



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Informasjonsteknologi - Automatisering og signalbehandling	Vårsemesteret, 2018 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Andreas Kverneland	 (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Karl Skretting Veileder(e): Karl Skretting, Jean-Marc Launay	
Tittel på masteroppgaven: RobotNorge: Optimalisere og robotisere pakkelinje Engelsk tittel: RobotNorge: Optimize and robotize packing line	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Produktidentifikasjon. Automatisere plukking og plassering. Konsept av løsning. Grafisk og tekstbasert programmering.	Sidetall: 55 + vedlegg/annet: 8, totalt 63 Stavanger, 15.06.2018

Sammendrag

En stor del av norsk industri er innen råvare, og da gjerne olje-, gruve- og smelteverksindustrien. Dette er næringer som i liten grad bruker roboter ved produksjon. Annen industri i Norge bærer preg av høy variasjon og små produksjonskvanta på varene. Slike prosesser er vanskelige å automatisere, da de stiller høye krav til fleksibilitet for å være lønnsomme. Roboter er de siste årene blitt stadig mer brukt i automatisering av prosesser, og i Norge er trenden positiv for bruk av slike. Grunnet utfordringene med å lage automasjonssystemer med roboter tilstrekkelig fleksible, ligger Norge under verdensgjennomsnittet av antallet industriroboter målt mot antall industriarbeidere.

RobotNorge AS er en integratorbedrift for automatiseringsløsninger med fokus på bruk av industriroboter. En av deres kunder, som tilhører næringsmiddelindustrien, presenterte en utfordring. Deler av utfordringen forsøkes løst i denne oppgaven.

Kunden har flere pakkelinjer hvor hver linje håndterer ett produktparti om gangen. Linjen må omstilles før emballering av et nytt produkt. I dag pakkes hvert parti manuelt i pappesker, men det er ønskelig å lage et robotisert pakkesystem. For å unngå at roboter er inaktive ved produktomstilling, ønsker kunden at dette systemet skal tilføres produkter fra flere linjer samtidig. Kunden har tidligere forsøkt å tilføre ulike produkter langs et samleband, men teknologi innen produktidentifikasjon var den gang ikke moden for å gjenkjenne mer enn ett produktparti om gangen.

Problemstillingen er stor og kompleks, og det lot seg derfor ikke gjøre å komme opp med en komplett løsning kun i løpet av ett vårsemester. Fokuset for oppgaven har derfor vært produktidentifikasjon, plukking og plassering av produkter samt en mekanisme for tilførsel og fjerning av fulle esker. Teknologien for bildebehandling har kommet langt etter at kunden sist forsøkte å løse problemstillingen. I dag tillater programvare bruk av flere ulike sensorer for riktig klassifisering, og bildebehandling kombinert med vekt som kontrollmåling antas å gi tilstrekkelig informasjon for riktig identifikasjon. Bildebehandling med et gråskala kamera er testet og ga lovende resultater for videre utvikling.

Etter at produktene er identifisert skal de plukkes og plasseres i esker. For å tilføre nybygde esker og hurtig kunne fjerne fulle esker er det i oppgaven laget et konsept av bord, kalt skyvebord. Dette skyvebordet skal også sørge for at eskenes posisjon ved plassering av produkter er innen rekkevidde for robotene. Bordet består av tre bevegelige mekanismer som skyver eller senker eskene.

En robot som er laget spesifikt for plukking og plassering av produkter er ABBs FlexPicker. Denne er velegnet for hurtig plukking av produkter langs samleband. Flere slike roboter kan plasseres langs et samleband for å håndtere stor vareflyt. Et slikt system har blitt testet med kundens høyeste vareflyt, 240 produkter i minuttet. Konklusjonen er at fem roboter kreves for å plukke og plassere samtlige produkter i esker.

Det er laget en film av hvordan plukking av produkter og plassering i esker kan gjennomføres. Denne kan sees ved å følge linken: <https://youtu.be/bNgwn4h-9B0>.

For et komplett pakkesystem gjenstår fremdeles noe arbeid, for eksempel: logistikk-løsning for esker til skyvebord; teste flere ulike sensorer for produktidentifikasjon; utvikle algoritme som bestemmer ”hvilken robot som plukker hva”; videreutvikling av konseptet for skyvebordet. Dette kan danne grunnlag for en eller flere nye masteroppgaver.

Forord

Sommeren 2018 fullfører jeg (forfatter) min ”Master i teknologi”-utdanning med spesialisering innen *automatisering og signalbehandling*. Jeg er en 31 år gammel mann som fra tidligere har fullført en bachelor i ingeniørfag med studieretning *industriell automatisering*. Før utdanningens start jobbet jeg som serviceelektriker (sertifisert montør gruppe L) i bedriftene SIEMENS AS, Apply TB og Bravida Norge AS.

I løpet av vårsemesteret 2018 har jeg jobbet i samarbeid med bedriften RobotNorge AS for å utvikle et konsept som skal løse en problemstilling gitt av kunde, hvor kunden er en bedrift tilhørende næringsmiddelindustrien. Kunden har fremstilt et ønske om å være anonym av konkurransemessige hensyn, og av denne grunn vil kundens navn og produkter anonymiseres. Vareflyt og utfordringer som nevnes i rapporten er reelle.

Opgaven er gjennomført tilsvarende andre prosjekter der RobotNorge AS har vært deltakende - ved først å innhente nødvendige data, simulering for verifisering av løsning, og til slutt å generere et virtuelt konsept av løsningen.

Ønsker å rette en takk til:

- **RobotNorge AS** v/ Jean-Marc Launay og Atle Rittedal for muligheten til å jobbe med en aktuell og interessant problemstilling, samt god faglig veiledning underveis i prosjektet.
- **Karl Skretting** for teoretisk veiledning i forbindelse med prosjektet og rapporten.

Forkortelser

3D	<i>Tre dimensjoner.</i> Beskrivelse av gjenstand med tre dimensjoner.
AB	<i>Aktiebolag.</i> Tilsvarende AS i Sverige.
AS	<i>Aksjeselskap.</i> Selskap med bestemt kapital fordelt på en eller flere andeler kalt aksjer.
BRC	<i>British Retail Consortium Global Standard.</i> Standard for matsikkerhet og -kvalitet.
C#	<i>C Sharp.</i> Objektorientert programmeringsspråk utviklet av Microsoft.
HMLV	<i>High mix low volume.</i> Produksjon av varer - Mindre partier med stor variasjon.
IFR	<i>International Federation of Robotics.</i> Null-profit robotikk-organisasjon.
IM	<i>Indre mål.</i> Dimensjon på objekt.
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i> Standardiseringsorgan.
NC	<i>Normally closed.</i> Logikk - Aktivert som standard
NO	<i>Normally open.</i> Logikk - Deaktivert som standard
NS	<i>Norsk standard.</i> Standard som er utviklet i Norge.
NS-EN	Europeisk standard fastsatt som Norsk Standard.
NS-EN ISO	Kombinert internasjonal og europeisk standard fastsatt som Norsk Standard.
QR-kode	<i>Quick Response Code.</i> Kompakt figur med kode lesbar av maskin.
TB	<i>Teknisk Bureau.</i> Leverandør og utfører av byggetekniske løsninger.
TS	<i>Technical Specification.</i> Normativt dokument.
UiS	<i>Universitetet i Stavanger.</i> Høyere utdanningsinstitusjon.
YM	<i>Ytre mål.</i> Dimensjon på objekt.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	II
Forord	III
Liste over forkortelser	III
1 Introduksjon	1
1.1 Om RobotNorge AS	1
1.2 Robotikk anvendt i industri	1
1.3 Oppgavebeskrivelse	3
1.3.1 Original beskrivelse	3
1.3.2 Problemstilling	4
1.3.3 Endelig oppgave	7
2 Bakgrunn	8
2.1 Styrestrøm - forrigling	8
2.2 Verktøyet RobotStudio	9
2.2.1 Noen begrep i RobotStudio	9
2.2.2 Grafisk programmering	9
2.2.3 Tekstbasert programmering	10
2.2.4 Deteksjon av feil	11
2.2.5 Inn- og utgangssignaler	11
2.2.6 Smartkomponenter og logiske koblinger	12
2.2.7 PowerPacs	13
2.2.8 Feilhåndtering	13
2.3 Kollaborerende roboter	14
2.4 Avsperring til robotceller	15
2.5 Produksjonskapasitet	15
2.5.1 Produkter	16
2.5.2 Esker til pakking	16
2.6 Identifisering av produkter	17
2.6.1 Dataoverføring fra kundens produksjonsutstyr	17
2.6.2 Strekkode/QR-kode	18
2.6.3 Bildegenkjenning	18
2.6.4 Vekt	19
2.6.5 3D-måling	19

3	Konsept	21
3.1	Eskereiser	21
3.2	Skyvebord	22
3.2.1	Mekanismens operasjon	23
3.2.2	Signaler	24
3.2.3	I RobotStudio	24
3.3	Identifisere, plukke og plassere	25
3.3.1	Frakt av produkt	25
3.3.2	Identifisering	26
3.3.3	Griper	26
3.3.4	Robot	27
3.3.5	Risikovurdering	29
3.3.6	Kontrollerens oppsett	31
3.3.7	Signaler	32
3.3.8	Programsyklus	32
3.3.9	I RobotStudio	33
3.4	Eskeforsegling	34
3.5	Palletering av pappesker	35
4	Testing av systemet	36
4.1	Identifikasjon av produkter	36
4.1.1	Testoppsett	36
4.1.2	Fremgangsmåte	37
4.1.3	Testing i sanntid	38
4.1.4	Usikkerhet og forutsetninger bak testen	39
4.2	Plukking og plassering	40
4.2.1	Testoppsett	40
4.2.2	Fremgangsmåte	40
4.2.3	Test med fire roboter	41
4.2.4	Test med fem roboter	42
4.2.5	Usikkerhet og forutsetninger bak testen	43
4.2.6	Visualisering	43
5	Oppsummering	45
5.1	Tester	45
5.2	Systemets egenskaper	46
5.3	Foreslått system mot manuell sortering	46
5.4	Diskusjon	47
5.5	Videre arbeid	48
	Bibliografi	49
	Vedlegg	51

1. Introduksjon

Industribedrifter ønsker ofte å automatisere repetitive og fysisk krevende arbeidsoppgaver. Formålet er vanligvis å øke profitt, men for operatørene kan en positiv konsekvens være mindre slitasje og økt sikkerhet. Arbeidskraften som blir overflødig ved automatisering kan benyttes andre steder i produksjonen. Å automatisere manuelle arbeidsoppgaver er utgangspunktet for denne oppgaven.

Noen av utfordringene rundt automatisering i Norge blir nevnt i dette kapittelet, samt oppgaven med problemstilling.

1.1 Om RobotNorge AS

RobotNorge AS er en integratordrift for automatiseringsløsninger i norsk industri. De har kontor på Klepp Stasjon i Rogaland. Bedriften ble etablert 1. oktober 2003, og er i dag landets ledende robotiseringselskap samt eneforhandler av ABBs totale robotprogram i Norge.

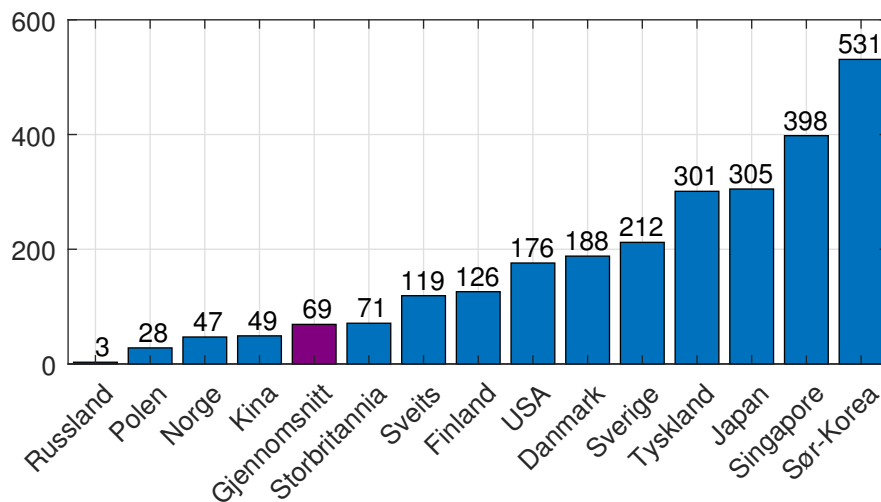
Foruten salg av produkter og relaterte tjenester betjener RobotNorge en installert base på over 1500 roboter i Norge[14]. Bedriften eies av Trolltunga AS, og har et søsterselskap i Sverige ved navn RobNor AB. Totalt har de 30 medarbeidere.

1.2 Robotikk anvendt i industri

I flere tiår har automatisering av prosesser hjulpet bedrifter til å øke sin produksjonsevne. De siste årene har roboter vært stadig mer brukt i automatisering av repetitive, risikable og/eller skitne jobber, en trend som gjenspeiles i at antallet roboter solgt har økt hvert år fra 2009 til 2015[23, tabell 2.1]. Robotisering vil kunne redusere skader og sykefravær, og samtidig kunne utføre en arbeidsoppgave mer produktivt, effektivt og konsistent enn et menneske.

Produksjonslinjer med stort parti og lite variasjon er relativt enkle å robotisere. Slike linjer behandler ofte kun ett produkt, og fleksibiliteten til robotsystemet trenger ikke være så stor. Dette vises tydelig i rapporten fra *International Federation of Robotics (IFR)*, som fører statistikk blant annet over hvilke land i verden som har høyest antall roboter i industri målt opp mot antallet industriarbeidere[23, tabell 2.6]¹. Gjennomsnittlig robottetthet blant de landene som er målt er 69, og land som er kjent for bilindustri (eks. Tyskland, Japan, Sør-Korea) kommer svært høyt ut.

¹Også kalt robottetthet.



