



**Høgskolen i Telemark**  
Avdeling for teknologiske fag  
Bachelorutdanningen

---

**RAPPORT FRA 6.-SEMESTERSPROSJEKT VÅREN 2011**  
IA3106 Industrielle programmeringssystemer  
IA6-11-11

# Fyllestasjon for bokser vha. vision-kamera



**Avdeling for teknologiske fag**

Adresse: Pb 203, 3901 Porsgrunn, telefon 35 02 62 00, [www.hit.no/TF](http://www.hit.no/TF)

---

Bachelorutdanning – Masterutdanning – Ph.D.-utdanning



# Høgskolen i Telemark

Avdeling for teknologiske fag

Bachelorutdanningen

---

## RAPPORT FRA 6.-SEMESTERSPROSJEKT VÅREN 2011

**Emne:** IA3106 Industrielle programmeringssystemer

**Tittel:** Fyllestasjon for bokser vha. vision-kamera

Rapporten utgjør en del av vurderingsgrunnlaget i emnet.

**Prosjektgruppe:** IA6-11-11

**Tilgjengelighet:** Åpen

**Gruppedeltakere:**

*André Skare Berg*

*Espen Løkseth*

*Matias Wilhelmsen*

*Kristian Torsvik*

**Hovedveileder:** Morten Pedersen

**Sensor:**

**Biveileder:**

**Prosjektpartner:**

**Godkjent for arkivering:** \_\_\_\_\_

**Sammendrag:**

Prosjektet i Industrielle programmeringssystemer inneholder bygging og oppkopling av et transportbåndsystem med fyllestasjon og enkel sortering. Systemet er styrt av en Siemens S7-300 PLS med tilhørende skjermbasert brukergrensesnitt. Datamatriser brukes for å bestemme fylling og sortering av beholderne på båndet. Det benyttes en vision-sensor av typen DVT Legend 530 til gjenkjenning av matrisene. Oppgaven fokuserer spesielt på maskinsikkerhet. Som følge av klemfare ved bruk av maskinen, er det benyttet en sikkerhetsmonitor med tilhørende lysgardin. Denne innretningen er montert for å hindre at uønskede gjenstander kommer inn i farlig område. Materialvalget er av en slik kvalitet at modellen tåler lang tids bruk og ombygging. Modellen er også bygd slik at materiellet enkelt kan byttes ut eller flyttes. Anlegget fungerer i henhold til systembeskrivelsen. Dataverktøy som gruppen har benyttet i prosjektet er L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub> ved hjelp av MiK<sub>T</sub>E<sub>X</sub> og T<sub>E</sub>XnicCenter, Autodesk AutoCAD, DVT FrameWork, MS Project, Visio, Office-pakken, Siemens Simatic Step 7 og WinCC.

Høgskolen tar ikke ansvar for denne studentrapportens resultater og konklusjoner



Avdeling for teknologiske fag



# Telemark University College

Faculty of Technology

Bachelor of Science

---

## JOURNAL FROM 6<sup>TH</sup> SEMESTER PROJECT SPRING 2011

**Course:** *IA3106 Industrielle programmeringssystemer*

**Title:** *Fyllestasjon for bokser vha. vision-kamera*

This journal is a part of the evaluation result for the course.

**Project group:** *IA6-11-11*

**Availability:** *Open*

**Group participants:**

*André Skare Berg*

*Espen Løkseth*

*Matias Wilhelmsen*

*Kristian Torsvik*

**Mentor:** *Morten Pedersen*

**Sensor:**

**Assisting mentor:**

**Project partner:**

**Approved:** \_\_\_\_\_

**Summary:**

This project, related to the class «Industrielle programmeringssystemer» involves the construction of a conveyor belt model, with a loading station for bulk. The conveyor belt model is controlled by a Siemens S7-300 PLS with a corresponding screen-based control system. Data matrices are used to determine the type and amount of bulk to be loaded into the containers. A vision sensor, DVT Legend 530, has been used for code recognition. The code also determines which platform the containers are directed to. The assignment has focused on machine safety. To prevent access to hazardous areas, a safety monitor connected to a light guard has been implemented. All the materials used in the construction are selected for long-term use and scalability. The project resulted in a system fulfilling the specifications defined by the assignment. Computer tools used in this project are L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X<sub>2</sub><sub>ε</sub> with MiK<sub>T</sub>E<sub>X</sub> and T<sub>E</sub>XnicCenter, Autodesk AutoCAD, DVT FrameWork, MS Project, Visio, the Office suite, Siemens Simatic Step 7 and WinCC.

TUC takes no responsibility for the results and conclusions in this student journal



Faculty of Technology

# FORORD

Prosjektet er utført av en studentgruppe bestående av André Skare Berg, Espen Løkseth, Kristian Torsvik og Matias Wilhelmsen. Oppgaven er gjennomført i 6. semester ved Høgskolen i Telemark, under utdanningen for Informatikk og automatisering, Y-VEI ved Institutt for Elektro, IT og Kybernetikk. Fremdriftsplanen er vedlagt som vedlegg A, WBS er vedlegg B og oppgavetekst er vedlegg C.

Forsidebildet er hentet fra The Heart of Innovation, lokalisert 23.11.2010 på adressen [http://www.ideachampions.com/weblogs/archives/2011/01/50\\_awesome\\_quot\\_1.shtml](http://www.ideachampions.com/weblogs/archives/2011/01/50_awesome_quot_1.shtml).

Rapporten krever at leseren har grunnleggende kunnskaper om elektro, automasjonsteknikk og PLS-programmering. Alle elektriske skjemaer og diagrammer følger norsk standard for elektroteknisk dokumentasjon [1]. Se vedlegg H.

Følgende dataverktøy har blitt brukt i hovedprosjektet:

- L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub> ved hjelp av MiK<sub>T</sub>E<sub>X</sub> og T<sub>E</sub>XnicCenter
- Autodesk AutoCAD Electrical
- Microsoft Excel, PowerPoint, Visio og Project
- Siemens Simatic Step 7 og WinCC
- DVT FrameWork

Dette er den første studentrapporten på bachelornivå som offisielt er skrevet i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X ved Høgskolen i Telemark. Espen Løkseth har selv utformet L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-malen basert på [2]. Dette inkluderer også B<sub>I</sub>B<sub>T</sub>E<sub>X</sub>-layouten, basert på [3].

Porsgrunn, 15. januar 2016.

---

André Skare Berg

---

Espen Løkseth

---

Kristian Torsvik

---

Matias Wilhelmsen

## NOMENKLATURLISTE

CPU	–	Central Processing Unit – Prosessor
DIP	–	Dual In-line Package
FB	–	Function Block – Programblokk i Siemens Step 7
FBD	–	Function Block Diagram – PLS-programmeringsspråk bestående av logiske porter mm.
FC	–	Function – Programblokk i Siemens Step 7
FFB	–	Flange Focal Distance – Avstanden fra bildebrikken til bakkant av objektivet
HiT	–	Høgskolen i Telemark
I/O	–	Input/Output
MBP	–	Manchester Bus Power
OB	–	Organization Block – Programblokk i Siemens Step 7
Profibus DP	–	Process Field Bus Decentralized Peripherals
PSU	–	Power Supply Unit – Strømforsyningsenhet
SFC	–	Sequential Function Charts – PLS-programmeringsspråk bestående av trinn, aksjoner og overgangbetingelser for sekvensprogrammering

# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Systembeskrivelse</b>	<b>7</b>
2.1	Automatisk sekvens . . . . .	8
2.2	Sikkerhetsmonitor . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Elektriske komponenter</b>	<b>10</b>
3.1	Sikkerhetsmonitor . . . . .	11
3.1.1	SB4 Modul OR . . . . .	12
3.1.2	SB4 Modul 4CP . . . . .	12
3.1.3	SB4 Modul 4M . . . . .	12
3.1.4	SB4 Modul 2E . . . . .	13
3.1.5	SB4 Modul 4C . . . . .	13
3.2	Frekvensomformer . . . . .	14
3.2.1	Konfigurering . . . . .	14
3.3	Sensorer . . . . .	15
3.4	Pneumatikk . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Mekanisk konstruksjon</b>	<b>17</b>
4.1	Materialbruk og utførelse . . . . .	17
4.2	Elektrisk oppkopling . . . . .	17
4.2.1	Vern . . . . .	18
4.2.2	Utjevningsforbindelse . . . . .	18
4.2.3	Valg av kabler . . . . .	18
4.2.4	Støyskjerming . . . . .	19
4.3	Forslag til utvidelser av transportbåndsystemet . . . . .	19
4.3.1	Enkel utvidelse . . . . .	19
4.3.2	Utbygging av endestasjonene . . . . .	19
4.3.3	Kombinasjon med andre modeller og identifikasjonsmetoder . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Feltbussystem</b>	<b>21</b>
5.1	Profibus DP . . . . .	21
5.2	Konfigurasjon av Profibus DP-adapter . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Vision</b>	<b>23</b>
6.1	DVT Legend 530 . . . . .	24
6.1.1	Valg og tilpasning av objektiv . . . . .	24
6.2	Datamatriser . . . . .	25
6.2.1	Plassering av datamatriser på bokser . . . . .	26
6.3	Konfigurering av visionkamera . . . . .	26
6.3.1	Oppsett av I/O-parametre i kameraet . . . . .	29

<b>7 Brukergrensesnitt og PLS-program</b>	<b>30</b>
7.1 Brukergrensesnittet . . . . .	30
7.1.1 Organisering . . . . .	30
7.1.2 Fargevalg . . . . .	32
7.1.3 Produktvalg . . . . .	32
7.1.4 Vurdering av HMI standarddokument . . . . .	33
7.2 PLS-programmet . . . . .	34
7.2.1 Sikkerhet . . . . .	36
7.2.2 Styring av frekvensomformer . . . . .	36
<b>8 Konklusjon</b>	<b>38</b>
<b>Referanser</b>	<b>39</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>41</b>

# 1 INNLEDNING

Prosjektet er en del av faget IA3106 Industrielle programmeringssystemer gitt våren 2011 ved Høgskolen i Telemark. Målet med prosjektet er å få bedre kunnskaper innen vision-teknologi, feltbussteknikk, sekvensprogrammering og HMI-design, i tillegg til å få en innsikt i maskindirektivet, med fokus på sikkerhet.

Oppgaven går ut på å bygge og programmere et transportbåndsystem for fylling og sortering av beholdere. Beholderne som settes på båndet skal identifiseres av et visionkamera. Gruppen har valgt å løse dette ved å avlese todimensjonale strekkoder av typen datamatrix («Data Matrix»), festet på beholderne. Denne identifikasjonen brukes til å bestemme fyllingsgraden av to stoff, *A* og *B*, samt om beholderen skal skyves ut til en siderampe vha. et luftstempel. Stoffene *A* og *B* er plastpellets som fylles bulkvis i beholderne vha. en matestasjon.

Systemet skal styres av en Siemens S7-300 PLS, hvor sekvensprogrammering (SFC) skal benyttes. En ekstern I/O-modul skal tilknyttes PLS-en vha. feltbusstandarden Profibus DP. Frekvensomformerer som driver transportbåndmotoren skal også kommunisere over den samme feltbussen.

Et brukergrensesnitt skal utvikles i WinCC for interaksjon med operatør. Brukergrensesnittet bygges opp etter HiTs standarddokument for godt HMI-design, samt generelle tips [4, 5]. En utvidelse av standarddokumentet skal vurderes.

En annen viktig del av prosjektet er å ivareta sikkerheten rundt systemet. En sikkerhetsmonitor benyttes til dette. Dersom en farlig situasjon oppstår, skal sikkerhetsmonitoren stoppe alle bevegelige deler momentant. På transportbåndet er det montert en plasttunnel før fyllestasjonen. Ved inngangen til tunnelen, er det satt opp en sikkerhetsstråle og et sett med mutingsensorer. Mutingssensorene vil gjøre det mulig for en beholder av riktig størrelse å slippe inn i tunnelen. En «farlig situasjon» registreres dersom sikkerhetsstrålen blir brutt uten at mutingsensorene er aktive, eller ved at nødstoppbryteren aktiveres.

Videre skal det produseres dokumentasjon av det elektriske anlegget, inkludert PLS-program og brukergrensesnitt.

Innholdet i hvert enkelt kapittel i denne rapporten er som følger.

