyret levert i henhold til oppdragsbeskrivelse / spesifikasjon?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Er informasjon til eller tillatelser fra myndigheter i orden?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Er verne- og sikkerhetsanalyse utført?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Er sikkerhetsregler utarbeidet?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Er prøve kjøring av anlegget/ utstyret utført?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Er systemets funksjon og nøyaktighet testet?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Kan anlegget/utstyret betraktes som overlevert med fullt drifts- og vedlikeholdsansvar?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Er dokumenter klargjort for arkivering?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Opplæring av driftspersonell gjennomført?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Frist for utbedring av feil/mangler:		
Oppfølgingsmøte, dato:		

Dato: _____

For prosjektorganisasjonen_____
For brukerorganisasjonen

Vedlegg I – Konseptmatrise

Konsept matrise - Diagonalmål av billets - Vision systemer					
		Konsept 1 - Kamera system		Konsept 2 - Laser system	
Utvalgskriterier	Vekting [%]	Vurdering [1-5]	Vektet vurdering	Vurdering [1-5]	Vektet vurdering
Design og robusthet	10	3	30	4	40
Kostnad	35	5	175	2	70
Teknisk løsning	30	3	90	5	150
Brukervennlig	10	4	40	3	30
Samarbeid med leverandør	15	4	60	2	30
Total vurdering [1-5]	100	3,95		3,2	
Samlet vurdering		1		2	