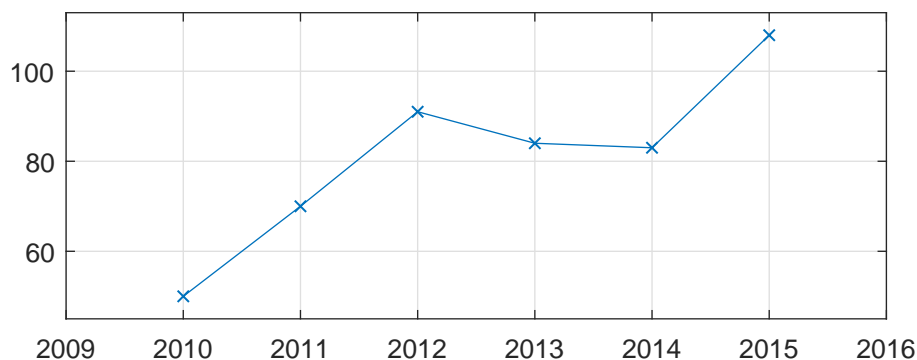
Figur 1.1: Robottetthet i et utvalg av land. Verdier er hentet fra IFR sin rapport[23, tabell 2.6].

Norge har en robottetthet på 47, som er under gjennomsnittet. Faktorer som påvirker dette kan være variasjon og partistørrelser, der bedrifter i Norge stort sett produserer mindre partier med stor variasjon mellom partiene, heretter kalt HMLV². I tillegg til HMLV produksjon har norsk næringsliv mye råvarerelatert industri, slik som olje-, gruve- og smelteverksindustri. Dette er næringer som i liten grad bruker roboter ved produksjon. Noen av prosessene forsøkes automatisert, for eksempel automatisert boretårn i forbindelse med leting etter olje, se link:

<http://www.westgroup.no/products/continuous-motion-rig>.

Ettersom næringsmiddelbedrifter produserer i henhold til bestilling fra kunde, og noen produkter bestilles i henhold til sesong (jul, påske, vinter, sommer etc.), vil det ved HMLV være lite hensiktsmessig å ha dedikerte produksjonslinjer til hvert produkt. Å robotisere en produksjonslinje der flere produkter behandles setter økte krav til fleksibilitet sammenliknet med linjer der det kun produseres ett produkt. Robotsystemet må kunne behandle hvert produkt effektivt og riktig, uten å begrense varestrømmen. IFR ser for seg at roboter som samarbeider med mennesker³ er en løsning som muliggjør hel eller delvis automatisering av slike produksjonslinjer.

Til tross for at Norge har en robottetthet som er lavere enn gjennomsnittet er trenden for antall solgte roboter positiv. Grafen i figur 1.2 viser utviklingen av årlig antall solgte industriroboter til bedrifter i Norge fra 2010 til 2015.

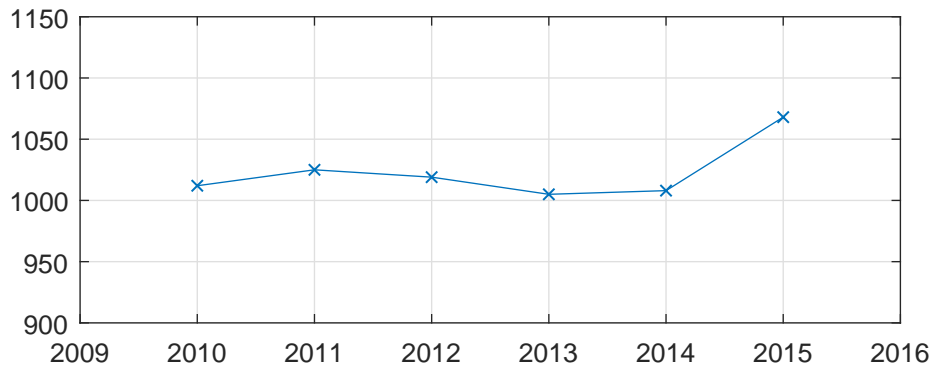


Figur 1.2: Antall solgte industriroboter i Norge fra 2010 til 2015. Verdier er hentet fra IFR sin rapport[23, tabell 2.1].

²”High mix, low volume”.

³Kollaborative roboter, også kalt ”cobots”, se kapittel 2.3 (side 14).

Grafen gir et inntrykk av hvor mange industriroboter som er levert til bedrifter i Norge, men ikke hvor mange slike roboter som tas ut av drift. Grafen i figur 1.3 viser utviklingen av antall operative industriroboter i Norge fra 2010 til 2015.



Figur 1.3: Totalt antall industriroboter i Norge fra 2010 til 2015. Verdier er hentet fra IFR sin rapport[23, tabell 2.2].

Sammenlikner man utviklingen av antall roboter fra 2014 til 2015 er endringen på verdensbasis en økning i antall operative roboter på 11 %, samtidig som den i Norge er på noe mer beskjedne 6 %. Dette bekrefter at å utvikle robot-løsninger til typiske bedrifter i Norge, som ofte har HMLV produksjon, er en stor utfordring. Dersom det utvikles en god løsning på dette ser robotikkbransjen for seg en vesentlig økning i robottetthet også i Norge.

Noen eksempler av produksjon med store parti og lite variasjon, hvor applikasjonen bruker roboter for plukking og plassering av produkter:

- **Stable pannekaker:** <https://www.youtube.com/watch?v=v9oeOYMRvuQ>.
- **Plukke salami:** <https://www.youtube.com/watch?v=ggFdvU1p8YU>.
- **Plassere produkt i eske:** <https://www.youtube.com/watch?v=Y7x9pm7KLJs>.

Disse eksemplene er hentet fra næringsmiddelindustrien, og løsningene er aktuelle for problemstillingen til oppgaven gitt i kapittel 1.3.2.

For robotisering av pakkelinjer vil det være viktig at vareflyten ikke forringes, og at produktene som behandles ikke blir forurenset.

1.3 Oppgavebeskrivelse

Dette prosjektet er en masteroppgave med oppgavetittelen "RobotNorge: Optimalisere og robotisere pakkelinje". Oppgavens hovedmål er å komme med alternative løsninger til problemstillingen, gitt i kapittel 1.3.2, under rådgivning og veiledning fra personer i RobotNorge AS.

1.3.1 Original beskrivelse

Hentet fra oppgavebeskrivelsen på *Canvas*⁴:

Studentoppgaven i utviklingsprosjektet vil i utgangspunktet være knyttet til å lese/tolke inndata gjennom datafangst i bedriftens produksjonsstyringsystem og gjennom maskin-syn/vision identifisering, for å så konvertere disse til robot-kommandoer.

⁴Læringsplattform som benyttes ved UiS.

Fra oppgavebeskrivelsen er følgende element i oppgaven nevnt:

1. Få oversikt over alle deler av utviklingsprosjektet (se helheten).
2. Detaljere og spesifisere avgrensinger i studentoppgaven (detaljere eget ”Scope of Work”).
3. Gjennomføre en ”state-of-the-art” undersøkelse av maskinsyn og ”robot vision” løsninger.
4. Trekke læring og erfaring fra relevante tidligere gjennomførte prosjekt.
5. Lage system for datafangst:
 - (a) Designe en modul for å hente ut data fra produksjonsstyringssystemet.
 - (b) Velge og spesifisere en vision/maskinsyn-løsning for å identifisere det som kommer.
6. Utvikle løsning for å konvertere leste data til robotkommandoer:
 - (a) Designe løsning.
 - (b) Teste/simulere i programvaren *RobotStudio*.
7. Eventuelt:
 - (a) Konstruere løsningen.
 - (b) Teste og evaluere.

De nevnte oppgaveelementene vil endres noe etter at punkt 1) og 2) gjennomføres. Oppdaterte element for oppgaven er gitt i kapittel 1.3.3.

1.3.2 Problemstilling

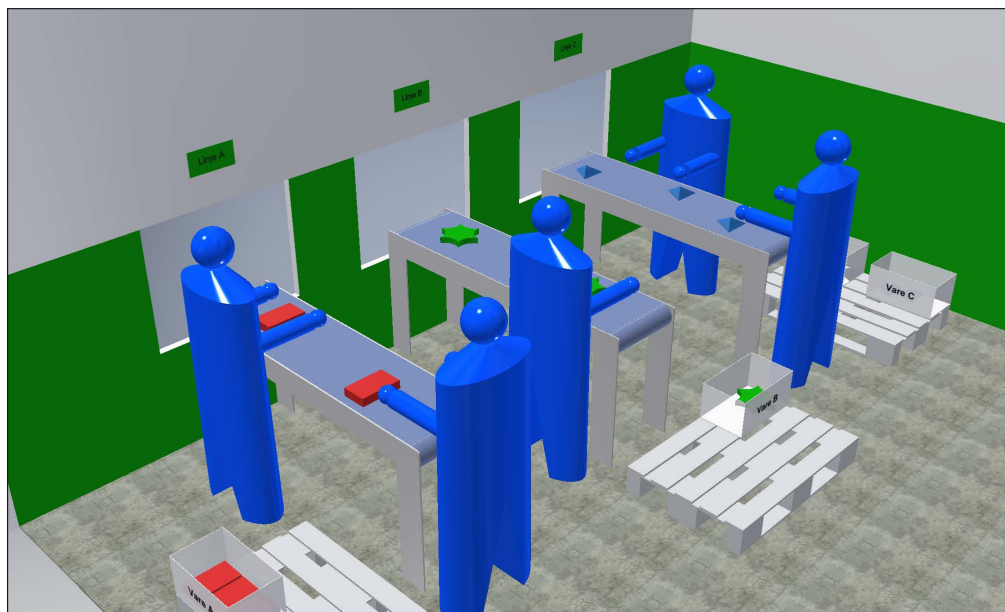
Den aktuelle bedriften, som ønsker at RobotNorge AS kommer med et konsept for varehåndtering, tilhører næringsmiddelindustrien. I næringsmiddelindustrien stilles det, i likhet med annen industri, stadig høyere krav til produktivitet for å være konkurransedyktig. Ensformige og repetitive arbeidsoppgaver kan ofte automatiseres slik at arbeidstakere kan benyttes til andre oppgaver som krever menneskelig presisjon og vurderingsevne.

Noen av pakkelinjene til bedriften er allerede fullt automatisert fra produksjon til pakking i esker. Produktene som behandles langs disse automatiserte linjene selges i så stort volum at produksjonen er kontinuerlig. Her er linjene i stor grad tilpasset produktet, med det resultat at systemet har lite/ingen fleksibilitet til å behandle andre produkter.

Ved de pakkelinjene som ikke er fullt automatisert pakkes produktene manuelt i esker. Produktene her produseres i partier⁵, hvor partiene tilpasses bestillingene gjort av bedriftens kunder. Dette er typiske HMLV partier. Hver pakkelinje behandler i dag kun ett produkt om gangen. Se figur 1.4 for visuell fremstilling.

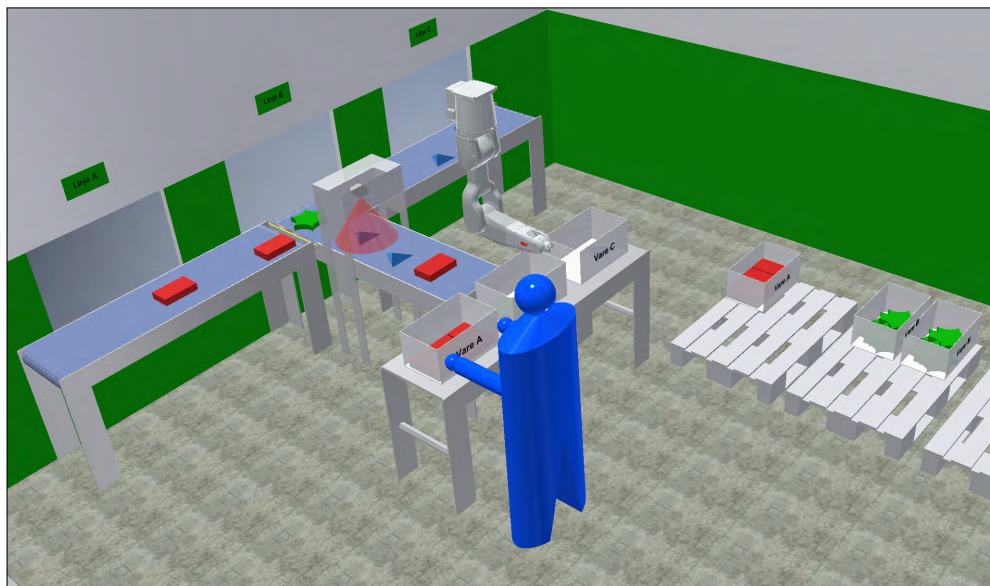
I forbindelse med emballering av produkter oppstår det av og til feil som resulterer i at linjen stopper, med det resultat at personen(e) som pakker produktene i esker ikke er produktive. For å hindre slik uproduktiv tid ønsker bedriften derfor å robotisere pakkeprosessen. En mulig løsning er å gjøre pakkeprosessen delvis automatisert ved hjelp av kollaborerende roboter (se kapittel 2.3 side 14), slik som vist i figur 1.5. Hvis pakkingen skjer ved at en robot plukker og plasserer produktene i esker, og en operatør frakter eskene videre, vil dette kunne redusere nødvendig bemanning i pakkestasjonene.

⁵Batch produksjon.



Figur 1.4: Manuell pakking av produkter, slik pakkelinjen fungerer i dag.

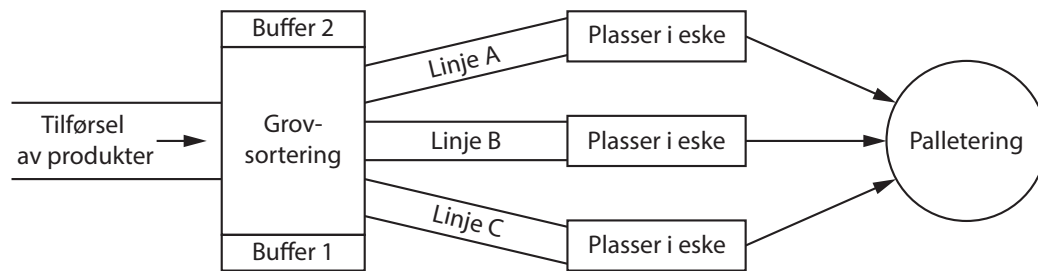
Det vil være både planlagte og ikke-planlagte stopp langs hver pakkelinje. Stoppene kan skyldes feil i forsyning av varer, men også endring av produkt som behandles. For at slike stopp ikke skal føre til at en robot stopper ønsker kunde å benytte én felles robotlinje for å håndtere flere ulike produkter samtidig. Dette systemet må designes langt mer fleksibelt enn systemene for den kontinuerlige produksjonen da produktene varierer i størrelse og utforming, og eskene produktene plasseres i ikke nødvendigvis er like. En skisse av tenkt situasjon vises i figur 1.5. I skissen vises en person som håndterer eskene, men en mer optimal løsning er at også denne prosessen automatiseres.