**Kapittel 2** Gir en overordnet beskrivelse av sorteringssystemet.

**Kapittel 3** Beskriver maskinvareenheter som er brukt.

**Kapittel 4** Dokumenterer den mekaniske konstruksjonen av systemet.

**Kapittel 5** Beskriver feltbussystemer, med spesiell vekt på Profibus DP.

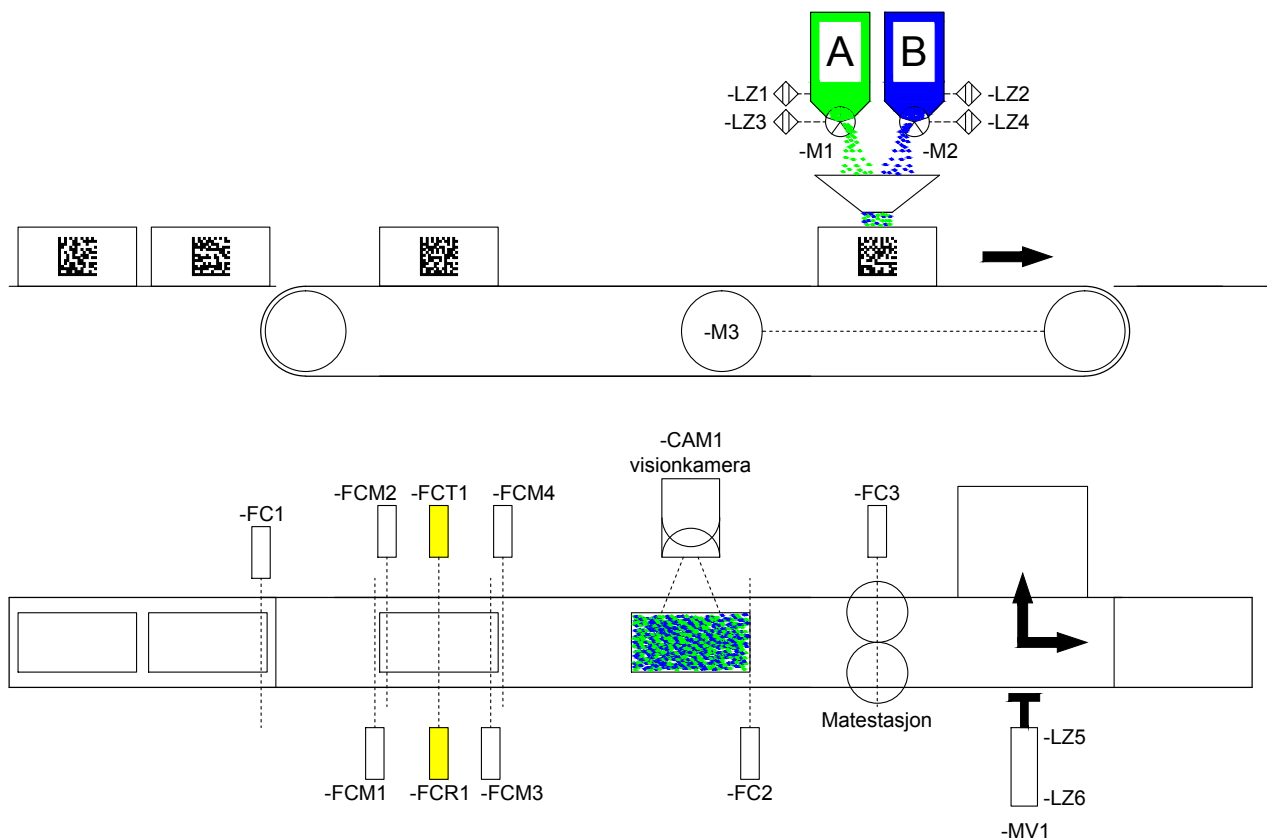
**Kapittel 6** Omhandler brukergrensesnittets og PLS-programmets oppbygning.

**Kapittel 7** Presenterer prosjektgruppens konklusjon.



## 2 SYSTEMBESKRIVELSE

Dette kapitlet vil gi en overordnet beskrivelse av prosjektoppgaven. Prosjektet baserer seg på oppgaveteksten, se vedlegg C. Prosjektgruppen har gjort en del endringer i forhold til oppgaveteksten, for å tilpasse systemet til vision-kameraet og de ulike sensorene som var tilgjengelige. Endringene går i hovedsak ut på plassering og nummerering av sensorer. Anleggstegetningen på figur 2-1 viser oppbygningen av transportbåndsystemet.

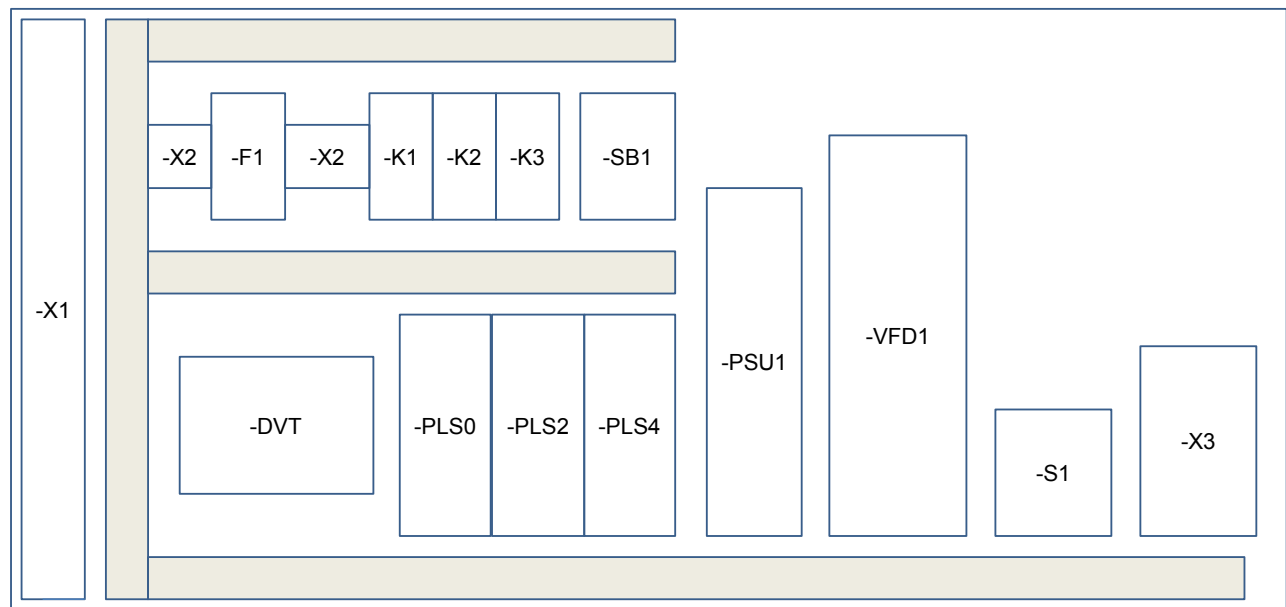


Figur 2-1: Anleggstegetning

Anlegget er koblet opp på et brett, hvor de ulike komponentene er plassert i henhold til figur 2-2. Forklaring til komponentreferansene i figuren finnes i tabell 3-1.

Et brukergrensesnitt er laget ved hjelp av WinCC. Her kan operatøren sette parametre, overvåke prosessen og logge alarmer og hendelser, i tillegg til å styre anlegget manuelt eller sette det i automatisk modus.

Den automatiske modusen og sikkerhetssystemene som er benyttet i forbindelse med anlegget, vil bli nærmere beskrevet i de neste underkapitlene.



Figur 2-2: Arrangementstegning for koplingsbrettet

## 2.1 Automatisk sekvens

Når anlegget settes i automatisk modus, vil systemet kunne jobbe uten menneskelig tilsyn (bokser må settes på båndet manuelt).

Følgende kriterier for start av sekvens må oppfylles (samtidig):

- Automatisk modus aktivert i brukergrensesnittet.
- Nødstoppbryter S1 ikke aktivert.
- Sikkerhetsstrålen ikke brutt – signal gitt via sikkerhetsmonitor.
- Nivåfølerene LZ1 og LZ2 ligger inne.
- Materampesensor FC1 aktivert – beholder i startposisjon.

Hvis alle kriterier er oppfylt, vil transportbåndet starte. Beholderen passerer et lysgitter ved inngangen til en tunnel som leder til visionkameraet. Lysgitteret er beskrevet i underkapittel 2.2. Visionkameraet fotograferer og tolker en datamatrise, på beholderen, uten å stoppe transportbåndet. Informasjonen som er lagret i datamatrisen, bestemmer hvordan beholderen skal fylles og behandles videre. Det er satt opp fire alternativer, der de tre første er forskjellige «produkter», og det fjerde er ikke gjenkjent datamatrise/produkt.

Dersom visionkameraet registrerer beholderen som et av de tre produktene, vil sensoren FC3 stoppe båndet når beholderen er under fyllestasjonen. Avhengig av produkt (1, 2 eller 3), vil det fylles forskjellige mengder bulk *A* og *B*. Disse mengdene bestemmes i brukergrensesnittet.

Ved endt fylling starter transportbåndet. Avhengig av om beholderen skal skyves ut eller ikke, vil en av to sekvenser starte:

1. Transportbåndet stopper etter en viss tid, for å posisjonere beholderen foran et pneumatisk stempel. Beholderen skyves ut på en siderampe ved at stempelet går ut, fram til giver LZ5 blir aktivert. Deretter går stempelet inn igjen til giver LZ6.
2. Transportbåndet fortsetter slik at beholderen kjøres av båndet.

Dersom det innen tre sekunder står klar en ny beholder ved startposisjonen, kjører sekvensen på nytt uten at båndet stoppes. Dersom ingen boks blir detektert, stoppes båndet. Programmet vil vente på at sensor FC1 detekterer en ny boks, før sekvensen kjøres på nytt.

## 2.2 Sikkerhetsmonitor

Lysgardin og nødstoppbryteren vil alltid stoppe bevegelige deler momentant ved aktivering, uansett om programmet er i automatisk eller manuell modus. For å få til dette er det benyttet en sikkerhetsmonitor. PLS-programmet vil gå over i sikkerhetsmodus, og et passord kreves for opplåsing av denne. Sekvensprogrammet vil ikke starte igjen automatisk – etter oppheving av sikkerhetsmodus vil programmet gå i manuell modus.

### 3 ELEKTRISKE KOMPONENTER

Dette kapitlet vil gi en beskrivelse av de elektriske og elektroniske hovedkomponentene i prosjektet, og hvordan de er konfigurert. I tabell 3-1 er de viktigste elektroniske komponentene listet opp med referanse til koplingsskjemaene og blokkdiagrammene. Koplingsskjemaer med tilhørende koplingstabeller finnes i vedlegg H. De neste underkapitlene vil beskrive de elektriske enhetene nærmere.

Tabell 3-1: Elektriske hovedkomponenter

Ant.	Produsent	Modell	Referanse	Beskrivelse
1	Pepperl+Fuchs	SB4	SB	Sikkerhetsmonitor.
1	Siemens	S7-300	PLS	Siemens Simatic S7 PLS, ikke montert på brettet.
1	Siemens	ET 200M	PLS0, PLS2, PLS4	Ekstern digital I/O-modul for PLS. Med Profibus DP-tilkopling.
6	SICK	WT 42P330	FCM1-FCM4, FC1, FC3	Brukt ved start, til muting og ved fyllestasjon. Optisk sensor med rekkevidde inntil 13 cm.
1	Fotek	DR-30X	FC2	Optisk sensor ved vision-kamera.
1	Mean Well	Q-120D	PSU1	Strømforsyning, 12 og 24 V.
1	Cognex	DVT530	CAM	Vision-kamera.
1	Cognex	DVT BOB	DVT	I/O-modul for vision-kamera.
1	ABB	ACS355	VFD1	Frekvensomformer.
1	ABB	FPBA-01		Profibus-adapter for frekvensomformeren.
1	Parker Lucifer	341P01	MV1	Elektrisk 5/2-pneumatikkventil.
2	Micro motors	TH158.24.510	M2, M3	Matemotorer.
3	Repol	R4-214-23-1024-WT	K1-K3	Releer.
2	Aeco	INZAGO	LZ1-LZ2	Nivåsensorer.
2	Pepperl+Fuchs	CBB4-12GH70-E2	LZ3-LZ4	Impellersensorer.
1	Merlin Gerin	C60H	F1	Jordfeilautomat

### 3.1 Sikkerhetsmonitor

Dette underkapitlet er basert på manualen til SafeBox [6]. For å ivareta sikkerheten rundt sorteringsanlegget, er sikkerhetsmonitoren «SafeBox SB4» benyttet, vist på figur 3-1 [7]. Hensikten med denne er å stanse bevegelige deler dersom en farlig situasjon oppstår. En farlig situasjon detekteres vha. en sikkerhetsstråle satt opp på tvers av båndet, før plasttunnelen. Sensorer som midlertidig deaktiverer sikkerhetsstrålen, kalt «mutingsensorer», gjør det mulig å sende inn beholdere som bryter strålen uten at anlegget stoppes. Mutingssensorene er en del av sikkerhetssystemet, og er derfor tilkoblet sikkerhetsmonitoren.



Figur 3-1: SafeBox SB4

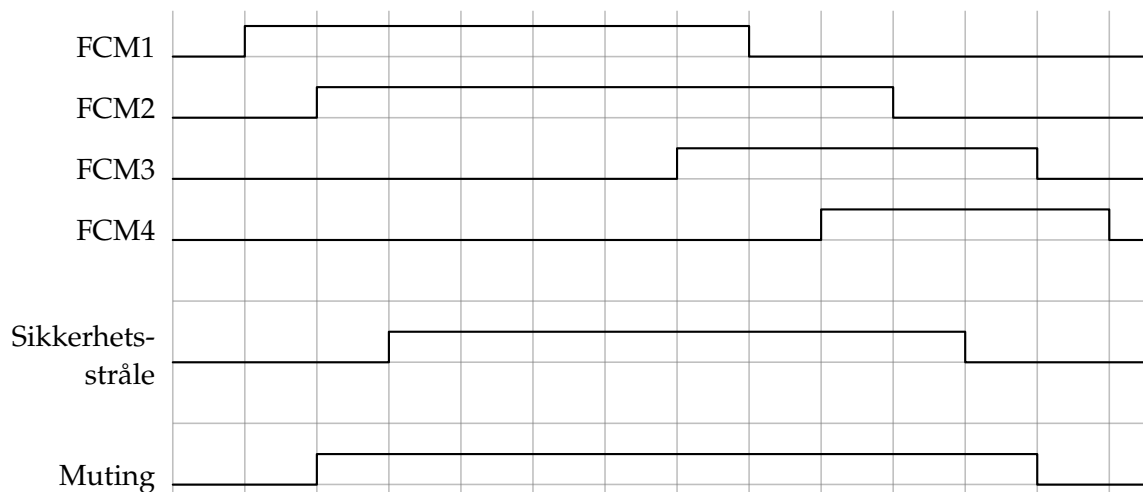
SafeBox SB4 er en konfigurerbar sikkerhetsmonitor fra Pepperl+Fuchs. Den består av et kabinett hvor det kan installeres inntil seks forskjellige sikkerhetsmoduler for å oppnå ønsket funksjon. I tabell 3-2 er alle modulene som er benyttet i SafeBox-kabinettet beskrevet, samt deres plassering. De to første modulene (montert til venstre) er påkrevd for å få en fungerende sikkerhetsmonitor.

Tabell 3-2: Moduler som er brukt i SafeBox SB4.

Plass	SB4 Modul	Beskrivelse
1	OR	Strømforsyning, reléutganger og innganger for nullstilling. Denne modulen er obligatorisk.
2	4CP	Mikrokontroller for hele kabinettet, samt fire innganger for sikkerhetssensorer. Denne modulen er obligatorisk.
3	4M	«Mutingmodul» med opptil fire mutingsensorer. Deaktiverer («mutter») modulen til venstre i kabinettet.
4	2E	Nødstopppmodul med to innganger og to reléutganger.
5	4C	Modul som ligner på 4CP, men er uten mikrokontroller. Har fire sensorinnganger. Denne er ikke i bruk i anlegget.

Sikkerhetsmonitoren er konfigurert i henhold til tidsdiagrammene vist på figur 3-2. Høyt nivå på «Sikkerhetsstråle» indikerer at denne er brutt. Mutingssensorene detekterer beholderne sekvensielt, slik at FCM1 og FCM3 blir aktivert samtidig, før FCM1 faller ut. Plasseringen av sensorene er vist på anleggstegetningen, figur 2-1.

Alle modulene som er montert i sikkerhetsmonitoren er utstyrt med DIP-brytere for å kunne tilpasse deres funksjon. De neste underkapitlene vil gi en detaljert beskrivelse av modulene, og hvordan DIP-bryterne er innstilt.



Figur 3-2: Tidsdiagram – typisk

### 3.1.1 SB4 Modul OR

SB4 Modul OR består av strømforsyning for hele sikkerhetsmonitoren, og må plasseres helt til venstre i kabinettet. Modulen har innganger for overvåking av sikkerhetsrelé, gjenstart (restart), nullstilling (reset) og to potensialfrie kontakter som kobler ut dersom sikkerhetsmonitoren går i sikkermodus. Konfigureringen

DIP1: OFF OFF OFF OFF

deaktiverer automatisk gjenstart og sikkerhetsrelé-overvåking.

### 3.1.2 SB4 Modul 4CP

SB4 Modul 4CP inneholder en mikrokontroller som er felles for hele kabinettet, og må plasseres til høyre for SB4 Modul OR. Modulen har i tillegg fire innganger hvor brytere eller lysgardiner kan kobles til. Sikkerhetssensorene FCT1 og FCR1 er tilkoblet her. Det er disse som setter opp sikkerhetsstrålen. Med konfigurasjonen

DIP1: OFF OFF OFF OFF

vil modulen ha og-funksjon mellom inngangene. I sorteringsanlegget er det brukt én sikkerhetsstråle, de tre andre inngangene er lasket til logisk 1. Dermed vil sikkerhetsstrålen styre statusen direkte.

### 3.1.3 SB4 Modul 4M

SB4 Modul 4M er en mutingmodul som vil deaktivere inngangene i modulen den står til høyre for. Denne modulen har fire innganger hvor mutingsensorene FCM1, FCM2, FCM3

og FCM4 er tilkoblet. Konfigurasjonen

DIP1:	ON	OFF	OFF	OFF
DIP2:	ON	OFF	OFF	OFF

gir sikkerhetsmonitoren følgende funksjoner:

- Overvåking av muting-lampe er aktivert.
- Maksimaltid for mutingsensorer å ligge inne er 4 minutter.
- Enkel muting er aktivert, dvs. en sensor på hver side av lysgardinen (FCM2 og FCM3) kan holde mutingen. Se tidsdiagram i figur 3-2.

### 3.1.4 SB4 Modul 2E

Grupperingsmodulen SB4 Modul 2E kan settes til stoppkategori 0 eller 1 med tidsforsinkelse. Den har to potensialfrie kontakter som kobler ut hvis en modul i gruppa går i sikkerhetsmodus (dersom DIP-bryterne velges slik at kategori 1 oppnås, vil også SB4 Modul OR gå i sikkerhetsmodus). DIP-bryterne er satt til

DIP1:	OFF	OFF	OFF	OFF
DIP2:	OFF	OFF	OFF	OFF
DIP3:	ON	OFF	OFF	OFF
DIP4:	ON	OFF	OFF	OFF,

som betyr at tidsforsinkelsen ved stoppkategori 1-operasjon er 0 s, at modulen er satt til stoppkategori 0, og sikkerhetsrelé-overvåking og gjenstart er avslått.

### 3.1.5 SB4 Modul 4C

SB4 Modul 4C er ikke i bruk, inngangene er lasket for å hindre utløsning av sikkerhetsmodus. Denne modulen har fire innganger som det kan kobles på opptil fire lysgardiner eller brytere. DIP-bryterne er satt til

DIP1:	OFF	OFF	OFF	OFF,
-------	-----	-----	-----	------

som betyr at eksklusiv eller-funksjon og simultan overvåking på to og to av inngangene er avslått. Modulen har samme virkemåte som SB4 Modul 4CP, men mangler mikrokontroller. Siden modulen i dette tilfellet er plassert etter SB4 Modul 2E, vil den tilhøre SB4 Modul 2E sin gruppe. Det vil si at denne modulen kun vil trigge SB4 Modul 2E over i sikkerhetsmodus, mens SB4 Modul OR vil kjøre normalt.

## 3.2 Frekvensomformer

Frekvensomformerer ABB ACS355 er benyttet i prosjektet til å styre hastigheten til båndet, samt å generere trefaset spenning. Frekvensomformerer er vist på figur 3-4. For å muliggjøre kommunikasjon over Profibus DP, er frekvensomformerer utstyrt med adapteren ABB PROFIBUS DP Adapter Module FPBA-01.

I tabell 3-3 er nøkkeldata for frekvensomformerer listet opp.

Figur 3-3: Nøkkeldata for ABB ACS355 [8]

Egenskap	Verdi
Typebetegnelse	ACS355-01E-02A4-2
Innspenningsområde	200–240 VAC
Frekvensområde ut	0–600 Hz
Maksimal belastning	370 W, 2,4 A



Figur 3-4: Frekvensomformerer

### 3.2.1 Konfigurering

Nødstoppsignalet fra sikkerhetsmonitoren er tilkoblet digitalinngangen DI1 i frekvensomformerer for å gjøre nødstoppfunksjonen uavhengig av bussystemet. For å kunne stoppe frekvensomformerer med DI1, må dette settes opp i konfigurasjonen.

Det elektroniske motorvernet må stilles inn på nominell belastningsstrøm, som her er  $I_B = 0,4$  A. Tabell 3-3 gir en oversikt over innstillinger som er forandret i frekvensomformerer.

Tabell 3-3: Innstillinger for frekvensomformer.

Parameter	Verdi	Beskrivelse
2003 MAX CURRENT	0.4 A	Definerer høyeste motorstrøm
2021 MAX SPEED SEL	EXT REF 1	Høyeste hastighet er valgt av høyeste referansefrekvens
2109 EMERG STOP SEL	DI1 (INV)	Nødstoppsignal tilkobles DI1



### 3.3 Sensorer

For å detektere posisjonen til beholderen på transportbåndet og muting av sikkerhetsstrålen, er det brukt optiske og kapasitive sensorer. Nedenfor er sensortypene og bruksområdene beskrevet.

**Optiske sensorer** Ved fyllestasjonen, sikkerhetsmonitoren og materampen er det montert optiske sensorer av typen SICK WT 4-2. Sensorene sender ut rødt lys og detekterer om dette blir reflektert av et objekt, innenfor en avstand på maksimalt 13 cm. Sensorene har høy immunitet mot fremmedlys. De krever 10–30 VDC drivspenning.

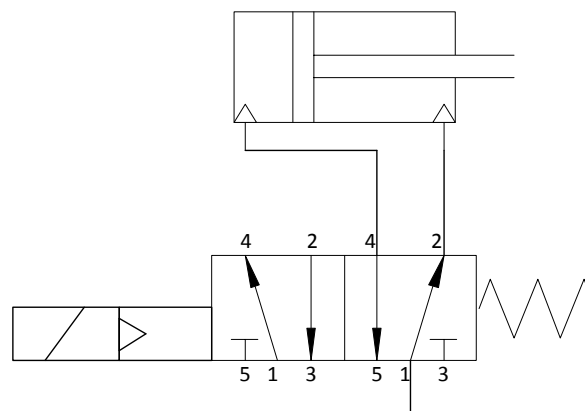
**Kapasitive sensorer** Kapasitive sensorer brukes for nivådetektering i pelletsbeholderne, bulktellere ved mateskruene og for kamera-aktivering. Sensortypen detekterer endringer i dielektrikumet (isolasjonsmaterialet mellom elektrodene i en kondensator) i måleområdet. Sensorene trenger en drivspenning på 5–28 VDC.

Alle sensorer benyttet i dette prosjektet gir binære verdier – aktivert eller ikke aktivert.

### 3.4 Pneumatikk

Sylinderen som skyver beholderne av transportbåndet er pneumatisk styrt. Det benyttes en dobbeltvirkende sylinder med endeposisjon inne og ute. Sensorene LZ5 (ute) og LZ6 (inne) detekterer om stempelet er i en av endeposisjonene.

For å styre lufttilførselen til sylinderen brukes en magnetisk styrt 5/2-ventil<sup>1</sup> Sylinderen er koplet opp som vist i figur 3-5, her er trykkluf ført inn på tilkopling 1.



Figur 3-5: Pneumatikksylinder med styreventil

<sup>1</sup>«5/2» vil si at ventilen har 5 tilkoplinger og 2 stabile posisjoner.

Nedenfor er virkemåten til det pneumatiske systemet forklart.