Figur 1.5: Skisse av tenkt pakkelinje. Her fraktes produktene inn på et felles samlebånd, blir identifisert og sorteres i sine respektive esker, for deretter å bli plassert på en pall.

Kunden har tidligere forsøkt å lage et tilsvarende system. Da viste det seg at begrensningen lå i produktidentifikasjon - teknologien for å kunne skille produkter på en effektiv måte i sanntid var ikke moden, og forsøket ble stoppet. Det vil være helt avgjørende for kunden å få testet dette på ny med dagens teknologi før realisering av konsept vil bli vurdert.

I det første møtet (med RobotNorge, kunde og meg), ble en idé for løsning av problemstillingen presentert av kunde. Dette var slik kundens tekniske personell så for seg å løse utfordringen. Prinsippskisse av idéen vises i figur 1.6.



Figur 1.6: Prinsippskisse som presentert av kunde.

Blokkene i figuren beskrives i de neste punktene.

- **Tilførsel av produkter:**

Likt som fra figur 1.5 føres de ulike produktene inn på ett felles samleband. På denne måten kan produktene fraktes videre sammen, som igjen vil føre til lavere vedlikeholdskostnader sammenliknet med å benytte flere samleband.

- **Grovsortering:**

Fra tilførselen av produkter føres disse til en grovsortering. Her må produktene først identifiseres, for så å plasseres på sin riktige destinasjon av en robot eller egnet enhet. Systemet for sorteringen må holde kontroll på hvor mange av hvilke produkter som er på vei inn, da produktet enten blir plassert på et samleband (linje A, B eller C), eller en buffer. Bufferene er tenkt å være en statisk hylle eller liknende. Dersom sorteringssystemet får beskjed om at det kommer tilstrekkelig av produkt I, II og III til å fylle opp en eske, vil disse plasseres på samlebandet, og produkt IV og V fordeles mellom bufferene.

Etter at sorteringssystemet har plassert nok produkter på ett av samlebandene til å fylle en eske, kan produktene som er plassert i bufferene eventuelt flyttes til dette samlebandet.

Avhengig av hvor mange ulike produkter som tilføres grovsorteringen kan antallet buffere endres. Slik prinsippet vises i figuren er det tenkt at fem ulike produkter blir tilført (to statiske buffere og tre linjer).

- **Linjene:**

Samlebandene som utgjør linje A, B eller C vil også fungere som buffere, med den forskjell at disse flytter produktene fra grovsortering til stasjon hvor de pakkes i esker. Linjene kan gjerne ha en hyppig start/stopp syklus, så lenge et plassert produkt flyttes langt nok til at det ikke risikerer å kolliderer med det neste som skal plasseres.

- **Plassere i eske:**

Ny robot-stasjon hvor kun én type produkt tilføres for hver eske som skal fylles. Denne stasjonen har ikke behov for buffere. Her må løsning for fleksibel tilførsel av esker tilpasses slik at riktig eske er klar når produktene skal plasseres.

- **Palletering:**

Etter at en eske er full fraktes den mot palletering. På veien til palletering må eskene forsegles, enten ved teiping eller liming.

Ulike produkter palleteres ikke sammen, og palleteringsstasjonen må derfor ha tilstrekkelig med areal slik at hvert produkt får sin respektive pall.

Kunden har allerede andre stasjoner som benytter roboter til palletering av esker, og ønsker en liknende løsning for dette systemet. En slik løsning må også kunne fjerne en full pall, slik at nye esker kan plasseres.

I tillegg til disse punktene vil det være noen praktiske hensyn som må tas:

- **Plassbegrensning:**

Dersom idéen skal realiseres er det viktig å tilpasse den tekniske løsningen til bedriftens utpekte plassering. En plantegning over det tiltenkte lokalet vises på side 52. Det er ønskelig at hele systemet samles her, fra bygging av pappesker, plassere produkter i eskene, og til palletering av eskene.

- **Hygiene:**

For å forhindre økonomisk tap og dårlig renommé er det viktig for næringsmiddelbedrifter å forebygge forurensing av produktene de leverer. En effektiv måte å forebygge slike uønskede hendelser er å skille produksjonen opp i soner med ulike krav til renhet. For å opprettholde gode hygienerutiner er bedriften som ønsker den robotiserte pakkelinjen sertifisert etter *British Retail Consortium* (BRC) standarden[18].

Pakkelinjen benyttes til å plassere emballerte produkter i en eske. Emballasjen beskytter produktet mot forurensing, og linjen er derfor plassert i en sone der renhet ikke er like kritisk sammenliknet med en sone der produktet håndteres direkte. I dette området blir ikke teknisk utstyr utsatt for spyling og kraftige såper. Motstandsdyktighet mot dette trengs derfor ikke å tas hensyn til.

Det vil være viktig å sørge for at emballasjen ikke blir brutt eller på annen måte ødelagt, faktorer som vil gjøre seg gjeldende ved valg av griper/verktøy montert på roboten.

1.3.3 Endelig oppgave

Den originale oppgaveteksten (gitt i kapittel 1.3.1) var tungt basert på maskinsyn og datafangst. Ettersom kunde har ønske om å utvikle en løsning som baserer seg mer på maskinsyn og robotisering av repetitivt arbeid er elementene i oppgaven noe endret. Elementene er endret i samråd med universitetets veileder, og vil nå være:

1. Få oversikt over alle deler av utviklingsprosjektet (se helheten).
2. Designe løsning for å plukke produkter fra samleband og plassere produktet i eske.
 - (a) Få en oversikt over produktene som behandles av pakkelinjene.
 - (b) Komme med eksempler på hvilke produkter som kan samkjøres til et felles samleband.
 - (c) Nevne mulige løsninger for identifisering av produkter.
 - (d) Beskrive egnet gripeverktøy til plukking fra samleband og plassering i eske.
 - (e) Designe løsningen. Her skal programvaren *RobotStudio* benyttes.
3. Trekke læring og erfaring fra relevante tidligere gjennomførte prosjekt.

Eventuelt:

1. Spesifisere og teste løsning for identifisering av produktene.
2. Tilpasse systemet til planløsningen gitt på side 52.
3. Designe løsning for montering (liming/teiping) av flatpakkede pappesker.
4. Designe løsning for forsegling (liming/teiping) av fulle esker.
5. Designe løsning for å palletere forseglede pappesker.

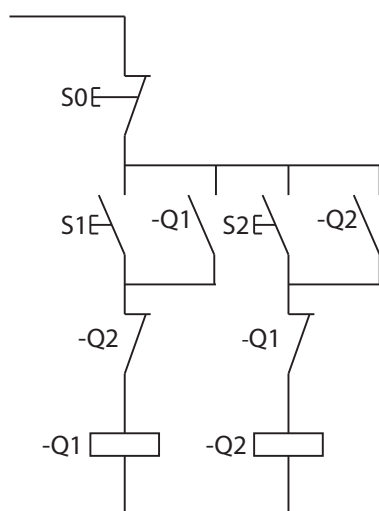
2. Bakgrunn

Dette kapittelet introduserer noen begreper, prinsipper og verktøy som benyttes i forbindelse med oppgaven, og er ikke ment å være en fullverdig opplæring. For mer dyptgående informasjon anbefales egnede oppslagsverk og brukermanualer.

Nødvendige data for utvikling av systemet gis i kapittel 2.5.

2.1 Styrestrøm - forrigling

Å implementere en forrigling i et system er det samme som å benytte en sikkerhetsbarriere for å hindre en uønsket hendelse når en annen hendelse finner sted. Eksempel på dette er heisdører som ikke kan åpnes samtidig som heisen er i bevegelse. Figur 2.1 viser et enkelt styrestrømsskjema av en forrigling.



Figur 2.1: Styrestrømsskjema av forrigling.

Tabell 2.1: Tegnforklaring.

Tegn	Beskrivelse
	Normalt lukket (NC) kontakt
	Normalt åpen (NO) kontakt
	NC kontakt styrt av impulsbryter
	Kontakt/Relé

Tabell 2.2: Komponenter og deres funksjon.

Navn	Beskrivelse
Q1	Kontakt 1 med hjelpekontakter
Q2	Kontakt 2 med hjelpekontakter
S0	Stopp-bryter
S1	Start-bryter for kontakt 1
S2	Start-bryter for kontakt 2

Som beskrevet i tabell 2.2 vil man ved å trykke inn bryter S1 aktivere kontaktor 1. Da vil holdekontakten (NO kontakt merket -Q1) sørge for at Q1 er aktiv frem til S0 blir trykket inn. Så lenge Q1 er aktivert kan ikke kontaktor 2 aktiveres (på grunn av NC kontakt merket -Q1). På samme måte kan ikke Q1 aktiveres dersom Q2 er aktiv. Dette er prinsippet bak forrigling.

I oppgaven er begrepet forrigling benyttet i forbindelse med skyvebordet (kapittel 3.2 side 22), og avsperring for å redusere risiko for skader (kapittel 3.3.5 side 29).

2.2 Verktøyet RobotStudio

RobotStudio er et programmeringsverktøy utviklet av ABB. Det har flere funksjoner, hvor noen er:

- **Prosjektering** - Bruker programmerer robotene til ønsket atferd.
- **Virtuell idriftsettelse** - For eksempel vise kunde et konsept, og da benyttes som salgsverktøy.
- **Håndtering av flåte** - Overvåke og kontrollere eksisterende robot-flåte.

I dette prosjektet vil *prosjektering* og *virtuell idriftsettelse* være de funksjonene i RobotStudio som blir benyttet til å designe et konsept av løsning, som nevnt i punkt 2e kapittel 1.3.3 (side 7). Ved prosjektering kan et tenkt oppsett testes virtuelt, og i denne forbindelse vil det være mulig å oppdage feil og mangler ved programmet før praktisk idriftsettelse av anlegget. Litt grunnleggende informasjon om programmet vil bli vist i de neste delkapitlene. For mer utfyllende informasjon, se operasjonsmanual tilhørende RobotStudio[26].

2.2.1 Noen begrep i RobotStudio

Dette delkapittelet beskriver noen sentrale begreper som brukes for å forklare RobotStudio. Enkelte av punktene er direkte sitert fra oppgaveskriv benyttet i faget *ELE610 - Prosjekter i robotteknikk*[27, kapittel 1.13].

Robot: En fysisk robot (manipulatorarm).

Kontroller: Styreskap med elektronikk og programvare som styrer roboten.

System: Et robotsystem er den fysiske roboten med styreskap og tilhørende programvare.

Stasjon: I RobotStudio er en stasjon en *modell* av den fysiske roboten. Stasjonen inkluderer også (deler av) omgivelsene og verktøy og arbeidsstykker knyttet til roboten.

Virtual Controller: Dette er et program, eller en programdel i RobotStudio som kalles RobotWare, som gjør det mulig å styre, simulere bevegelser, i en modell.

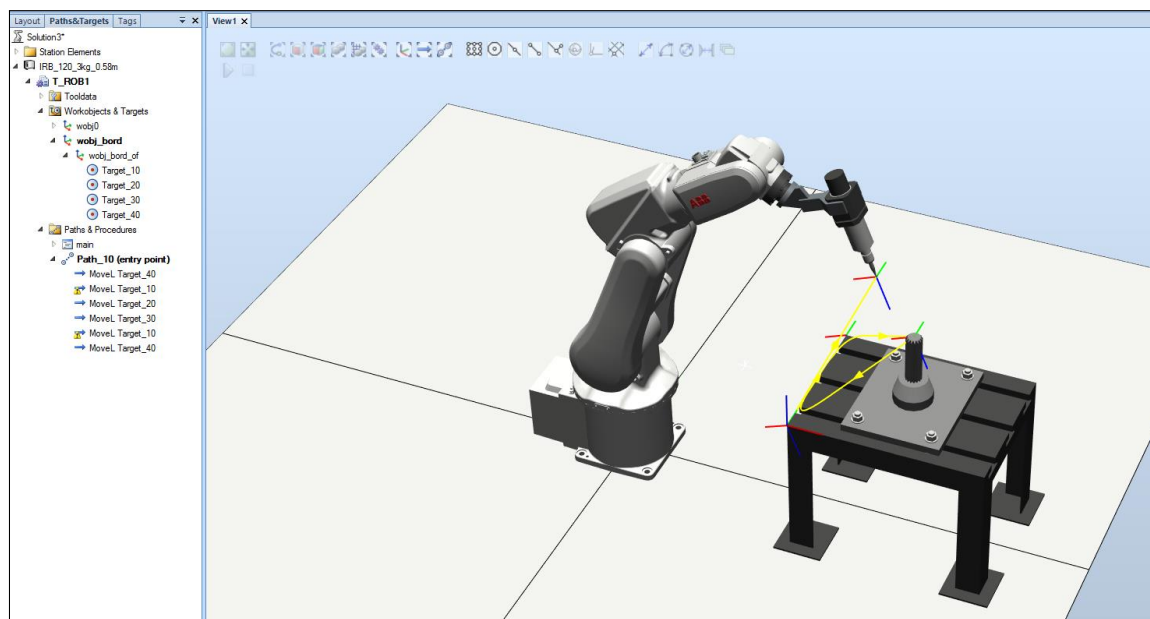
Solution: En løsning (solution) i RobotStudio består av både en stasjon, en (eller flere) virtuell(e) kontroller(e), og program. En kan si at dette tilsvarer det fysiske system.

Robot-verktøy: Utstyr montert på robotens verktøyfeste som gjør roboten i stand til å utføre ønskede oppgaver.