- Når ventilen ikke er aktivert (spenningsløs), slippes trykkluft fra tilkobling 1 til 2 og inn på «høyresiden» av stempelet. Lufta på den andre siden av stempelet slippes gjennom 4–5 og ut i friluft. Stempelet vil dermed bli holdt inne. Figur 3-5 viser ventilen i denne posisjonen.
- Ved aktivering av ventilen slippes trykkluft inn på «venstresiden» av stempelet via tilkobling 1 og 4. Via 2–3 slippes lufta fra den andre siden ut i friluft. Stempelet vil med dette presses ut.

Sylinderen har reduksjonsventiler på luftinnløpene. Reduksjonsventilene er brukt til å strupe luftstrømmen for å redusere hastigheten på stempelet ved inn- og utskyvning. Dette hindrer potensielt farlige situasjoner og øker presisjonen til skyvearmen.

## 4 MEKANISK KONSTRUKSJON

Det meste av materiellet brukt i denne oppgaven er hentet fra høgskolens lager. Transportbåndet, med motor, kommer fra et utrangert produksjonsanlegg hos REC Wafer Norway AS.

Av tilbehør til transportbåndet er det laget et koplingsbrett, festebraketter for sensorer, fyllestasjoner og endeplattformer. (Heretter omtalt som «tilbehør».) Det er lagt vekt på god materialkvalitet, slik at anlegget vil tåle lang tids bruk. Fullstendig materialliste finns i vedlegg I.

Videre vil kapitlet dokumentere valg av mekaniske og elektromekaniske løsninger for transportbåndsystemet.

### 4.1 Materialbruk og utførelse

Transportbåndets gods er laget i aluminium. Dersom båndet skulle stått i et fuktig eller korrosivt miljø, ville det vært nødvendig å ta hensyn til de spesielle elektriske egenskapene til aluminium. Aluminium er edlere enn andre vanlige metaller. Korrosjon vil derfor oppstå på metaller som er i kontakt med aluminium. I slike tilfeller skal forskjellige typer metall isoleres fra hverandre, til dette brukes ofte et teflonbelegg. Transportbåndsystemet skal kun brukes innendørs, og det er derfor ikke tatt hensyn til isolasjon mellom de ulike metallene.

Det meste av tilbehøret er laget i aluminium. Fordeler med aluminium er at det er enkelt å jobbe med, veier lite og det er god tilgang til det på HiT. Plattformer og de fleste festebraketter er lagd av 1,5 mm-plater. Stativet til fyllestasjonen trengte en noe kraftigere konstruksjon, og er derfor lagd av 2 mm-plater. I de tilfeller der enda kraftigere deler er påkrevd, er det benyttet stål. Dette gjelder kamerafestet, braketter for kabelkanal, koplingsbrett, sylinder og pneumatikkventil.

Fyllestasjonen<sup>2</sup> består av to 1 1/2-liters brusflasker, impellerhus og to impellere. Selve impellerhuset er laget i kryssfinér og er innkapslet i to tykke plexiglassplater på hver side. Fra impellerne føres pelletsene til beholderne via to rør.

### 4.2 Elektrisk oppkopling

Transportbåndsystemet er en flyttbar modell, men oppkoplingen er utført etter krav til fastmontert anlegg, grunnet økt læringsutbytte. Slik anlegget er koplet opp, vil det også tilfredsstille krav til flyttbart utstyr. Rapporten vil i de neste underkapitlene gå nærmere inn på den elektriske oppkoplingen, med fokus på sikkerhet og normer.

---

<sup>2</sup>Fyllestasjonen er laget av overingeniør Eivind Fjellidalen ved Høgskolen i Telemark.

### 4.2.1 Vern

Modellen er sikret mot kortslutning, overbelastning og jordfeil. Det er brukt en jordfeilautomat med C-karakteristikk og nominell utløserstrøm  $I_n = 6 \text{ A}$  for overbelastning. Utløserstrømmen for jordfeilbryteren er  $I_{\Delta} = 30 \text{ mA}$ . På grunn av den lave motoreffekten er det valgt å kjøre både hoved- og styrestrøm gjennom dette vernet.

Kravet til utkopling ved jordfeil i anlegg som er fast montert og der kursen ikke kan belastes med noe annet enn det som er montert, er  $300 \text{ mA}$ . Kravet til utløserstrøm i stikkontaktkurser er  $30 \text{ mA}$ . Gruppen har valgt å benytte  $I_{\Delta} = 30 \text{ mA}$ , siden et slikt vern var tilgjengelig. Dersom anlegget koples til en kurs sikret med et jordfeilvern med  $I_{\Delta} = 30 \text{ mA}$ , vil det ikke være selektivitet mht. jordfeil. Siden det ikke kan garanteres at anlegget til en hver tid vil være tilkopledd en kurs med jordfeilbryter, er det valgt å montere et jordfeilvern direkte i anlegget. Dette vil også gjøre øke anleggets berøringssikkerhet.

Transportbåndmotoren er sikret mot overbelastning med et elektronisk motorvern i frekvensomformerer. Dette stilles inn på motorens nominelle driftsstrøm.

Alle enheter og ledere som fører  $24 \text{ V}$  er kortslutningsbeskyttet med en kvikk glassikring på  $2 \text{ A}$ , siden dette er strømforsyningens maksimale belastning på  $24 \text{ V}$ -uttaket.

### 4.2.2 Utjevningsforbindelse

Mellom koplingsbrettet og transportbåndet er det lagt en utjevningsforbindelse for å hindre at en farlig potensialforskjell skal kunne oppstå. Utjevningslederen er lagt med liten grad av mekanisk beskyttelse, og skal i følge NEK 400:542.3 i slike tilfeller ha et tverrsnitt på minimum  $4 \text{ mm}^2$  på grunn av mekanisk styrke [9]. I dette tilfellet er det valgt en leder med tverrsnitt  $6 \text{ mm}^2$ , pga. at denne var tilgjengelig.

Alle deler med  $230 \text{ V}$  strømforsyning er jordet med samme tverrsnitt på jordleder som på strømførende ledere. Jordingen tilfredsstiller derfor krav til jording av kabler med lite tverrsnitt. [9]

### 4.2.3 Valg av kabler

Alle styreledninger ( $24 \text{ V}$ ) på koplingsbrettet er RK  $0,75 \text{ mm}^2$ , kobber. Disse ledningene er, på grunn av kort lengde, beskyttet mot kortslutning. Det er derfor tilstrekkelig å beskytte mot kortslutning i styrestrømsdelen av anlegget.

Hovedstrømslederne ( $230 \text{ V}$ ) er RK  $1,5 \text{ mm}^2$ , grunnet krav til minstetverrsnitt, beskrevet i NEK 400 tabell 52E.

Korte avstander mellom belastninger og vern fører til at det ikke er nødvendig å ta hensyn til spenningsfall i anlegget.

#### 4.2.4 Støyskjerming

Frekvensomformereren er en stor kilde til elektromagnetisk støy. For å hindre elektromagnetisk utstråling, er kablet mellom frekvensomformereren og motoren skjermet. Skjermen er koplet til jord i begge ender.

De tre releene og magnetventilen vil sette opp kraftige negative spenningspulser over spolene når strømmen i kretsene blir brutt. Disse pulsene kan forstyrre<sup>3</sup>/ødelegge følsomt elektronisk utstyr. Dioder er derfor koblet over alle de fire spolene i sperreretningen.

### 4.3 Forslag til utvidelser av transportbåndsystemet

Det er ønsket at transportbåndsystemet skal kunne utvides eller brukes som en del i en større enhet. Ved hjelp av et ekstra transportbånd og en enkel robot, vil det være mulig å lage en større enhet med fornuftig funksjon. Ved produksjon og oppkopling ble det tatt hensyn til videre utvidelser.

Alle påmonterte deler er festet med skruer. Dette gjør det enkelt å flytte eller bytte ut materiell. Aktuelle utvidelser av modellen kan være tilbygg eller en kombinasjon av flere transportbåndsystemer. Videre vil rapporten beskrive noen aktuelle utvidelser av transportbåndsystemet.

#### 4.3.1 Enkel utvidelse

Ved HiT er det våren 2011 laget to modeller med liknende virkemåter. Modellene bruker forskjellige typer teknologi for identifisering av beholderne, henholdsvis vision og RFID. En kombinasjon av disse, vil i læringssammenheng være interessant. Den enkleste formen for utvidelse av transportbåndsystemet er å benytte to transportbånd, hvor det ene plasseres delvis ved siden av det andre. Da kan sylindren skyve beholderne over til det neste båndet hvor fylling- og sorteringsprosessen kan fortsette.

Å sette sammen to eller flere bånd, vil koplingsmessig være enkelt, grunnet bussteknologien som er benyttet. Bussystemer er beskrevet i kapittel 5.

#### 4.3.2 Utbygging av endestasjonene

En alternativ utvidelse av modellen er å lage en enhet (robot) for plassering/stabling av ferdig fylte bokser. Enheten monteres der endeplassformene er plassert. Plassering av beholdere på den nye endestasjonen kan gjøres enten med elektromotorer eller med luftstyrte sylindere. En interessant løsning kan være å bevege hele plattformdekket.

---

<sup>3</sup>Uten beskyttelsesdiodene tok kameraet bilde hver gang magnetventilen mistet spenningen.

Denne utvidelsen er relevant, fordi ferdige produkter ofte blir stablet på brett før utsendelse. Eksempler på dette kan være flasker fra bryggerier som plasseres i kasser før de sendes ut. Boksene som brukes i denne oppgaven er også egnet for plassering på brett.

#### **4.3.3 Kombinasjon med andre modeller og identifikasjonsmetoder**

En kombinasjon av båndene kan ligne noe på produksjonsmetoden til BMW<sup>4</sup>. Ved oppstart vil beholderne bli utstyrt med en RFID-brikke. Ved hjelp av informasjonen i RFID-brikka fylles beholderen med rett produkt, og sendes videre til neste bånd. Her erstattes RFID-brikka med en datamatrise, eller en annen visuell indikator, som kan tolkes av vision-kameraet.

---

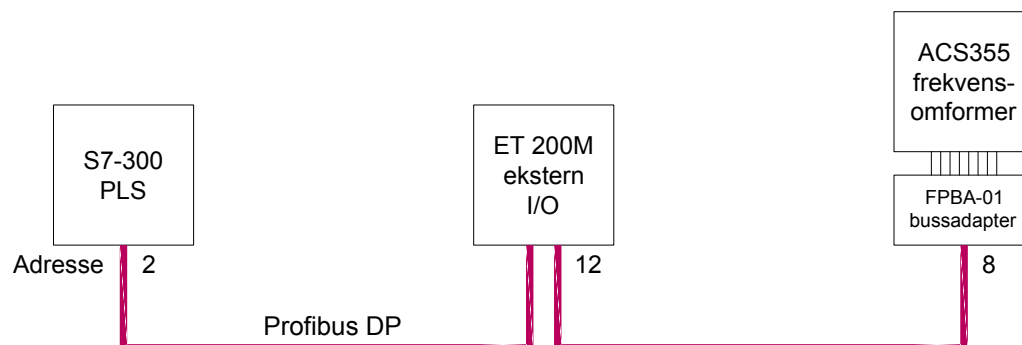
<sup>4</sup>På BMWs fabrikker benyttes RFID brikker til identifikasjon av hver bil under produksjon. Hver stasjon får informasjon om hvilken bil de har med å gjøre gjennom informasjonen i RFID-brikka. Når bilen er ferdig produsert fjernes RFID-brikka fra bilen og BMW-merket settes på plass.

## 5 FELTBUSSYSTEM

En feltbuss er en metode for å kople sammen prosess- og automatiseringsutstyr i et «intelligent» nettverk med en felles kommunikasjonsprotokoll. Nettverket kan også tilføre feltutstyret drivspenning, f.eks. over Profibus PA. Et feltbussystem gir en rekke fordeler, de viktigste er som følger [10, 11].

- Enklere og mindre kabling, noe som gir lavere kostnader.
- Standardisering; noder fra ulike produsenter kan benyttes om hverandre. Dette fører også til at det er god tilgang på feltbussutstyr.
- Mulighet for (selv-) diagnostisering.
- Smarte sensorer med f.eks. innebygd skalering og filtrering kan tilkobles og konfigureres via bussen.
- Bdere støyimmunitet enn ved vanlig analog overføring.
- Anlegget kan enkelt skaleres.

For kommunikasjon mellom PLS, I/O-modul og frekvensomformer, er feltbussystemet Profibus DP benyttet, se figur 5-1. Det neste underkapitlet vil beskrive Profibus DP nærmere.



Figur 5-1: Blokkdiagram for Profibus DP-systemet

### 5.1 Profibus DP

Feltbusstypen Profibus DP er en åpen standard definert i IEC 61158. I OSI-modellen finnes Profibus på lag 1, 2 og 7. Hvert enkelt lag håndterer ulike deler av Profibus-standarden som følger [12, 13].