2.2.2 Grafisk programmering

I RobotStudio har man mulighet til å importere 3D-modeller av utstyret som ønskes bearbeidet. Figur 2.2 viser robot med verktøy og et bord med en stolpe. Det er mulig å definere punkter man ønsker roboten skal nå, og definere banen (rekkefølge av punkter) som ønsket.

I figuren er punkter definert som `Target_10` til `Target_40`. `Path_10` er banen.



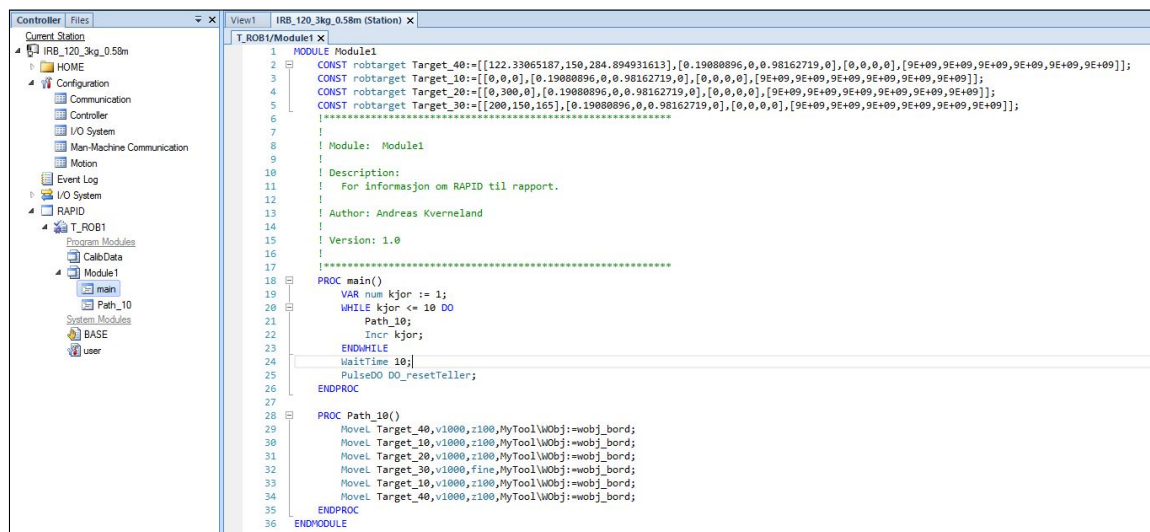
Figur 2.2: Grafisk programmering i *RobotStudio*. Aksekers er referansepunkt og punkter. Gul kurve er banen hvor bruker ønsker at robot beveger verktøyet.

Visualiseringen av robotens bevegelse kan også være et nyttig salgsverktøy for å vise kunde et konsept av hvordan en arbeidsoppgave kan robotiseres.

Ved realisering av programmet må referansepunkt kalibreres slik at bevegelser blir som forventet.

2.2.3 Tekstbasert programmering

Dersom bruker har generell kunnskap med tekstbasert programmering kan også baner og oppførsel til roboten programmeres ved å benytte RAPID, som er ABBs høynivå programmeringsspråk for industriroboter. Figur 2.3 viser det samme programmet som i forrige kapittel, med unntak av at banen kjøres ti ganger.



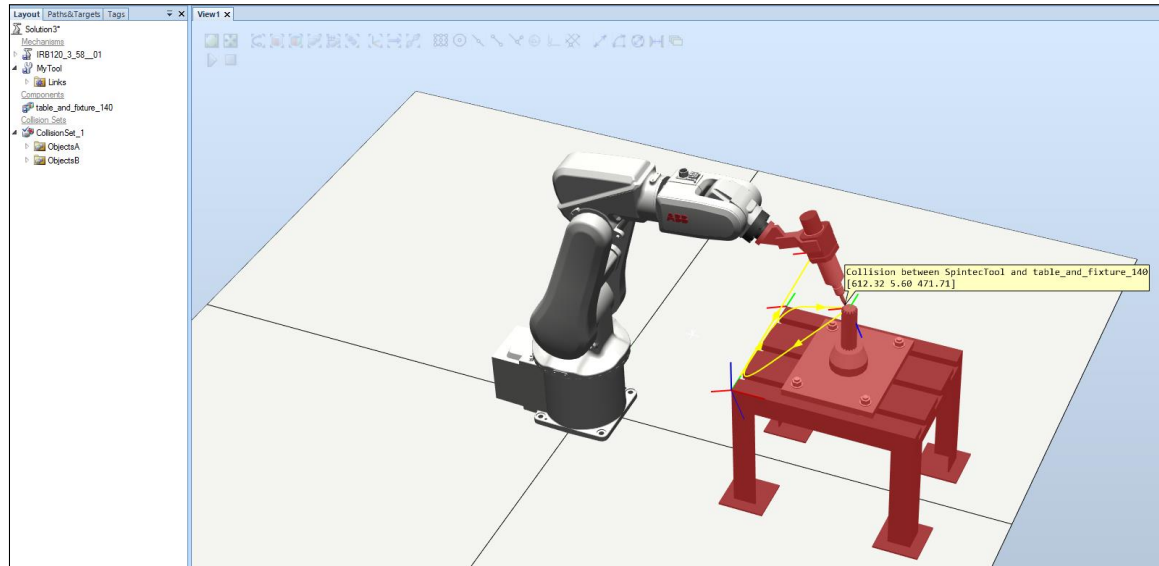
Figur 2.3: Tekstbasert programmering i *RobotStudio* ved bruk av ABBs RAPID-kode.

Etter at et RAPID-program er ferdig er det en fordel å teste det. Da kan man kjøre dette programmet i en simulering, og observere hvordan roboten beveger seg som ved grafisk programmering. Det er

imidlertid ikke bare bevegelser som kan programmeres i RAPID. Flere eksempler på instruksjoner, funksjoner og datatyper som kan benyttes i programmeringen vises i teknisk referanse-manual[25].

2.2.4 Deteksjon av feil

Etter at et program er laget, enten grafisk eller tekstbasert, kan bruker teste bevegelsen og se om robotens bane er gunstig. I figur 2.4 er programmet satt opp til å registrere kollisjoner mellom bordet (med stolpe) og arbeidsstykket til roboten.



Figur 2.4: Feildetektering i bane. Objekter som er uthevet i rødt kolliderer.

Som vist i figuren kolliderer arbeidsstykket med stolpen på bordet. Det er fordelaktig å finne slike avvik før realisering av konsept, slik at økonomiske tap grunnet materielle skader kan forhindres. Det kan selvsagt oppstå andre feil enn kollisjoner, og muligheten for visualisering av program vil kunne gjøre deteksjon av disse feilene lettere.

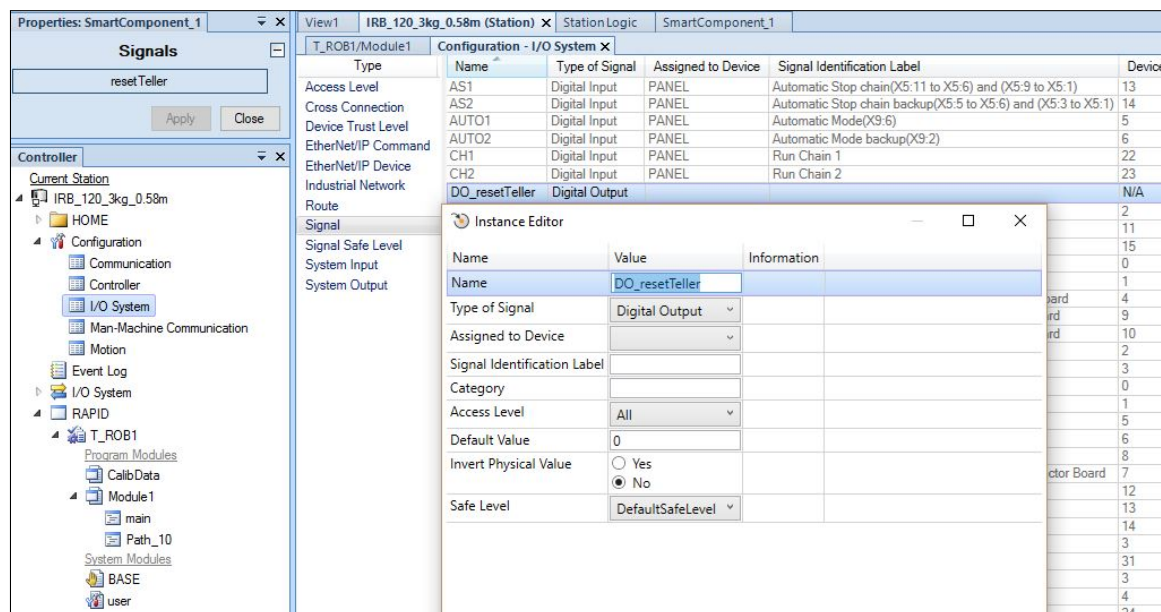
2.2.5 Inn- og utgangssignaler

For at roboten skal kunne kommunisere med eksterne sensorer kan ulike signaler defineres. Slike signaler benyttes gjerne som logiske verdier (eks. høy eller lav, på eller av) eller nivåverdier (eks. vannhøyde). Valgmulighetene som finnes er listet i tabell 2.3.

Tabell 2.3: Tilgjengelige signaler i kontrolleren.

Forkortelse	Beskrivelse
DI	Digitalt inngangssignal
DO	Digitalt utgangssignal
AI	Analogt inngangssignal
AO	Analogt utgangssignal
GI	Gruppesignal, fungerer som ett inngangssignal
GO	Gruppesignal, fungerer som ett utgangssignal

Figur 2.5 viser hvordan et utgangssignal blir definert i kontrolleren til roboten i RobotStudio. Dette signalet benyttes videre i kapittel 2.2.6.

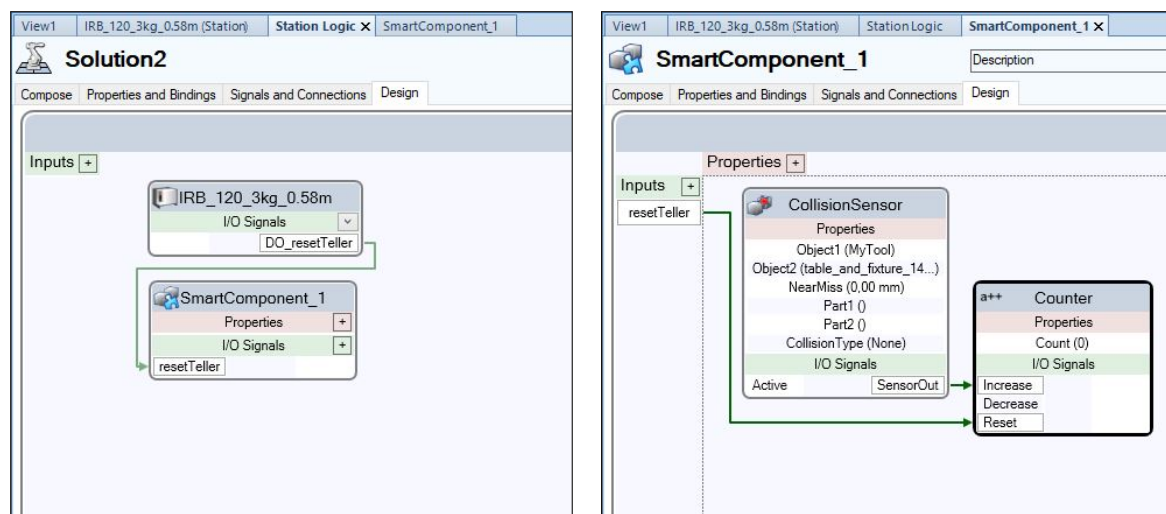


Figur 2.5: Digitalt utgangssignal som definert i kontrolleren.

For å øke lesbarheten til programmet er det fordelaktig å starte navnet på signalet med forkortelse av type signal. Disse signalene kan aktiveres eller avleses ved punkt bestemt av grafisk- eller tekstbasert programmering.

2.2.6 Smartkomponenter og logiske koblinger

I RobotStudio har brukeren tilgang til å benytte såkalte "Smartkomponenter"[26, s.284]. Disse brukes for å oppnå ønsket funksjon til et virtuelt system (simulere sensorer, gripere, logiske operasjoner m.fl.). Det medfølger et stort bibliotek av slike i RobotStudio, og disse kan kombineres for å oppnå den oppførsel som brukeren ønsker. Dersom de smartkomponentene som er i biblioteket ikke oppfyller brukerens ønsker er det mulig å lage egne, da ved å følge oppskriften gitt i RobotStudios utviklingshjemmeside[19]. Figur 2.6b viser en smartkomponent bestående av en kollisjonssensor og en teller. Telleren inkrementeres hver gang det oppstår en kollisjon mellom arbeidsstykket til roboten og bordet med stolpen.



(a) Stasjonens logiske koblinger.

(b) Smartkomponent for å telle antall kollisjoner.

Figur 2.6: Enkelt eksempel på stasjonslogikk og smartkomponent.

Figur 2.6a viser den logiske koblingen mellom det digitale utgangssignalet som ble definert i kapittel 2.2.5, og smartkomponenten. RAPID-koden vist i figur 2.3 viser at dette signalet får en puls 10 sekunder etter at banen er ferdig kjørt, og denne pulsen nullstiller telleren.

Smartkomponenter kan ikke benyttes i fysiske applikasjoner, men er ment for å benyttes i simulerings øyemed. Det er spesielt aktuelt å benytte smartkomponenter for å simulere bevegelser til mekaniske enheter utenom robotene. Et eksempel på en mekanisk enhet som blir styrt av en smartkomponent er skyvebordet (i kapittel 3.2 side 22).

2.2.7 PowerPacs

Som et tillegg til RobotStudio har ABB gjort tilgjengelig flere ulike pakker som skal forenkle programmering av noen vanlige applikasjoner, pakker som kalles "PowerPacs". Disse kan lastes ned fra ABB sin RobotStudio nedlastningsside[8].

En oversikt over pakkene som er tilgjengelig (pr. 12.06.18) er:

Tabell 2.4: Tilgjengelige "PowerPacs" fra ABBs hjemmeside.