- Lag 1 (fysisk) definerer tre ulike media for overføring; kobberledning (RS485 eller MBP), fiberoptisk kabel eller trådløs overføring.

- Lag 2 (link/linje) definerer bussens aksessmetode; master/slave i kombinasjon med token. Her er også datasikkerhet implementert.
- Lag 7 (applikasjon) definerer kommunikasjonsprotokollen Profibus DP. Denne finnes i tre ulike versjoner:
  - DP-V0 for syklisk datautveksling og diagnostisering.
  - DP-V1 for asyklisk og syklisk datautveksling og alarmhåndtering.
  - DP-V2 for datautveksling med faste tidsluker, såkalt «isochronous mode», og kommunikasjon mellom slaver. Her er det også mulighet for å kommunisere i «publisher/subscriber»-modus.

## 5.2 Konfigurasjon av Profibus DP-adapter

For å få satt opp frekvensomformerer til å kommunisere over Profibus DP, må noen parametre forandres i frekvensomformerens og Profibus-adapterens innstillinger. Parametrene er spesifisert i tabell 5-1. Noen parametre er ikke vist her, fordi de blir automatisk valgt. [14]

Tabell 5-1: Parametre for feltbuskommunikasjon til frekvensomformer.

Parameter	Verdi	Beskrivelse
1001 EXT1 COMMANDS	COMM	Gjør det mulig å starte og stoppe frekvensomformerer via feltbussen
1103 REF1 SELECT	COMM	Velger referansefrekvens REF1
1104 EXT REF1 MIN	0.0	Minimumsfrekvens som samsvarer med referanseord
1105 EXT REF1 MAX	100.0	Maksimumsfrekvens som samsvarer med referanseord
1601 RUN ENABLE	COMM	Velger feltbussen til å gi klarsignal til frekvensomformerer
1604 FAULT RESET SEL	COMM	Velger feltbussen til å kvittere feil
9802 COMM PROT SEL	EXT FBA	Aktiverer feltbuskommunikasjon
5102 FBA PAR 2	8	Adressen til frekvensomformerer på feltbuss-nettverket
5105 FBA PAR 5	1	Kommunikasjonsprofil
5127 FBA PAR REFRESH	REFRESH	Validerer feltbuss-parametre



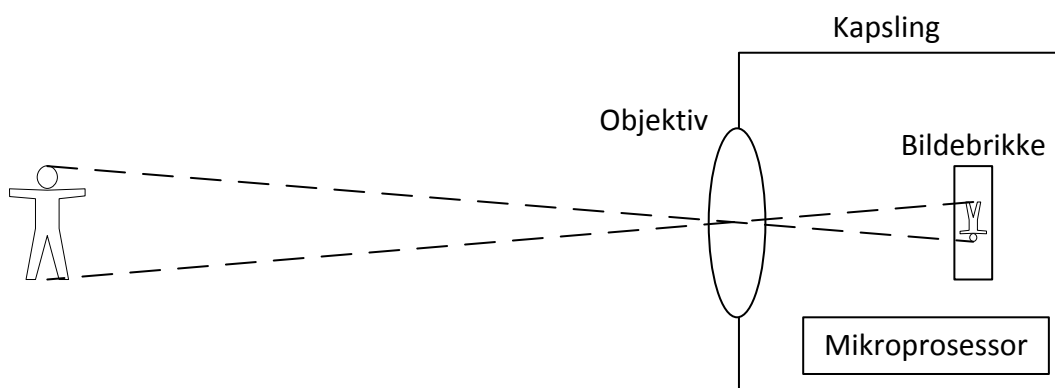
## 6 VISION

Begrepet «vision» innen for automasjonsindustrien kan deles inn i tre hovedgrupper:

- Vision-sensor** En vision-sensor er den «dummeste» typen vision-produkt. Den har innebygd bildebehandlingsenhet i kamerahuset. Enheten arbeider etter forhåndsprogrammerte regler, og gir ofte bare binære utgangsverdier. Det er denne typen vision som er brukt i dette prosjektet.
- Vision-kamera** Et vision-kamera har mulighet for mer datautveksling, f.eks. over en feltbuss. Kameraet kan gjøre mer avanserte avlesninger og bildebehandlinger, som f.eks. strekkodelesing og tekstgjenkjenning.
- Vision-system** Hvis mange vision-kameraer «samarbeider», kan dette kalles et vision-system. Dette er den mest avanserte typen vision-produkt.

I denne rapporten beholdes den daglige talemåten «vision-kamera», selv om enheten i dette anlegget strengt tatt er en vision-sensor.

Uansett hvilken vision-enhet som velges, vil en viktig del være det digitale kameraet. I sin enkleste form består et digitalt kamera av et objektiv, en bildebrikke, en rådata bildebehandler, og en lystett kapsling. Bildebrikken har flere tusen små, lysfølsomme punkter, kalt piksler. Objektivet vil, tegne et bilde på bildebrikka når fokusen er korrekt justert. Figur 6-1 illustrerer hvordan kameraet er bygd opp. I kameraet som er brukt i dette prosjektet, vil hvert enkelt punkt på bildebrikken overføre en verdi mellom 0 og 255 som forteller hvor sterk lysintensiteten er på punktet. Verdiene blir normalisert til verdier mellom 0 og 100 i bildebehandlingsdelen. [15]



Figur 6-1: Virkemåten til et kamera

Videre vil dette kapitlet beskrive kameraet som er benyttet i prosjektet, strekkodestandarden «Data Matrix» og hvordan kameraet er konfigurert for kunne å lese disse.

## 6.1 DVT Legend 530

I transportbåndmodellen er kameraet DVT Legend 530, sammen med en I/O-modul for kommunikasjon med PLS, benyttet. Kameraet inneholder bildeanalysatoren «SmartImage Sensor». Det er bildeanalysatoren som er selve hjernen til kameraet, den analyserer bildet etter forhåndsdefinerte regler.

Kommunikasjon mellom PC og kamera går over Ethernet 100BASE-TX. Se tabell 6-1 for spesifikasjoner for kameraet DVT Legend 530 [16].

Tabell 6-1: Spesifikasjoner for DVT Legend 530

Egenskap	Verdi
Bildebrikke	4.8 mm × 3.6 mm CCD
Oppløsning	640 px × 480 px gråskala
Strømtilførsel	24 VDC 210 mA
Temperaturområde i drift	0–45 °C
Objektivfeste	CS-feste
Ekstraustyr	LED-belysning

### 6.1.1 Valg og tilpasning av objektiv

Det er tilgang på to objektiver for kameraet, hvor hovedforskjellen er fokuslengden. Se tabell 6-2 for spesifikasjoner for de to objektivene.

Tabell 6-2: Spesifikasjoner for objektivene

Egenskap	6 mm f/1.4	Tamron 16 mm f/1.4
Feste	C-feste	C-feste
Fokuslengde	6 mm	16 mm
Største blenderåpning	f/1.4	f/1.4
Minste blenderåpning	Stengt	f/16
Nærgrense	20 cm	30 cm

CS-festet på kameraet har en FFD på 12,526 mm, mens C-festet på objektivene har en FFD på 17,526 mm [17]. For å få riktig FFD, er det satt inn en 5 mm fokusforlenger. Utprøving av kameraet og objektivene viste at fokusforlengeren ikke fungerte tilfredsstillende, bildet ble uskarpt. Derfor er det laget en 1 mm tykk skive som flytter FFD ned til 18,526 mm. Med denne skiven ble også nærgrensen til objektivet lavere, som betyr at kameraet må settes nærmere objektene som skal fotograferes.

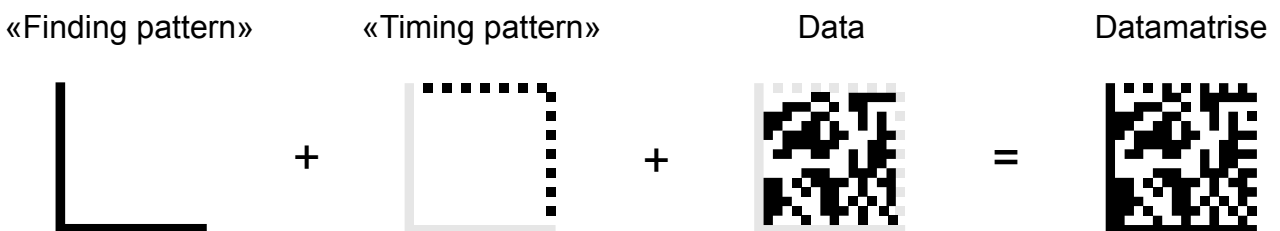
Det er valgt en avstand mellom kamera og objekt på 180 mm. Ved den avstanden må objektivets fokus stilles på 0,33 m for å få et skarpt bilde. Blenderåpningen er stilt inn på  $f/4$ .

## 6.2 Datamatriser

Datamatriser er todimensjonale strekkoder bestående av en samling moduler/celler som kan innta to tilstander – svart eller hvit i dette tilfellet. Datamatriser kan inneholde betydelig mer informasjon enn strekkoder på grunn av den ekstra dimensjonen med informasjon. Datamatriser defineres av standarden ISO/IEC 16022:2006 [18].

En datamatrise er satt sammen av et L-formet «Finder pattern», et «Timing pattern», og selve datainnholdet. Rundt datamatrisen må det være en «Quiet zone» i alle retninger, minst en modul-/cellestørrelse bred/lang. [18]

Størrelsen på en datamatrise varierer fra  $10 \times 10$  til  $144 \times 144$  celler, og kan romme fra 1 byte (3 alfanumeriske tegn) til 1556 byte (2335 alfanumeriske tegn) med data [19]. Figur 6-2 viser oppbygningen av en  $16 \times 16$ -datamatrise som kan romme 10 byte med datainnhold.

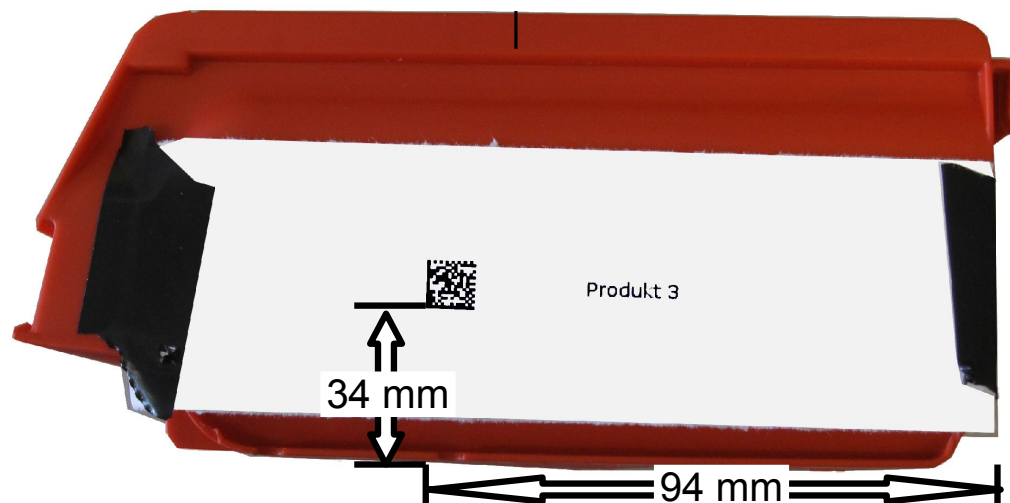


Figur 6-2: Oppbygning av en  $16 \times 16$ -datamatrise

I dette prosjektet er det benyttet tre forskjellige  $16 \times 16$ -datamatriser, generert ved hjelp av web-verktøyet [20]. Innholdet i matrisene er tekstene «Produkt 1», «Produkt 2» og «Produkt 3». Figur 6-3 viser disse datamatrixene.



Figur 6-3: Datamatriser som inneholder tekstene «Produkt 1», «Produkt 2» og «Produkt 3»



Figur 6-4: Retningslinjer for plassering av datamatrise på beholder

### 6.2.1 Plassering av datamatriser på bokser

Datamatrissene er skrevet ut i størrelse  $9 \times 9$  mm, tilsvarende 20 moduler per cm (dette inkluderer «Quiet-zone»). På grunn av den lille størrelsen må plasseringen av datamatrissene på boksene være nokså presis. Det fotograferte området kun 14 mm høyt, se underkapittel 6.3. Dette betyr at toleransen for plassering av matrisen i høyderetningen er  $\pm 2,5$  mm. Datamatrissene må derfor plasseres *nøyaktig* i henhold til figur 6-4.