Navn	Beskrivelse
ArcWelding	Generering av buesveisings-programmer
Cutting	Generering av laserkuttings-programmer
Machining	Behandling (sliping, polering osv.) av deler
Machine Tending	Lasting og lossing av maskiners verktøy
Painting	Maling av komponenter
Palletizing	Palletering
Picking	"Plukk og plasser"-applikasjoner
Dispensing	For synkronisering av dosering og bevegelse (eks. forsegling)

Picking PowerPac er blitt benyttet i forbindelse med dette prosjektet. I kapittel 4.2 (side 40) finnes en test som ble gjennomført for å finne ut hvor mange roboter som trengs til plukking og plassering av produkter.

2.2.8 Feilhåndtering

En feil ved utførelse av RAPID-kode er en abnormal og uønsket situasjon. Slike feil kan forhindre programmet i å fortsette, og man står igjen med en driftsstans. Et enkelt eksempel på feil som kan oppstå er at koden forsøker å dele en numerisk verdi på 0, som vil fremkalle en feilmelding⁶, og hvis feilmeldingen ikke blir riktig håndtert vil driftsstans være et faktum. Feil skal optimalt sett ikke oppstå, men å programmere roboten til å håndtere feil på riktig måte vil kunne bedre driftssikkerheten til systemet.

I de aller fleste tilfeller vil det være mulig å fange feil, og forhåpentligvis vil håndteringen føre til at drift kan fortsette. Dersom en feil er forsøkt håndtert, men ikke utbedret, vil feilhåndtering uansett gi brukeren mulighet til å la programmet avslutte på en kontrollert måte.

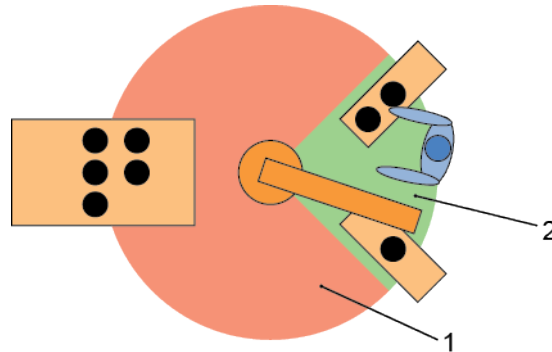
Applikasjonsspesifikke feilmeldinger kan tilpasses av kunde eller integrator. I referansemanualen finnes også en liste over forhåndsdefinerte feilmeldinger[25, errnum, s.1108].

⁶ERR_DIVZERO

2.3 Kollaborerende roboter

I motsetning til tradisjonelle robotsystemer, hvor roboten plasseres innegjerdet i en egen celle for å unngå unødig kontakt med mennesker under drift, har kollaborerende roboter⁷ arbeidsområde rundt og i nærhet av mennesker. Dette er en løsning som kan være både plassbesparende og øke produktiviteten for hver arbeidstime. Et eksempel kan være som vist i figur 1.5 (side 5), hvor en robot plukker produkter og plasserer de i en eske, og en operatør håndterer tomme/fulle esker.

For å unngå personskader ved bruk av kollaborative roboter er det beskrevet særlige krav til sikkerhet, og fire forslag til hvordan menneske-robot-samarbeidet kan gjennomføres på en sikker måte. Dette er nevnt i ISO/TS 15066:2016[5]. Disse fire forslagene er gjengitt i punktene under.



Figur 2.7: 1) Ikke-samarbeidende sone. 2) Samarbeidende sone.

Example of a collaborative workspace fra ISO/TS 15066:2016 er gjengitt, med tillatelse fra Standard Online AS 02/18, av Andreas Kverneland i masteroppgaven "RobotNorge: Optimalisere og robotisere pakkelinje". Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale.

Se www.standard.no.

1. Sikkerhetsvurdert overvåket stopp:

Ved å benytte dette forslaget defineres et område der robot og menneske kan samarbeide. Robot kan fritt bevege seg i ikke-samarbeidende sone. Dersom robot befinner seg i samarbeidende sone, må den foreta en sikkerhetsvurdert overvåket stopp før en person kan ankomme den samme sonen. Etter at personen forlater sonen kan roboten automatisk gjenoppta arbeidet sitt.

Dersom roboten er i bevegelse i samarbeidende sone samtidig som en person ankommer sonen, skal robot aktivere en nødstopps-funksjon som må resettes for å gjenoppta arbeidet.

Funksjonen er velegnet i tilfeller der arbeidsstykket i enden av roboten skal skiftes, eller hvis roboten er ferdig med sin arbeidsoppgave, og venter på nytt parti med varer som skal behandles.

2. Håndstyring:

Dette tilfellet bygger videre på funksjonen med sikkerhetsvurdert overvåket stopp. Etter at roboten har stoppet kan operatøren av roboten ankomme samarbeidende sone. Da kan operatør benytte en egnet håndholdt komponent for å styre bevegelsene til roboten.

Etter at operatøren har forlatt den samarbeidende sonen kan roboten gjenoppta arbeidet.

Håndstyring kan benyttes til å lære roboten nye bevegelsesmønstre, for eksempel ved endring av produkt som skal behandles.

3. Hastighet- og avstandsovervåkning:

Denne funksjonen vil overvåke relativ avstand og hastighet mellom en eller flere personer og robot som er lokalisert i samarbeidende sone. Dersom hastighet er over et definert nivå, eller avstanden er for liten, skal roboten stoppe, og hvis farlig verktøy er montert på roboten skal dette deaktiveres.

Funksjonen muliggjør arbeid mellom robot og flere personer, og roboten kan for eksempel benyttes som løftearm for komponenter som er vanskelig å håndtere.

⁷Også kalt samarbeidende roboter.

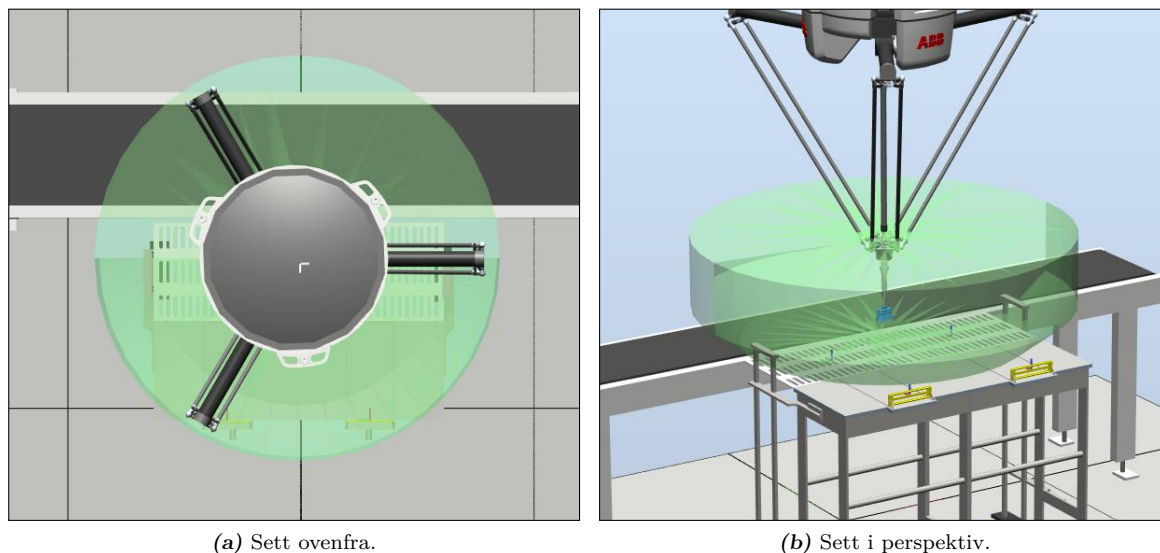
4. Effekt- og kraftbegrensning:

Her er hele robotens arbeidsområde definert som samarbeidende sone. I stedet for å fokusere på hvor personer befinner seg, begrenser denne metoden kraften som overføres ved kontakt med en person og med det unngå skader. Dette vil påvirke designet av roboten og vil begrense hastigheten på arbeidsstykket.

En robot som er designet slik kan for eksempel benyttes ved samlebandmontasje, ved at den forsyner personer med utstyr som skal monteres ved de ulike stasjonene.

2.4 Avsperring til robotceller

I applikasjoner hvor ikke-kollaborerende roboter er aktive, må fysiske avsperringer monteres for å forhindre skade på personer som oppholder seg nær utstyret. Disse avsperringene skal være egnet til å hindre at kroppsdeler kommer inn i arbeidsområdet til roboten, både som resultat av å prøve å nå gjennom, rundt, og å prøve å nå over avsperringen. NS-EN ISO 13857:2008[3] setter krav til fysisk avsperring for å opprettholde tilstrekkelig personsikkerhet. Denne standarden tar utgangspunkt i systemets farlige områder, her robotens arbeidsområde og hvor robotens bevegelige deler befinner seg. Figur 2.8 viser arbeidsområdet til ABBs IRB360.



Figur 2.8: Arbeidsområdet til ABB IRB360-6/1600 merket med grønn gjennomsiktig sylinder.

Avhengig om applikasjonen inneholder lav eller høy risiko for personskade, noe som avdekkes ved å utføre en risikovurdering med bakgrunn i NS-EN ISO 12100:2010, vil kravene til avsperring variere noe. Tabellene gitt av standarden[3] vil gi rettleiding i valg av avsperring, da med tanke på sikkerhetsavstander, høyder på gjerder og størrelser på hull.

Det er gitt noen forutsetninger for standarden, blant annet at det ikke benyttes stiger eller liknende for å komme over sperringen. Integrator kan ikke ta hensyn til alle eventualiteter. Hvis kunde risikerer at sine medarbeidere gjennomfører grove overtramp av tydelig avsperrert område må dette nevnes eksplisitt ved vurdering av risiko, og ekstra sikkerhetstiltak iverksettes.

2.5 Produksjonskapasitet

Ett av ønskene som ble fremlagt av kunden til RobotNorge er at konseptet tar utgangspunkt i den mest utfordrende vareflyten som kan oppstå. Det ble da henvist til fem av varelinjene, hvor de data som er mest interessant er gjengitt i de neste delkapitlene.

2.5.1 Produkter

Produktene som danner grunnlaget for videre arbeid og simulering er gjengitt i tabell 2.5.

Tabell 2.5: Eksempler på produkter langs de ulike varelinjene. Informasjon er hentet fra kundens database.

Linje	Produkt	Mål, LxBxH (mm)	Vekt (kg)	Pakkes i eske
A	PA	360x240x20	1.56	EA
B	PB	260x160x50	0.50	EB
C	PC	265x195x65	1.20	EC
D	PD	230x120x80	0.60	ED
E	PE	170x130x30	1.00	EE

Dimensjonen på produktene, nevnt i tredje kolonne i tabell 2.5, er veiledende. Produktene blir emballert ulikt - for eksempel plassert i rektangulære kuber av plast eller vakuumpakket i folie. Dette vil påvirke utformingen på emballasjen rundt produktet, et hensyn som må vektlegges ved valg av gripeverktøy.

For utvikling og visualisering av konseptet vil dimensjonene gitt i tabellen benyttes.

Vareflyten som kan oppstå beskriver hvor mange produkter som produseres over tid. Denne informasjonen forteller noe om hvor stor kapasitet sorteringsmekanismen⁸ i systemet må ha for å kunne behandle alle produktene. Data er gitt i tabell 2.6.

Tabell 2.6: Vareflyt fra pakkelinjer. Maksimal vekt angir produktet med høyeste vekt som behandles på pakkelinjen. Verdiene er hentet fra kundens database.

Linje	Produkter/minutt	Driftstid, timer/dag	Maksimal vekt (kg)
A	14	4	5
B	50	4	0.5
C	50	7	1.2
D	84	6	0.6
E	42	7	2.5

Som vist i andre kolonne må sorteringsmekanismen kunne håndtere 240 produkter i minuttet (totalsum for rekkene). Hver varelinje produserer også flere produkter, så sorteringsmekanismen må kunne håndtere forskjellige produkter med ulik vekt. Spesielt viktig er det da å ta utgangspunkt i maksimal vekt ved valg av robotløsning.

Maksimal vekt til produkt langs linje A er i systemet til kunden oppgitt å være 5 kg. I følge kontaktperson hos kunden er dette antageligvis feil. På grunn av dette vil maksimal vekt på produkt som skal behandles av systemet antas å være 2.5 kg, som gitt av linje E.

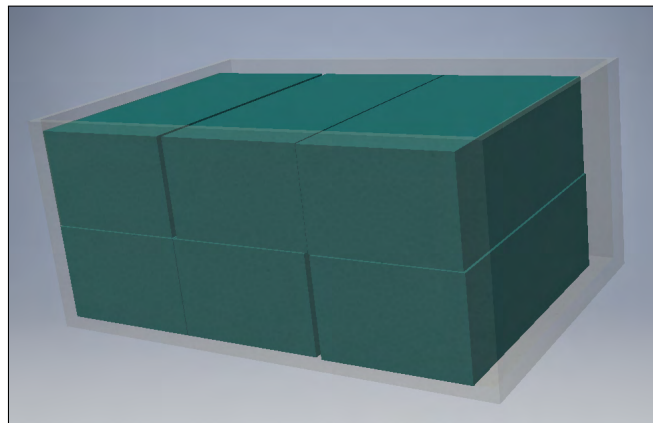
2.5.2 Esker til pakking

I forbindelse med oppgaven er eskene som benyttes til pakking av produkter blitt designet på ny, slik at plassering av produkter kan utføres med kun én roterende bevegelse. Ved manuell sortering påvirker ikke nødvendigheten av flere slike bevegelser syklustiden i stor grad, men det vil være hensiktsmessig å ta hensyn til dette ved bruk av roboter. De nye eskene tillater roboten å plukke varen og plassere den i esken kun ved hjelp av translatorisk bevegelse samt rotasjon om én akse.

⁸”Plukk og plassér”-applikasjonen.

Tabell 2.7: Nye esker og deres dimensjoner. For sorteringsmønster indikerer + neste lag, 4+2 betyr da 4 varer i nederste lag og 2 i øverste lag. Totalvekt (kg) er for eske med varer.

Eske	Esker/minutt	Mål, YM(IM) LxBxH (mm)	Sort.mønster	Totalvekt
EA	2.8	394x274x117 (380x260x110)	1+1+1+1+1	9.3
EB	6.25	354x294x217 (340x280x210)	2+2+2+2	5.5
EC	6.25	555x400x145 (545x390x140)	4+4	11.1
ED	14	394x264x177 (380x250x170)	3+3	5.1
EE	7	600x400x185 (590x390x180)	4+2	7.6



Figur 2.9: Eske ED med produkt PD. Her vises sortering 3+3.

For eske E_x , hvor x kan være en bokstav fra A til E, er esken beregnet å oppbevare produkt P_x . For eske EA betyr dette at esken kan inneholde opptil fem enheter av produkt PA, EB kan inneholde opptil åtte enheter av produkt PB og så videre.

Som nevnt i delkapittel 2.5.1 er ikke utformingen til de emballerte produktene nødvendigvis rektangulære kuber. Det kan derfor hende at dimensjonene på eskene kan eller bør endres ved realisering av konsept.

2.6 Identifisering av produkter

I en automatisert pakkeløsning er det viktig at roboten vet hvilke produkter den skal plukke, og hvor disse er lokalisert. I enkelte systemer, som dette, vil det også være viktig å vite orienteringen slik at produktet plasseres riktig i esken.

De neste delkapitler forteller hvordan produktidentifikasjon kan/bør gjennomføres, og hvordan systemet kan finne plassering og orientering på produktet.

2.6.1 Dataoverføring fra kundens produksjonsutstyr

I fasen hvor produkt skal emballeres vil type produkt angis på emballeringsmaskinen. Dette gjøres slik at maskinen behandler produktet riktig, og riktig emballasje påføres. Maskinen rapporterer så videre til kundens database om type produkt og antallet produsert.

Det er mulig å sende denne informasjonen til systemet som skal identifisere de ferdigemballerte produktene langs samlebåndet. Dette vil føre til at systemet ikke trenger å skille hvert produkt fra hele kundens produktportefølje, men bare skille mellom de produktene som til enhver tid blir emballert. Å benytte seg av denne muligheten vil føre til økt sannsynlighet for riktig identifisering.

2.6.2 Strekkode/QR-kode

En strekkode eller en QR-kode er en liten figur som inneholder informasjon. Denne informasjonen kan dekodes av en datamaskin. Hva informasjonen inneholder er det bruker som bestemmer, og kan være velegnet til å skille produkter fra hverandre. Eksempler vises i figur 2.10.



Figur 2.10: Eksempler på strekkode og QR-kode.

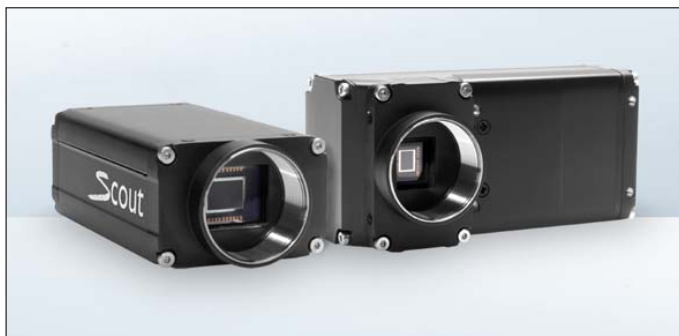
Hva som kan gjøres mest kompakt avhenger av hvilken informasjon som skal kodes. Figur 2.10b og 2.10c inneholder den samme informasjonen i henholdsvis QR-kode og strekkode. Ved å sammenlikne disse to fremkommer det at QR-koden kan inneholde langt mer informasjon ved å benytte et mindre areal.

Ved å benytte en strek- eller QR-kode på emballasjen til produktet kan maskinsyn lese av denne informasjonen, og produktet kan deretter sorteres til riktig eske. For å få en robust identifisering av produkter ved hjelp av slik koding forutsettes det at informasjonsfiguren er stemplet på en flat overflate, noe som her ikke nødvendigvis er tilfelle da noen av produktene blir vakuumpakket.

2.6.3 Bildegjenkjenning

En annen løsning for å identifisere objekter kan være å benytte seg av bildebehandling gjennom maskinsyn. Det finnes flere bibliotek og algoritmer som nyttiggjør seg av bilder for å gjenkjenne objekter, for eksempel programvaren *OpenCV*[24] som fokuserer på sanntids-applikasjoner. Denne programvaren kan være velegnet for utviklere av bildegjenkjennings-applikasjoner.

For å øke brukervennligheten kan det være fordelaktig å benytte utstyr og programvare som er tilpasset øvrig utstyr som benyttes i systemet. ABB har i samarbeid med Cognex® implementert software som kan benyttes til egenskapsuttrekking fra bilder. Dette forutsetter at kameraet som tilkobles kan kommunisere med softwaren. Figur 2.11 viser eksempel på et slikt kamera.



Figur 2.11: Basler Scout kamera. Bildet er hentet fra brukermanualen til kameraet[17].

Kameraet med software har mulighet til å identifisere, finne posisjon og orientering, lese strekkoder, QR-koder og finne flere andre egenskaper til produkter som er foran linsen. Det kan også benyttes en ekstern avtrekker som aktiverer bildetakning i kameraet.

En god løsning for produktidentifisering kan være en kombinasjon av bildegjenkjenning og strek- eller QR-kode (som forklart i kapittel 2.6.2).

2.6.4 Vekt

Produktene som skal identifiseres har en forventet vekt med et gitt standardavvik. For de produkter som ikke tilpasses for hånd men porsjoneres maskinelt, vil identifisering ved hjelp av vekt være mulig da disse har svært lavt standardavvik⁹.

En veiecelle vil være velegnet til kontrollmåling, slik at hvis produktet er identifisert (ved hjelp av strek- eller QR-kode, og/eller bildebehandling) som produkt A, men vekten ikke stemmer overens, vil produktet fraktes til en stasjon som foretar manuell sortering av produktene. Det vil da være viktig å sikre at ikke to produkter befinner seg på veiecellen samtidig.



Figur 2.12: Mettler Toledo C31 in-line sjekkveier. Bildet er hentet fra databladet[21].

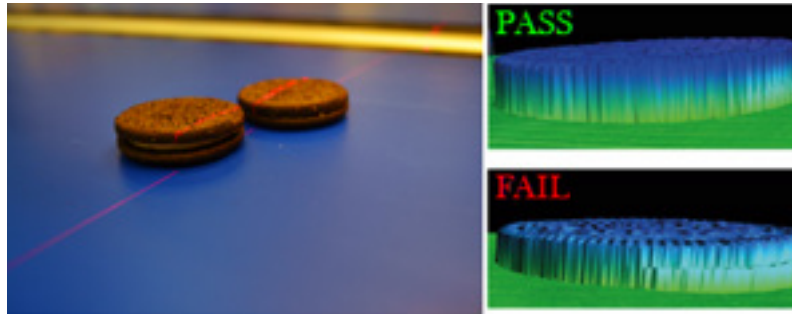
En slik enhet kan monteres langs samlebåndet slik at produktene måles løpende uten stopp i vareflyt. Se figur 2.12 for eksempel på veiecelle som kan kombineres med samlebånd.

Hvis et produkt tilpasses for hånd vil veiecellen kunne gi feilaktig identifisering. Den vil da være best egnet til å benyttes i forbindelse med merking av vekt på produktet, en funksjon kunde benytter seg av allerede i dag.

2.6.5 3D-måling

SICK, en bedrift som leverer sensorer, har i samarbeid med *ABB* utviklet en løsning for lett å kunne implementere sensoren *IVC-3D* i robot-kontrolleren. Dette er en sensor som tar 3-dimensjonale målinger av objekter, og melder disse dataene videre. Da kan systemet benytte tilbakemelding fra sensoren om høyde, form og volum på målte objekter for å avgjøre om de er i henhold til spesifikasjoner. Det er sannsynlig at også en slik sensor skal kunne benyttes til å identifisere ulike objekter.

⁹Gitt av en europeisk standard.



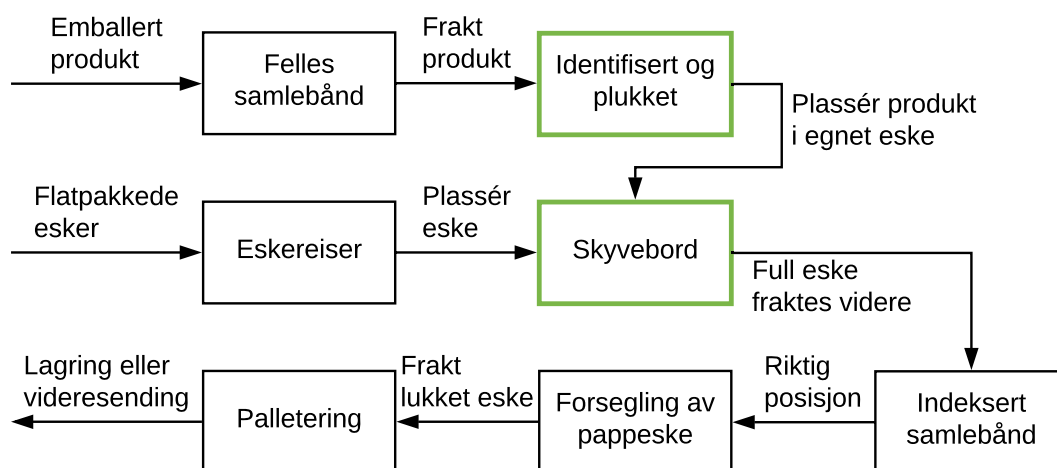
Figur 2.13: Illustrasjonsbilde hentet fra ABB sitt skriv om implementasjon av Sick IVC-3D[11].

En stor fordel med en slik sensor er at den ikke påvirkes av produktets farge eller kontrast til bakgrunnen - tilbakemeldingen er høyde. Dette kan hindre at støy fra refleksjoner og liknende påvirker måleresultatene.

3. Konsept

I oppgavebeskrivelsen står det at det skal designes en mulig løsning på problemstillingen, et konsept. Dette kapitlet tar for seg de elementene som må løses for å lage et konsept som oppfyller kundens ønsker. Oppgavens bidrag til utvikling av systemet presenteres også her, hvor noen av elementene som blir presentert inneholder til dels høyt detaljnivå.

Et blokkskjema av konseptet som tenkt vises i figur 3.1, og blokkene forklares i nærmere detalj i de videre delkapitler.



Figur 3.1: Blokkskjema av vareflyt i systemet. Grønne blokker indikerer oppgavens hovedtyngde.

Ettersom oppgaven er såpass stor i omfang begrenses innsatsen til bare noen av punktene. De grønne blokkene i figuren viser hvor hovedtyngden av oppgavens bidrag er.

Ved å sammenlikne kundens prinsippskisse (figur 1.6 side 6) med blokkskjemaet over, kan det registreres at noen endringer er utført. I stedet for å benytte en grovsortering med tilstøtende linjer og buffere tenkes det her å sortere produktene og plassere de direkte i esker. De videre delkapitler forklarer hvordan dette kan løses.

3.1 Eskereiser

For montering av flatpakkede esker (pappesker) benyttes en såkalt eskereiser. Slike maskiner er velutprøvd og kan anskaffes på kort varsel, og vil derfor ikke utvikles i forbindelse med oppgaven. Se figur 3.2 for eksempel på eskereiser levert av *ITO*.

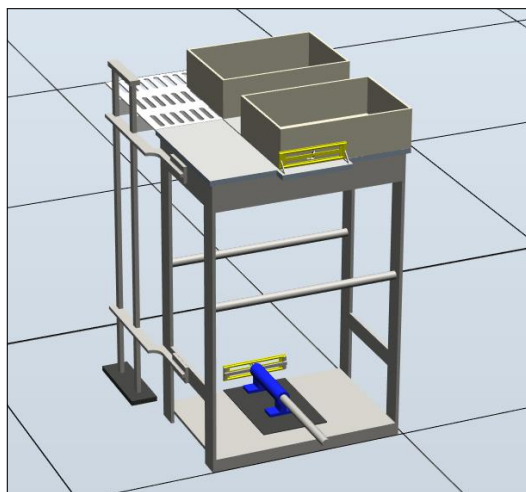
Foruten å sette sammen flatpakkede esker vil disse som regel melde fra om uønskede hendelser og feil ved eskene. Det antas videre at eskene med feil blir fraktet til en egnet stasjon for destruksjon eller manuell håndtering av operatør. I et slikt tilfelle vil det være viktig at operatør gjøres oppmerksom, gjerne ved en visuell melding (blinkende lys eller liknende), slik at feilen kan håndteres.



Figur 3.2: Eksempel på eskereiser. Bildet er hentet fra ITO sine hjemmesider[20].

3.2 Skyvebord

Etter at en eskereiser har klargjort en eske, plasseres esken på et skyvebord. Skyvebordets oppgave er å plassere esken slik at roboten kan plassere produktet riktig, og fjerne esken når den er full. Hvert bord har to posisjoner hvor esker kan plasseres - en på bordplate (bakre posisjon) og en på heis (fremre posisjon).



Figur 3.3: Skyvebord med esker plassert.

Som ved eskereiseren antas det at skyvebordet selv registrerer og rapporterer til robotsystemet om feil, og at denne feilen meldes til en operatør.

I forbindelse med oppgaven er det laget et konsept av mekanisk konstruksjon til et slikt skyvebord. Posisjonene hvor esker kan plasseres er tilpasset den største esken som kan oppstå i forbindelse med oppgaven (eske EE i tabell 2.7 side 17), slik at konseptet kan benyttes til samtlige esker definert i tabellen.

Inn- og utgangssignaler mellom skyvebord og robotens kontroller ved normal operasjon er definert. For at robotens kontroller skal kunne oppdage feil med skyvebordet, og da ikke benytte dette, vil det være fordelaktig å definere egne signaler for feilmeldinger. Dette er ikke utført i forbindelse med oppgaven.

Før en prototype blir bygget må en maskiningeniør gjennomføre beregning av løftekapasitet til konstruksjonen. Det må også velges og beregnes egnede aktuatorer/motorer for bevegelsene.