## 6.3 Konfigurering av visionkamera

Før vision-kameraet kan lese datamatriser, må det konfigureres/programmeres. Dette underkapitlet vil beskrive konfigurasjonsprosessen.

På bildeanalysatoren kjører et program, kalt «firmware». Dette programmet må ha samme versjonsnummer som programmeringsverktøyet «DVT FrameWork» på datamaskinen. DVT FrameWork lastes ned fra produsentens hjemmesider, og inneholder firmware-filer for forskjellige DVT Legend-kameraer. Siste programvareversjon som er fullkompatibelt med DVT Legend 530 er «DVT FrameWork Firmware 2.8.0», datert 06.06.2007<sup>5</sup>.

Hovedoppgaven til et vision-kamera er å inspisere produkter. Dette kommer også tydelig fram i programmeringsmulighetene til kameraet. Programmet kan settes opp til å inneholde mange «produkter», men essensen er ikke at programmet skal gjenkjenne produktet. Et visionkamera vil på forhånd vite hvilket produkt det tar bilde av, og kun kon-

<sup>5</sup>Selv siste versjon av programmet er utdatert og ikke fullt kompatibelt med Windows Vista eller Windows 7. Blant annet fungerer ikke firmwareoppgradering og automatisk søk etter vision-kameraet i nettverket. Dersom DVT Legend 530 skal benyttes i fremtidige prosjekter, bør altså en eldre PC med Windows XP være tilgjengelig.

trollere dette for visuelle svakheter eller defekter. Er produktet OK, vil kameraet returnere verdien «PASS». Dersom produktet ikke er i orden, returneres verdien «FAIL». Verdiene PASS og FAIL gjøres om til henholdsvis digital 1 og digital 0 i kamaraets I/O-tilkobling. [15]

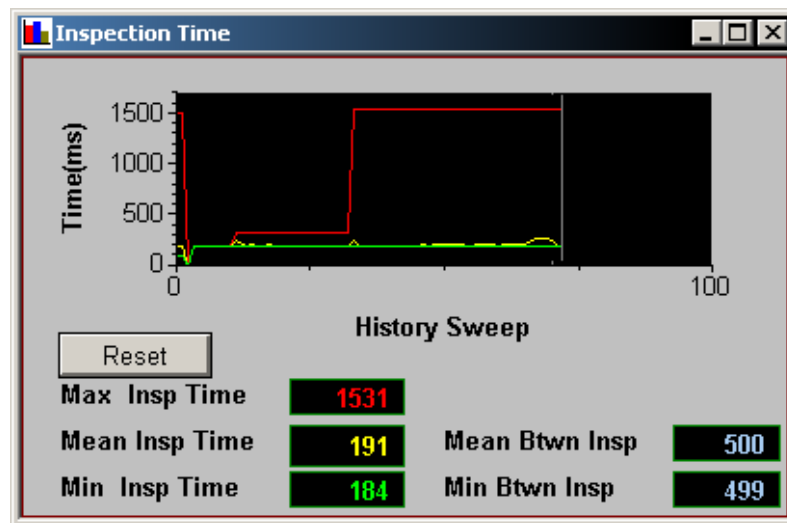
Siden dette prosjektet har tre ulike produkter, er det satt opp tre datamatrise-«sensorer» i DVT FrameWork. Sensorene leter i rektangelet fra pikselpunkt (0,170) til (639,330), som tilsvarer et område på rundt  $50 \times 14$  mm når kameraet er korrekt justert. Området er valgt så bredt som mulig for å hindre at ulike responstider i PLS-en skal virke inn på bildet. Et typisk bilde tatt av vision-kameraet er vist i figur 6-5. Rektanglet markerer området hvor vision-kameraet leter etter datamatriser. Bildet er redigert for å forbedre svart/hvitt-utskrift.



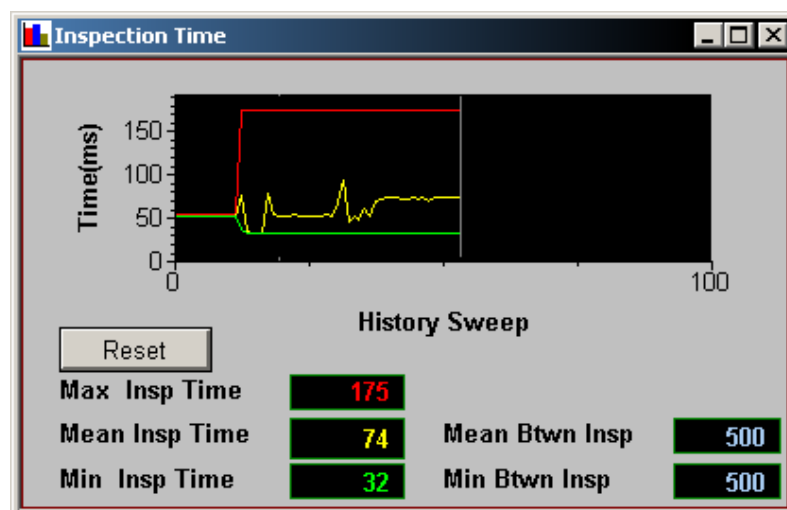
Figur 6-5: Typisk bilde tatt av visionkameraet

Hver sensor vil inspisere bildet og se etter datamatrisen, og returnere PASS eller FAIL. Kriteriet for at en sensor skal returnere PASS er at datamatrisen må finnes, og at det 9. tegnet i datamatrisesens datainnhold må samsvare med produktnummeret. Produktnummeret kan enten være 1, 2 eller 3, og det 9. tegnet vil også være 1, 2 eller 3. Ved gjenkjent produkt vil altså én av sensorene returnere PASS, mens resten returnerer FAIL. Dersom datamatrisen ikke kan leses, vil alle sensorene returnere FAIL.

Dette er den beste måten å programmere DVT Legend 530 til å være en datamatriseleser, men metoden er ressurskrevende. Figur 6-6 viser at gjennomsnittlig prosesseringstid for én sensor er 74 ms. Figur 6-7 viser at gjennomsnittlig prosesseringstid for tre sensorer er 191 ms. Visionkameraet bruker omlag tre ganger lengre tid enn det som burde være nødvendig i utgangspunktet. Dette viser at vision-kameraet egner seg best til å inspisere, ikke gjenkjenne forskjellige produkter.



Figur 6-6: Prosesseringstid for én datamatrixe-sensor



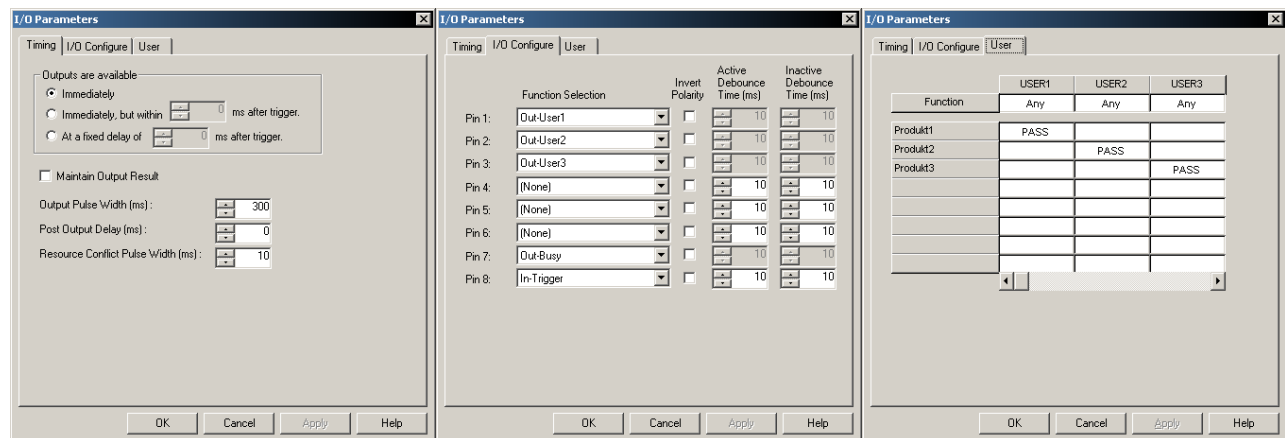
Figur 6-7: Prosesseringstid for tre datamatrixe-sensorer

### 6.3.1 Oppsett av I/O-parametre i kameraet

Visionkameraet har 8 digitale I/O-tilkoplinger. Funksjonen til I/O-tilkoblingene velges i DVT FrameWork. Tabell 6-3 viser hvilke funksjoner som er valgt til I/O-tilkoblingene. De brukerdefinerte utgangene Out-User1, Out-User2 og Out-User3 er programmert slik at Out-UserX vil gå aktiv dersom datamatrixsensoren for produkt X returnerer PASS. Utgangene vil være aktive i 300 ms. Figur 6-8 viser hvordan I/O-konfigurasjonene er gjort på datamakinen.

Tabell 6-3: I/O-tilkoblingene til visionkameraet

Pin	Funksjonsvalg	Beskrivelse
1	Out-User1	Brukerdefinert utgang
2	Out-User2	Brukerdefinert utgang
3	Out-User3	Brukerdefinert utgang
4	(None)	
5	(None)	
6	(None)	
7	Out-Busy	Aktiv når kameraet behandler siste bilde
8	In-Trigger	Inngang som trigger kameraet til å ta bilde



Figur 6-8: Skjermdump av I/O-konfigurering til visionkameraet

## 7 BRUKERGRENSESNITT OG PLS-PROGRAM

Dette kapitlet beskriver og dokumenterer brukergrensesnittet og PLS-programmet.

### 7.1 Brukergrensesnittet

Ved hjelp av WinCC er det laget et brukergrensesnitt som inneholder følgende.

- En grafisk representasjon av systemet med sensorer, stempel og motorer.
- Innstillinger for dosering av stoff *A* og *B* for de ulike produktene.
- Mulighet for å avbryte sekvensen (ved å sette anlegget i manuell modus).
- Mulighet for å styre stempel og motorer manuelt.
- Visning og logging av alarmer (sikkerhetsstråle brutt eller nødstopp aktivert).

Figur 7-2 viser anlegget mens den automatiske fyllesyklusen kjøres. Endring av motorfrekvensen og oppheving av sikkerhetsmodus, krever passord. Innlogging skjer ved å trykke F10 og fylle ut informasjonen nedenfor.

Brukernavn: Espen  
Passord: 123456

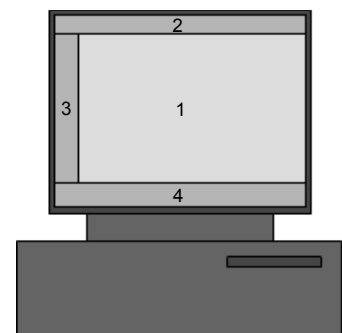
Innloggingsinformasjonen er også skrevet direkte på skjermbildet. Dette gjøres selvsagt ikke i et reelt brukergrensesnitt i industrien.

#### 7.1.1 Organisering

Organisering av elementer på brukergrensesnittets skjermbilde er gjort i tråd med retningslinjer gitt i HiTs standarddokument for HMI, samt generelle tips [4, 5]. Utgangspunktet for skjermbildet er figur 7-1 [4].

I følge standarddokumentet bør områdene 1–4 inneholde følgende elementer.

1. Prosessbilde.
2. Navigering mellom prosessbilder, oversikt over alarmer og navigering til alarmlister.
3. Navigering mellom prosessbilder.
4. Funksjoner som ikke er viktig i forhold til prosessen.