3.2.1 Mekanismens operasjon

Skyvebordets oppgave:

Skyvebordet blir forsynt med esker fra eskereiseren, hvor disse blir skjøvet på plass i bakre posisjon. Hvis det ikke finnes en eske i fremre posisjon, og roboten ikke er i ferd med å plassere et produkt i bakre posisjon, skal esken i bakre posisjon flyttes frem. Etter at esken er flyttet frem og bakre posisjon er klar, skal eskereiseren komme med ny eske. Da vil skyvebordet ha to esker tilgjengelig for plassering av produkter.

Hvis esken i fremre posisjon er full, skal denne fjernes. Da vil skyvebordet flytte esken til et samleband. Samlebåndet frakter esken videre til en palleteringsmekanisme.

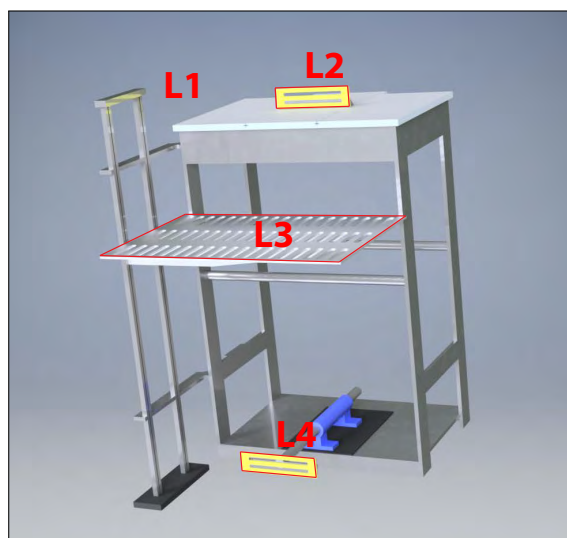
For at skyvebordet skal kunne gjennomføre sine oppgaver er det i konseptet benyttet tre translatoriske mekanismer, som vist i figur 3.4a.

Forklaring av figur 3.4a:

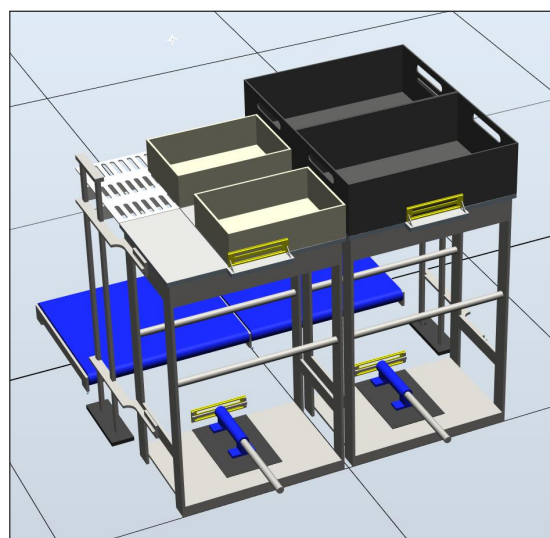
- L1** *Statisk del*: Deler av skyvebordet som ikke beveger seg under normal operasjon.
- L2** *Gul plate på topp*: Skyver eske fra bordplate til heis.
- L3** *Heis*: Frakter eske fra nivå der roboten plasserer produkt, og ned til et nivå hvor esken kan fraktes til palletering.
- L4** *Gul plate på bunn*: Skyver eske fra heis til samleband for forsegling og palletering.

Designet av skyvebordet viser hvilke mekanismer bordet må inneholde for å kunne flytte eskene (tre eksterne bevegelsesakser). Konseptet antar at eskene blir riktig håndtert, at de ikke vris ut av posisjon. For å sikre at eskene blir riktig plassert kan sidemonterte skinner monteres på bordplaten og L3 som eskens side kan føres langs.

Det er også viktig at L3 ikke kan bevege seg opp samtidig som L4 er fremme. Dette kan ordnes med en elektrisk forrigling som hindrer en slik uønsket bevegelse, da gjerne ved en bryter som blir aktivert når motorstag til L4 er i bakkant. Forklaring av forrigling finnes i kapittel 2.1 (side 8).



(a) Høyre skyvebord med tre translatoriske mekanismer.

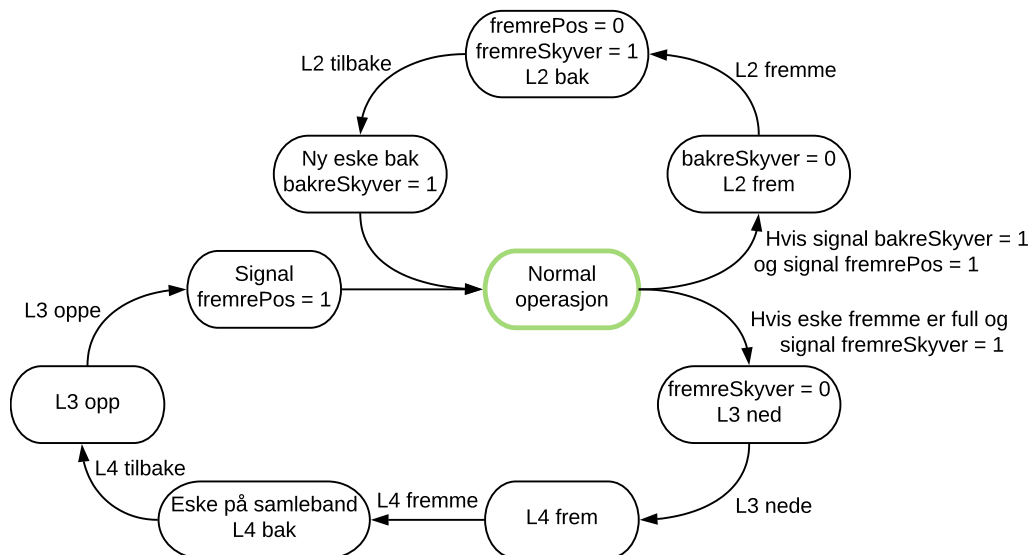


(b) Venstre og høyre skyvebord med ulike esker.

Figur 3.4: Illustrasjon av skyvebordets mekanismer og to skyvebord montert ved hverandre.

Hver robot vil ha to slike skyvebord tilgjengelig - en for plassering til høyre og en for plassering til venstre, som vist i figur 3.4b. Hvert skyvebord kan behandle kun én type eske om gangen, men begge skyvebordene trenger ikke behandle den samme type eske. Et overordnet system må bestemme hvilken eske et skyvebord skal forsynes med.

Tilstandsdiagram for skyvebordet vises i figur 3.5.



Figur 3.5: Tilstandsdiagram for skyvebord.

For å hindre opphopning av esker etter skyvebordet vil det være viktig at etterfølgende system har kapasitet nok til å behandle de fulle eskene som ankommer.

3.2.2 Signaler

Slik skyvebordet er designet benyttes to inngangssignaler og tre utgangssignaler. Signalene kobles sammen med kontrolleren til den valgte roboten. Se tabell 3.1 for beskrivelse av signalene. Dette er de signalene som kreves for normal operasjon av skyvebordet, og kan benyttes ved realisering av konseptet. I forbindelse med oppgaven benyttes signalene som vist i delkapittel 3.2.3.

Tabell 3.1: Digitale inn- og utgangssignaler for skyvebord.

Signaltype	Navn	Kommentar
Digital inngang	skyverFrem	Flytt eske fra bakre til fremre posisjon.
Digital inngang	skyverNed	Flytt eske fra fremre posisjon og av skyvebord
Digital utgang	fremreSkyver	Eske plassert i fremre posisjon.
Digital utgang	fremrePos	Skyvebord klar for eske i fremre posisjon.
Digital utgang	bakreSkyver	Eske plassert i bakre posisjon.

For å oppdage om det er plassert eske i fremre eller bakre posisjon kan det benyttes optiske givere hvor eske blir registrert om laserstråle blir brutt.

3.2.3 I RobotStudio

For å få simulert bevegelsene i RobotStudio lages skyvebordet som en smartkomponent. Blokkdiagram av smartkomponenten til skyvebordene er vist på side 53. Hvordan smartkomponent-blokker kombineres for å få ønsket oppførsel vises på side 54. Signalet `resetSkyver` i blokkdiagrammet og i smartkomponenten benyttes bare for å sette skyvebordet i en startposisjon ved simulering.

Bevegelse av mekanismer forklart:

Tabell 3.2: Forklaring av bevegelser til blokkkjema på side 53.

Utstyr	Posisjon	Kommentar
Skyvebord	HjemPos	L2 bak, L3 oppe, L4 bak
Skyvebord	EskeFrem	L2 frem, L3 oppe, L4 bak
Skyvebord	EskeNed	L2 bak, L3 nede, L4 bak
Skyvebord	EskeAv	L2 bak, L3 nede, L4 frem
Samlebånd bredt	HjemPos	L2 bak
Samlebånd bredt	avPos	L2 frem

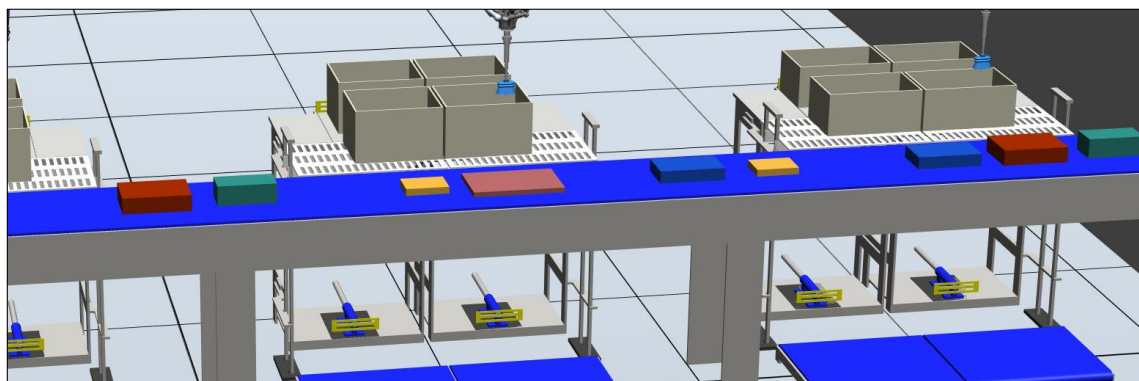
Samlebånd bredt er samlebåndet som mottar den fulle esken. Dette vises bedre i filmen av det totale konseptet. Se kapittel 4.2.6 (side 43) for link.

3.3 Identifisere, plukke og plassere

For å flytte et produkt fra samlebåndet til riktig eske på skyvebordet er det en rekke detaljer som må være i orden. Dette delkapittelet tar for seg hvordan denne utfordringen er tenkt å kunne løses.

3.3.1 Frakt av produkt

Til å frakte produktene fra emballering til plukking skal det her benyttes samlebånd. Hver produksjonslinje har individuelle samlebånd, og disse samlebåndene fører de ferdig emballerte produktene til ett felles samlebånd. Dette felles samlebåndet frakter opp mot fem produkter (avhengig av hvor mange produkter som til enhver tid blir produsert) til identifikasjon og plukking.



Figur 3.6: Ulike produkter føres på felles samlebånd.

Dersom det skal benyttes to-dimensjonal sensor ved identifikasjon av produktene vil det være viktig at produktene ikke overlapper/ligger oppå hverandre, da dette kan føre til at et produkt ikke blir identifisert. For identifikasjon vil det være fordelaktig, men for plukking (se delkapittel 3.3.4) er det viktig at produktene på samlebåndet ligger på samme side som skal plasseres ned i esken.

I delkapittel 2.6.4 (side 19) ble vekt nevnt som en kontrollmåling på identifikasjon av produkt. Hvis vekt skal benyttes på denne måten må produktene ankomme veicellen separat, slik at målingen av et produkt ikke påvirkes av andre produkter.

Disse forutsetningene vil ikke løses i oppgaven, men antas riktig utført.

3.3.2 Identifisering

For konseptet antas det at identifisering av produktene skjer ved hjelp av bildegjenkjenning som nevnt i kapittel 2.6.3 (side 18). Bildegjenkjenningen skal kunne skille mellom fem ulike produkter, og må kunne identifisere over 240 produkter i minuttet (som gitt av tabell 2.6 side 16).

Tilbakemelding om posisjon og orientering til produktene antas også å være en del av denne prosessen.

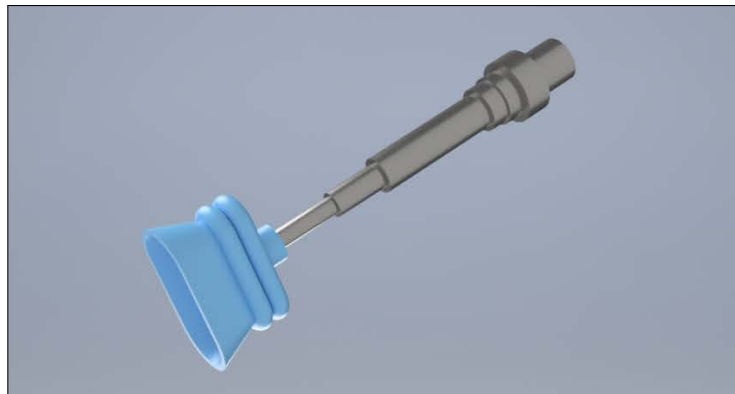
I forbindelse med oppgaven er det gjennomført en test med kamera og bildegjenkjenning for identifisering og å finne posisjon samt orientering til produkter. Testen kan leses i kapittel 4.1 (side 36).

3.3.3 Griper

For at roboten som benyttes skal ha mulighet til å plukke et produkt fra samlebandet benyttes en griper. Griperen skal holde produktet ved forflytning fra samleband til eske, og for å holde syklustiden så lav som mulig må griperen hurtig kunne gripe/slippe produktet.

Griperen må være konstruert slik at produktene skånsomt blir plukket fra samlebandet, noe som vil redusere sannsynligheten for punktering av emballasjen. Det vil også være fordelaktig om griperen er designet slik at sannsynligheten for at den valgte roboten treffer eskens kanter er så lav som mulig.