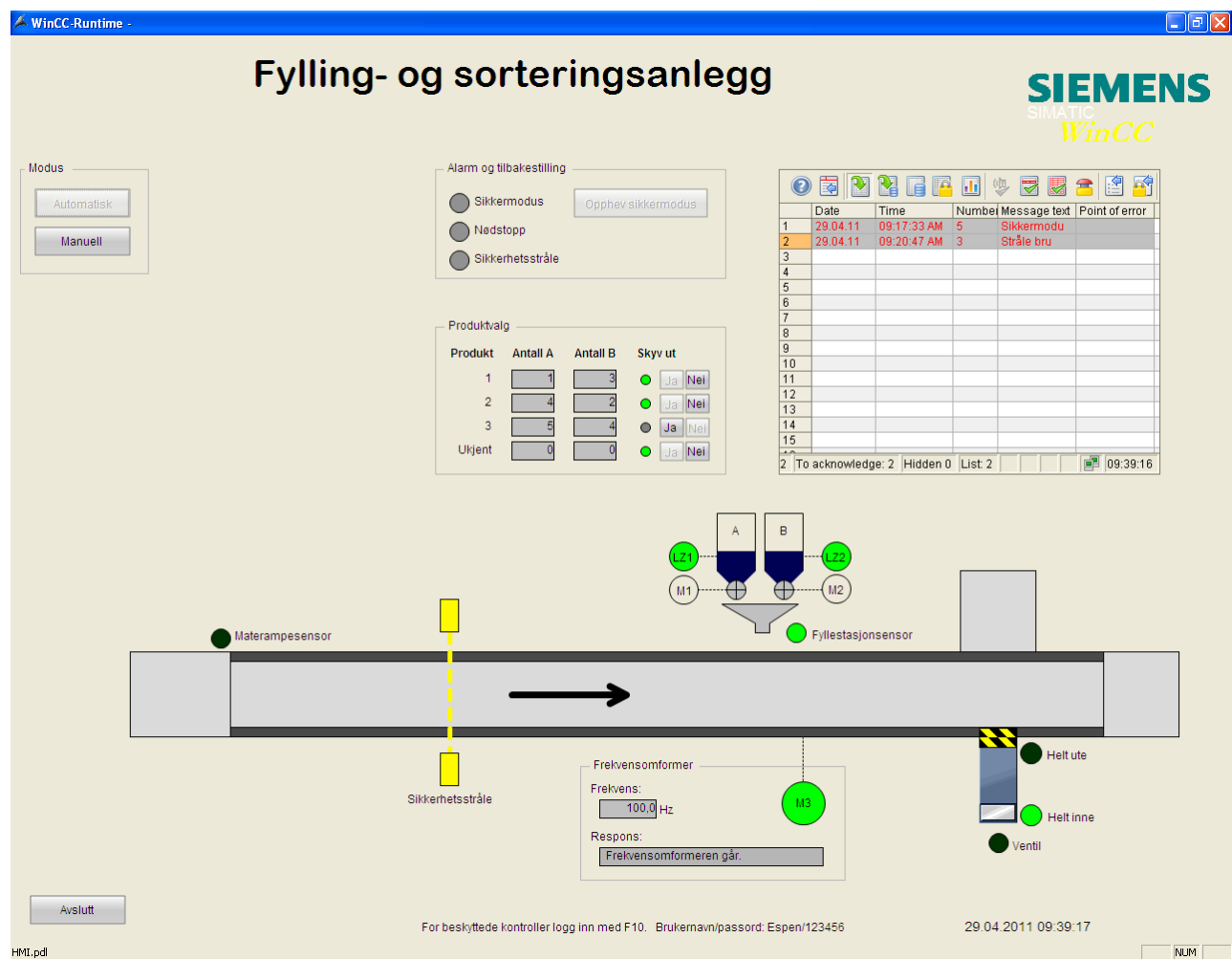


Figur 7-1: Inndeling av en PC-skjerm



Brukergrensesnittet for anlegget er organisert slik:

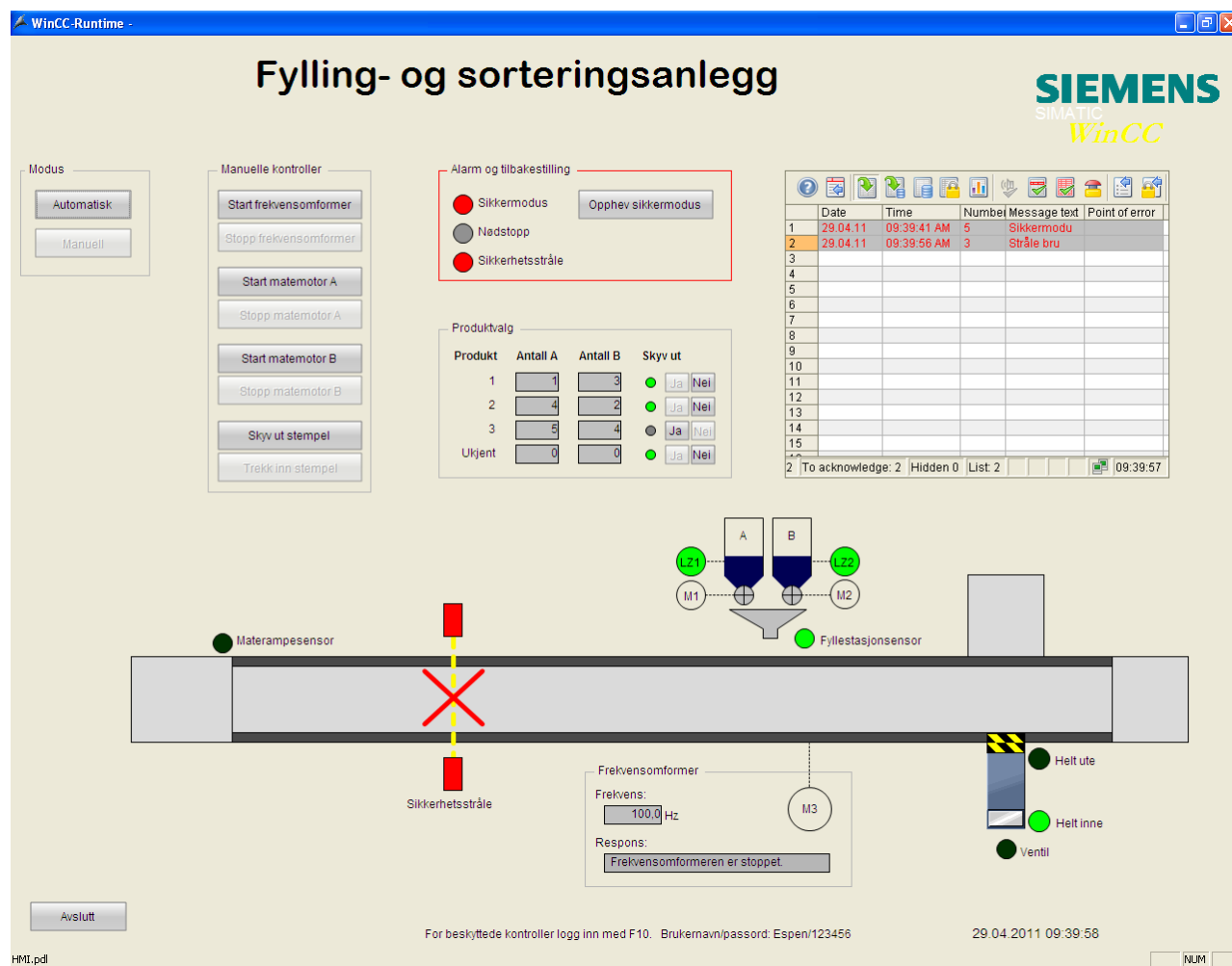
- Område 1** I område 1 finnes hoveddelen av brukergrensesnittet. Her finnes oversiktstegning av anlegget med sensorer, motorer og stempel. Funksjoner for valg av fylling og sortering er lagt her, samt alarmlogg. Kontroller for tvangskjøring av stempel og motorer vises når manuell modus er valgt.
- Område 2** Område 2 brukes til overskrifter og logo. Denne delen brukes kun til opplysning om hvilken anleggsdel brukergrensesnittet gjelder for. I dette tilfellet er det tilstrekkelig med ett skjermbilde.
- Område 3** Til venstre i skjermbildet, er navigasjonsknapper for valg av manuell eller automatisk modus plassert.
- Område 4** I bunnen av bildet finnes klokke, knapp for å avslutte brukergrensesnittet (WinCC) og innloggingsinformasjon.



Figur 7-2: HMI, automatisk modus

### 7.1.2 Fargevalg

Ved utforming av et brukergrensesnitt er fargevalg viktig [4]. Det lagt vekt på bruk av kontraster, for å tiltekke oppmerksomhet og gjøre skjermbildet behagelig å se på. Fargene er få og ensbetydende, slik at feiltolkning skal unngås. Fargen rød er f.eks kun brukt til alarmer og alarmkilder. Et eksempel på fargebruk ved alarm er vist på figur 7-3. Her går det klart og tydelig frem at sikkerhetsstrålen er brutt, og at anlegget har gått i sikkerhetsmodus.



Figur 7-3: HMI, manuell modus med sikkerhetsstråle brutt

### 7.1.3 Produktvalg

Vision-kameraet er satt opp til å gjenkjenne tre ulike «produkter». Et «produkt» i denne sammenhengen er definert som en blanding av en gitt mengde av stoff A og en gitt mengde av B. En binærverdi bestemmer om beholderen med produktet skal skyves ut av stempelet. Figur 7-4 er et utsnitt av brukergrensesnittet, som viser hvordan operatøren kan styre

oppsettet av produktene. Fyllingsgradene til bokser/datamatriser som ikke er gjenkjent kan også stilles inn, selv om de i de fleste tilfeller vil være som på figuren; ingen fylling og utskyvning aktivert.

Produkt	Antall A	Antall B	Skyv ut
1	1	3	<span style="color: green;">●</span> Ja Nei
2	4	2	<span style="color: green;">●</span> Ja Nei
3	5	4	<span style="color: grey;">●</span> Ja Nei
Ukjent	0	0	<span style="color: green;">●</span> Ja Nei

Figur 7-4: Utsnitt av brukergrensesnittet som viser produktvalg

#### 7.1.4 Vurdering av HMI standarddokument

Høgskolens standarddokument for HMI-design er brukt som retningslinjer ved utvikling av brukergrensesnittet til transportbåndmodellen. Imidlertid viste det seg at dokumentet ikke var fullgodt. På noen områder er det derfor brukt skjønn ved utforming av brukergrensesnittet.

Høgskolens standarddokument har klare mangler og bør utvides og konkretiseres. Prosjektet har resultert i følgende liste over nødvendige forbedringer.

- Fargekoder spesifiseres (f.eks. i RGB- eller HTML-format) for de ulike tilstandene og elementene, ikke bare fargenavnet.
- Skjermopløsning bør omtales.
- Størrelse på skrift spesifiseres i forhold til skjermopløsning og font.
- Plassering og justering av tekst og tall i tekstbokser må spesifiseres. Tall skal alltid høyrejusteres.
- Antall desimaler og desimalskilletegn i numeriske verdier bør omtales.
- Størrelser på de vanligste enhetene i et P&ID-diagram bør defineres.
- Et konkret eksempel på et fullstendig brukergrensesnitt bør være med, gjerne to – et stort og et lite anlegg. «Et bilde sier mer enn 1000 ord.»
- Det bør forklares hvordan navigering i skjermbildet vha. tabulator-tasten skal foregå.

## 7.2 PLS-programmet

Det er benyttet både FBD og SFC til programmeringen. Programmet er oppdelt i programblokker av hensyn til ryddighet. Blokkene tar seg av ulike oppgaver, beskrevet nedenfor.

- OB1** Dette er PLS-programmets hovedblokk, hvor de andre blokkene blir kalt opp. Overordnet styringslogikk for aktivering og deaktivering av blokker er også inkludert her. Blokken er programmert i FBD. Vedlegg D viser programkoden for OB1.
- FB1** Her ligger sekvensdiagrammet som styrer anlegget i automatisk modus. Dette er nærmere beskrevet i systembeskrivelsen, kapittel 2.1. Blokken er laget i SFC, som gir en god oversikt over programflyten og -strukturen. Noen av overgangsbetingelsene er laget vha. FBD i FC1. Vedlegg E viser programkoden for FB1.
- FB2** Tar seg av kommunikasjon med frekvensomformerer. FBD er benyttet til programmeringen. Denne blokken er basert på profibus-adapterens manual [14]. Vedlegg G viser programkoden for FB2.
- FC1** Denne blokken inneholder en del hjelpefunksjoner, i tillegg til logikken rundt sikkerhetsmodus, tolking av kamerasignal og manuell modus. Overgangsbetingelser i sekvensprogrammet FB1 som krever FBD, er også programmert her. Vedlegg F viser programkoden for FC1.

PLS-programmet er satt opp etter tilordningslisten i tabell 7-1. De neste underkapitlene vil ta for seg sikkerhetsfunksjoner og styring av frekvensomformerer.

Tabell 7-1: Tilordningsliste for PLS

Utgangsmodul PLS2			
Utg.	Skrue	Ref.	Beskrivelse
Q0.0	2	SB1	Resett SafeBox (dobbel kortvarig impuls)
Q0.1	3	K1	Start relé 1 – skruemotor fyllstoff A
Q0.2	4	K2	Start relé 2 – skruemotor fyllstoff B
Q0.3	5	MV1	Skyv ut stempel (går automatisk tilbake når spenning forsvinner)
Q1.0	12	DVB1	Trigg kamera (ta bilde)
Inngangsmodul PLS4			
Inng.	Skrue	Ref.	Beskrivelse
I0.0	2	LZ7	Sensor ved materampe
I0.1	3	FC2	Sensor ved kamera
I0.2	4	FC3	Sensor ved fyllestasjon
I0.3	5	LZ1	Tomt for stoff A (invertert)
I0.4	6	LZ2	Tomt for stoff B (invertert)
I0.5	7	LZ3	Bulkteller stoff A (impuls)
I0.6	8	LZ4	Bulkteller stoff B (impuls)
I0.7	9	LZ5	Stempel helt ute
I1.0	12	LZ6	Stempel inne – normalposisjon
I1.1	13	SB1	SafeBox har gått i sikkerhetsmodus pga. lysgitter (invertert)
I1.2	14	SB1	SafeBox har gått i sikkerhetsmodus pga. nødstop (invertert)
I2.0	22	DVB1	Digital utgang fra kamera – produkt 1
I2.1	23	DVB1	Digital utgang fra kamera – produkt 2
I2.2	24	DVB1	Digital utgang fra kamera – produkt 3
I2.3	25	DVB1	Digital utgang fra kamera
I2.4	26	DVB1	Digital utgang fra kamera
I2.5	27	DVB1	Digital utgang fra kamera
I2.6	28	DVB1	Digital utgang fra kamera – opptatt

### 7.2.1 Sikkerhet

Dersom nødstoppbryteren aktiveres eller sikkerhetsstrålen blir brutt, vil sikkerhetsmonitoren og PLS-programmet gå over i sikkermodus. Sikkerhetsmonitoren vil stoppe alle bevegelige deler momentant, uten å gå via PLS-en. Samtidig vil PLS-programmet resette sekvensen, stoppe alle bevegelige deler (programvaremessig) og gå over i manuell modus. For å oppheve sikkerhetsmodusen må

1. årsaken til feilen fjernes (blokkering av lysgardin/nedtrykt nødstop) og
2. en bekreftelse gis fra brukergrensesnittet (passordbeskyttet).

### 7.2.2 Styring av frekvensomformer

For å starte frekvensomformerens må det overføres et kontrollord fra PLS-en til frekvensomformerens dataadresse i profibus-nettverket. Et «ord» eller WORD i denne sammenheng, er en 16-bits heksadesimal kode. I tillegg må det overføres et referanseord med verdi i området  $\pm 20\,000$ . Referanseordet bestemmer frekvensen, og blir skalert om til  $\pm$  maksimal frekvens. Maksimal frekvens velges i frekvensomformerens innstillinger i parameter 1105 EXT REF1 MAX.

*Eksempel:*

Maksimalfrekvensen  $f_{\max} = 100$  Hz er satt i parameter 1105 EXT REF1 MAX. Referanseordet 10 000 blir overført til frekvensomformerens fra PLS-programmet. Frekvensen ut til motoren blir  $f_{\text{ut}} = 50$  Hz, beregnet i formel (7-1). [14]

$$f_{\text{ut}} = \frac{\text{Referanseord} \cdot f_{\max}}{20\,000} = \frac{10\,000 \cdot 100 \text{ Hz}}{20\,000} = 50 \text{ Hz} \quad (7-1)$$

Frekvensomformerens kan innta forskjellige tilstander, f.eks.:

- Klar/ ikke klar til å starte.
- Oppramping (frekvensen øker som en del av oppstarten).
- Kjører.
- Nødstopptilstand.
- Feiltilstand.

Noen av tilstandene krever at spesifikke kontrollord blir overført før frekvensomformerens kan startes, f.eks. nødstopptilstanden. Hvilken tilstand som er aktiv, leses i et statusord som overføres til PLS-en. [14]

Det er laget en funksjonsblokk i PLS-programmet (FB2) for korrekt styring av frekvensomformereren. Funksjonsblokkens inn- og utganger er listet opp i tabell 7-2.

Hjelpfunksjonene FC104 og FC105 sørger for riktig skalering av hastighet. Se vedlegg G for programkoden.

Tabell 7-2: Frekvensomformerblokkens inn- og utganger

Funksjon	Retning	Datatype
Start	Inngang	BIT
Stopp	Inngang	BIT
Hastighet	Utgang	FLOAT
Aktuell hastighet	Utgang	FLOAT

## 8 KONKLUSJON

Det har i løpet av prosjektperioden blitt bygd en transportbåndmodell for fylling og sortering av beholdere. Transportbåndmodellen er styrt av en Siemens S7-300 PLS. PLS-programmet består av en automatisk sekvens programmert i SFC, i tillegg til hjelpefunksjoner programmert i FBD.

Kommunikasjonen mellom PLS, ekstern I/O-modul og frekvensomformer foregår via feltbusstandarden Profibus DP. Bruk av feltbuss gir fordeler som enklere kabling, skalerbarhet og bedre støyimmunitet. Kapittel 5 beskriver feltbussystemer nærmere.

En viktig del av oppgaven har vært å få innblikk i vision-teknologi og benytte dette til gjenkjenning av beholdere. Beholderene blir identifisert ved avlesning av datamatriser. Vision-sensoren ble programmert til å gjenkjenne tre ulike datamatriser, som tilsvarer tre ulike «produkter». Fyllingsgraden av de to stoffene *A* og *B*, samt om beholderen skal skyves ut med stempelet, bestemmes individuelt for de tre produktene.

I Siemens WinCC er det laget et funksjonelt og oversiktlig brukergrensesnitt for anlegget. Brukergrensesnittet er utviklet i tråd med høgskolens standarddokument for godt HMI-design [4]. De viktigste funksjonene er en oversiktlig anleggstegning med nødvendige sensorer og motorer, alarmhåndtering og -logging og valg av automatisk eller manuell modus. I manuell modus kan stempelet og hver enkelt motor tvangskjøres.

Det er gjort en vurdering av høgskolens HMI standarddokument. Konklusjonen er at dokumentet bør utvides og forbedres. Dette gjelder blant annet spesifisering av farger, skriftstørrelser, skriftjustering og konkrete eksempler. Underkapittel 7.1.4 gir en nærmere beskrivelse av dette.

Prosjektet har fokusert på maskinsikkerhet. For å tilfredsstille krav maskindirektivet setter, har det blitt tatt i bruk en egen sikkerhetsmonitor med tilhørende lysgardin. Oppstår en farlig situasjon, vil sikkerhetsmonitoren stoppe alle bevegelige deler momentant. PLS-programmet sørger for at anlegget forblir stoppet inntil årsaken til situasjonen er fjernet, og det er gitt en bekreftelse på tilbakestilling via brukergrensesnittet. For å gi denne bekreftelsen kreves det et passord.

Oppkopling av transportbåndsystemet er utført i henhold til normer for fastmonterte elektriske anlegg [9]. Med dette vil modellen tilfredsstille krav gitt i forskrift for elektriske lavspenningsanlegg [21].

Et viktig fokus under hele prosjektet har vært å ha riktig kvalitet på den mekaniske delen av oppgaven. Fester og stativer til de forskjellige komponentene er laget i riktig kvalitet, med tanke på fremtidig bruk.

Transportbåndsystemet fungerer slik det var beskrevet i oppgaveteksten. Det elektriske anlegget, PLS-programmet og brukergrensesnittet er dokumentert gjennom denne rapporten, med vedlegg. Resultatet av prosjektet stemmer godt overens med målformuleringen, og læringsutbyttet for deltakerne har vært betydelig.



## REFERANSER

- [1] NEK 144:2004 Grafiske symboler for elektroteknisk dokumentasjon. 5. utgave. Strandveien 18 - Postboks 280 - 1326 Lysaker, Norsk Elektroteknisk Komité, 2004.
- [2] Pedersen, M., Dæhli, O. og Hagen, S. T. Prosjektrapportmal. Høgskolen i Telemark, 2009. Upublisert materiale.
- [3] Waskaas, M. og Hagen, S. T. Litteraturliste og litteraturhenvisning. Høgskolen i Telemark, 2008. Upublisert materiale.
- [4] Fjelltveit, L., Kolseth, O. J., Kjeldsen, V., Myra, S. O. og Pettersen, E. PCS 7 Prosjekt – Høgskolen i Telemark (2009). *HMI standarddokument*. Kjølnes ring 56, 3918 Porsgrunn. Lokalisert 02.02.2011: <http://tfweb.hit.no/2010/IA6-1-10/>.
- [5] Pedersen, M. HMI design principles. Høgskolen i Telemark, 2008. Upublisert materiale.
- [6] Instruction Manual Modular Control System SafeBox SB4. Tyskland, Pepperl+Fuchs, 2011.
- [7] Applied Automation Controls Inc. (2010). *Safety Products*. 1240 Wolf Street, Syracuse, NY 13208. Lokalisert 10.03.2011: <http://www.appliedautomation.com/safety.htm>.
- [8] ABB AS (2009). *ABB general machinery drives, ACS355, 0.37 to 22 kW, catalog*. ABB AS Automasjonsprodukter, Postboks 154 Vollebakk, 0520 Oslo. Lokalisert 04.05.2011: [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4729b2090380320dc1257672006b6bc4/\\$file/14688\\_acs355\\_catalog\\_0000068569\\_en\\_reva\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4729b2090380320dc1257672006b6bc4/$file/14688_acs355_catalog_0000068569_en_reva_lowres.pdf).
- [9] NEK 400:2010 Elektriske lavspenningsinstallasjoner. 4. utgave. Strandveien 18 - Postboks 280 - 1326 Lysaker, Norsk Elektroteknisk Komité, 2010.
- [10] Pedersen, M. Fieldbus a short overview. Høgskolen i Telemark, 2011. Upublisert materiale.
- [11] Tyssø, V. Høgskolen i Oslo (2002). *Introduksjon PROFIBUS*. Pilestredet 46, 0167 Oslo. Lokalisert 02.04.2011: <http://www.iu.hio.no/~veslemot/styringsteknikk/PROFIBUS/Feltbuss.pdf>.
- [12] PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO) (2010). *PROFIBUS System Description Technology and Application*. Haid-und-Neu-Str. 7, 76131 Karlsruhe, Germany. Lokalisert 28.03.2011: <http://www.profibus.com/nc/downloads/downloads/profibus-technology-and-application-system-description/display/>.
- [13] Skeie, N. O. Industrial Datacommunication and Computer Network - Introduction to SCADA systems, Alarm Systems. Høgskolen i Telemark, 2011. Upublisert materiale.

- [14] User's Manual PROFIBUS DP Adapter Module FPBA-01. 2. utgave. P.O. Box 184 FIN-00381 HELSINKI, FINLAND, 2007.
- [15] FrameWork Installation and User Guide For DVT® Vision Sensors. 9. utgave. Cognex Corporation, 2007.
- [16] DVT Corporation (2000). *Legend 500 Series - Model 530 SmartImage Sensor*. 1670 Oakbrook Drive, Suite 330 – Norcross, Georgia 30093. Lokalisert 25.01.2011: <http://pdfsupply.com/pdfs/dvt530a.pdf>.
- [17] ISO 10935:1996 Optics and optical instruments. International Organization for Standardization, 1996.
- [18] ISO/IEC 16022:2006 Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Data Matrix bar code symbology specification. 2. utgave. International Organization for Standardization, 2006.
- [19] IDAutomation.com, Inc. (2011). *2D Data Matrix Barcode Formats*. Suite 300, 550 N. Reo St., Tampa, Florida. Lokalisert 28.04.2011: <http://www.idautomation.com/datamatrixfaq.html>.
- [20] RACO Industries, LLC (2008). *DataMatrix Barcode Generator*. 5480 Creek Road, Cincinnati, OH 45242, USA. Lokalisert 15.04.2011: <http://www.racoindustries.com/barcodegenerator/2d/datamatrix.aspx>.
- [21] Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg. Rambergveien 9, 3115 Tønsberg, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2005.

## VEDLEGG

Vedlegg A Framdriftsplan.

Vedlegg B WBS.

Vedlegg C Oppgavetekst.

Vedlegg D PLS: Hovedblokk, OB1 (FBD).

Vedlegg E PLS: Blokk som styrer automatisk sekvens, FB1 (SFC).

Vedlegg F PLS: Blokk som håndterer sikkerhetsmodus, kamerasignaler og manuell kjøring, FC1 (FBD).

Vedlegg G PLS: Blokk for styring av frekvensomformer, FB2 (FBD).

Vedlegg H Koplingsskjema med tilhørende koplingstabeller.

Vedlegg I Materialliste.