I forbindelse med oppgaven er det designet en griper. Denne griperen skal inneholde de egenskaper som er nevnt over. Designet på griper som er tenkt benyttet vises i figur 3.7. Den består av en rustfri stang og en gummibelg. Stangen er statisk og gummibelgen er fleksibel. Produktene blir festet til griperen ved at belgens hulrom lukkes ved hjelp av produktets emballasje, og hulrommet tømmer for luft, slik at vakuum oppnås. For å løsne produktet føres luft tilbake i hulrommet. Å benytte vakuum til å gripe produkter er en operasjon som kan gå meget hurtig. Ettersom belgen er fleksibel antas dette å være en tilstrekkelig skånsom måte å plukke produktet.



Figur 3.7: Griperverktøy. Benytter vakuum for å gripe objekter.

Stangen er designet slik at griperen skal hjelpe til med å plassere produktet i bunn av eskene uten at robotens armer treffer en av eskens sider. Den høyeste esken er eske EB. Fra tabell 2.7 (side 17) oppgis høyden på denne esken til å være 210 mm (indre mål). Dette er hensyn som bør overholdes ved design av griper, men som bestemmes hovedsakelig av løftekapasiteten til roboten. Se kapittel 3.3.4 for mer informasjon om valgt robot og løftekapasitet.

Griperen er tegnet i 3D-modelleringsverktøyet *Autodesk Inventor*[15]. Her kan vekt på produktet estimeres. Griperens vekt er beregnet til å være omtrent 580 g. Ved å legge til noen nipler og slanger for å fjerne luft i hulrommet til belgen kan griperen ferdig montert antas å veie omtrent 1 kg. Denne vekten må man legge til ved valg av robot, da robotene har begrenset løftekapasitet.

I RobotStudio antas griperen å være optimal - altså ingen deformasjon og at den klarer å løfte og flytte produktene. Noen aktuelle feil som må håndteres av robotens kontroller vises i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Noen mulige hendelser i forbindelse med plukking og plassering.

Nr	Symptom	Mulig hendelse	Løsning
1	Feil trykk i belg ved plassering	Produkt mistet/løsnet/ikke festet	Meld fra til operatør og før inn i feil-logg
2	Motstand ved plassering	Tidligere produkt feil plassert	Send eske til manuell håndtering

Hendelse 1 kan oppdages ved å koble til en vakuumsensor som måler trykk i belgen. Denne vil måle en verdi, og hvis trykket er utenfor en terskelverdi vil hendelsen rapporteres.

Hendelse 2 kan oppdages ved å koble til en sensor i stangen som registrerer uvanlig høy motstand.

Det finnes allerede mange forskjellige vakuumsgriper hvor bruksområde er automatisering ved hjelp av roboter. Flere eksempler kan finnes ved å søke på internett¹⁰. Ved realisering av konseptet vil det være fordelaktig å skaffe en "hylleware", slik at reservedeler lett kan anskaffes. Det vil allikevel være viktig å ta de samme hensyn som for griperen som her ble designet.

Ettersom produktene som skal plukkes har noe varierende form (hvor noen er vakuumsemballert), bør ulike typer vakuumsgriper testes for å finne den som best klarer å løse arbeidsoppgaven.

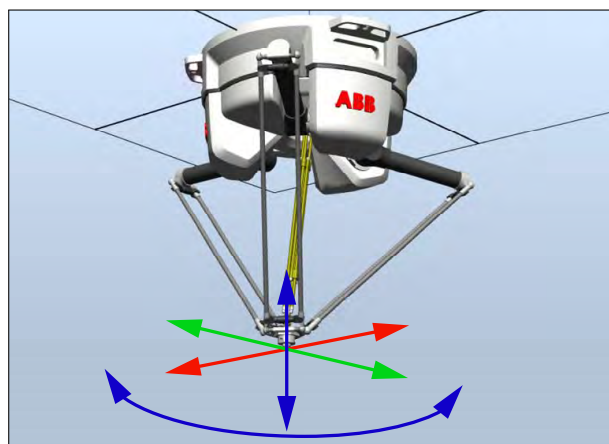
3.3.4 Robot

Applikasjonen "plukk og plassér" setter store krav til en robot. Roboten skal plukke produkter fra et samlebånd i bevegelse og plassere produktet i en eske. Syklustiden ved plukking og plassering av et produkt vil være kritisk for å hindre produksjonsstopp - systemet må kunne utføre en slik operasjon hurtig og presist, slik at samlebåndet ikke må stoppes.

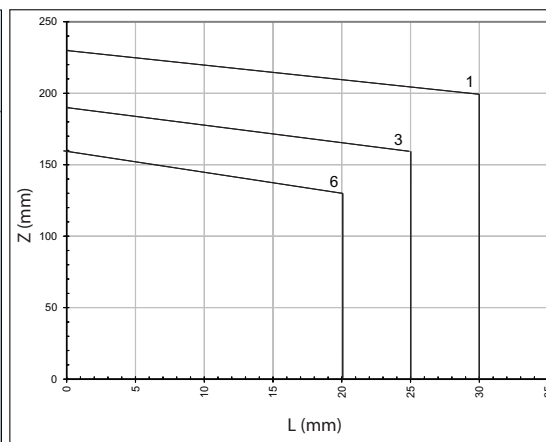
I tillegg til kort syklustid er det viktig at roboten kan løfte produktet fra samlebåndet, flytte produktet, og orientere produktet riktig i esken. Det betyr at roboten, som et minimum, må ha fire frihetsgrader, og en egnet griper må monteres (for mer informasjon om griper, se kapittel 3.3.3).

Roboten skal plassere produktet i en eske som er posisjonert i fremre eller bakre posisjon på ett av skyvebordene, avhengig av hvilket av skyvebordene som har riktig type eske til produktet.

ABB har produsert en robot som er tiltenkt en slik applikasjon - nemlig IRB 360, som også kalles FlexPicker. Denne kommer levert i flere ulike utførelser, blant annet med tre eller fire frihetsgrader[22], med flere løftekapasiteter og forskjellige arbeidsområder. Figur 3.8a viser enheten.



(a) ABB IRB 360 FlexPicker. Bildet er hentet fra ABB RobotStudio[7].



(b) Belastningsgraf for IRB360-6/1600. Hentet fra produktspesifikasjonen side 27[13].

Figur 3.8: Belastningsgraf for IRB360 med prinsippkisse.

¹⁰Google "Robotics vacuum end effector".

Forklaring av figur 3.8a:

- **Rød linje:** Translatorisk bevegelse i x-retning.
- **Grønn linje:** Translatorisk bevegelse i y-retning.
- **Blå linje:** Translatorisk bevegelse i z-retning.
- **Blå kurve:** Roterende bevegelse rundt z-akse.

Disse fire bevegelsene utgjør de fire frihetsgradene til roboten. Krysset mellom x- og y-retning er hvor verktøyet (griperen) festes.

Roboten har også svært god nøyaktighet ved plukking av varer på et samleband, med en gjentagelsesnøyaktighet¹¹ på 1.5 mm hvis hastigheten til samlebandet er mellom 350-750 mm/s.

Tabell 3.4: Syklustider for IRB 360 ved forflytning av produkter med ulik vekt. Produktet blir først flyttet vertikalt opp 90 mm, horisontalt 400 mm, og vertikalt ned 90 mm. Opplysninger er hentet fra databladet[10].

90/400/90 (mm)	1 kg	3 kg	6 kg	8 kg
IRB 360-1/1130	0.51			
IRB 360-3/1130	0.60	0.75		
IRB 360-8/1130	0.55	0.65		0.92
IRB 360-1/1600	0.54			
IRB 360-6/1600	0.57	0.63	0.80	

Eksempler på ulike syklustider vises i tabell 3.4. Dersom det viser seg i simulering at det ikke er tilstrekkelig å benytte kun én FlexPicker i den aktuelle applikasjonen, kan flere enheter benyttes på samme samleband for å øke kapasiteten.

I typebetegnelsen til de ulike variantene betyr tallet etter IRB 360 hvor mange kilo løftekapasitet enheten har. Etterfølgende tall beskriver rekkevidden til roboten. Ettersom griperen antas å veie 1 kg, og det tyngste produktet som skal behandles veier 2.5 kg, må roboten ha en løftekapasitet på over 3.5 kg. Den roboten med en løftekapasitet nærmest (og over) dette er IRB 360-6/1600. Den har også en rekkevidde på 800 mm i radius fra senter av base som er det høyeste blant disse modellene. En stor rekkevidde vil her være fordelaktig da roboten må kunne nå begge plasseringspunktene på skyvebordet.

Figur 3.8b viser belastningsgrafen til ABB IRB 360-6/1600. Forklaring av aksens enheter:

- **Z:** Avstand langs robotens verktøyfeste sin z-akse og til belastningens massesenter.
- **L:** Avstand i XY-planet fra robotens verktøyfeste z-akse til belastningens massesenter.

Av figur 3.8b fremkommer det at dersom $L < 20$ mm, kan lasten til verktøyfestet ha et massesenter som er ≈ 130 mm (les av 6-kilo graf) fra Z_0 ¹². Ved å anta at produktene er uniforme vil massesenteret være sentrert. Av tabell 2.5 (side 16) observeres største høyde på et produkt å være 80 mm, og massesenteret vil da være 40 mm fra bunn av produktet.

Ettersom gjentagelsesnøyaktigheten til roboten er på 1.5 mm[10, s. 2], sensor som finner posisjonen til produktene antas å være korrekt kalibrert samt sensoren som måler samlebandets bevegelse er egnet til sin bruk, antas $L \ll 20$ mm.

For å kunne opprettholde en maksimal løftekapasitet på 6 kg med IRB360-6/1600, må griperen ha en maksimal lengde på 90 mm. Dette gjør at griperen ikke lenger kan benyttes som et vern mot at robotens løftearmer treffer sideveggene på eskene, men at dette må testes.

¹¹Testet av ABB med en IRB 360-1/1130.

¹²0 mm langs verktøyfestets z-akse.

3.3.5 Risikovurdering

Ønsker her å opprettholde krav satt i NS-EN ISO 13857:2008 for å hindre personskader i forbindelse med applikasjonen.

Det er laget et hjelpeskriv for å identifisere farer og deres opprinnelser i forbindelse med risikovurdering[1, tillegg B]. I forbindelse med denne applikasjonen er de mest aktuelle farene nevnt i tabell 3.5.

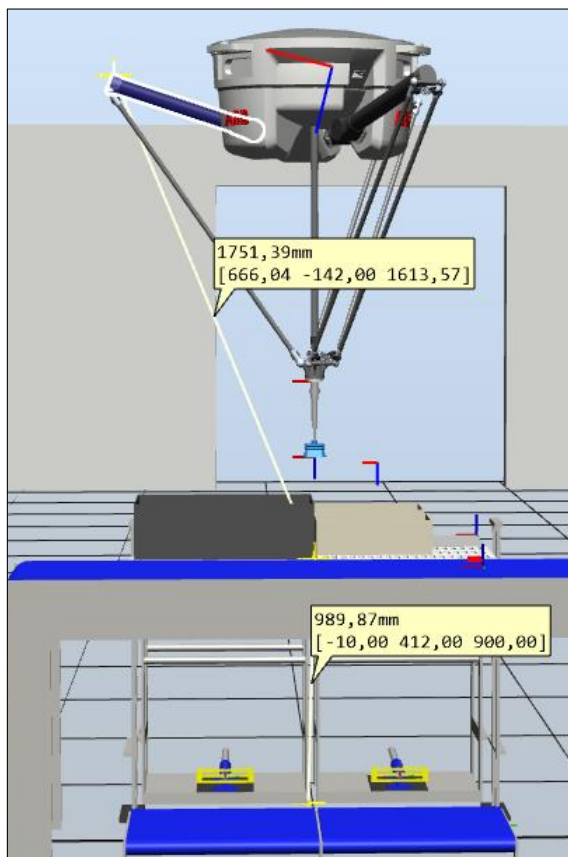
Tabell 3.5: Mulige uønskede hendelser under drift.

Opprinnelse	Potensielle konsekvenser
Bevegelige elementer	- Klemskade - Støt
Vakuuum	- Sitte fast - Forskyvning av festet del
Laserstråle	- Skade på øyne

For å finne ut om konsekvensene utgjør lav eller høy risiko for personskade benyttes en såkalt risikoestimerings-matrise[4, tabell 1]. Denne tar hensyn til sannsynligheten for skade - fra svært sannsynlig til svært lite sannsynlig, og hvor stor skade som kan bli påført - fra katastrofal (død, permanent bevegelsehemmelse) til lite alvorlig (småkutt og liknende).

Robotene skal her jobbe i høy hastighet, noe som vil føre til høy kinetisk energi overført mellom to legerer som kolliderer, og klemskader vil kunne føre til knusing av skjelett. Skaden som kan oppstå vil da bli definert som seriøs. Sjansen for at dette kan oppstå dersom ingen sikkerhetsanordning er på plass er sannsynlig, som fører til at denne installasjonen vil bli definert som høy-risiko.

Det vil videre antas at personer som jobber rundt systemet er 14 år eller eldre, slik at man kan se bort fra at barn (yngre enn 14 år) kommer i kontakt[3, tabell 5] med farlig utstyr.



Figur 3.9: Risikohøyder i forbindelse med applikasjonen.

Figur 3.9 viser mål hentet fra RobotStudio. Det nederste målet er avstand fra gulv til topp av skyvebord-plate. I klammeparentesen er det interessante tallet sist, altså 900 mm. Dette er starthøyden til arbeidsområdet. Den øverste målingen angir hvor høyt opp de bevegelige delene til roboten kan nå fra topp av skyvebord-platen, og igjen er det tredje tallet i klammeparentesen det interessante, altså omtrent 1614 mm.

Axelent[16] er produsent av **avsperringer** til ulike applikasjoner, og RobotNorge benytter ofte deres gjerder. Disse gjerdene leveres som regel med kvadratiske eller rektangulære hull. Oppgaven de utfører er å hindre personer å komme i kontakt med bevegelige deler som kan føre til skader.

- **Høyde på avsperring**

Høyden på samlebandet og skyvebordet i konseptet er 900 mm, og ved å anta at de bevegelige delene på roboten kan bevege seg til en høyde på 2514 mm over gulvet (tall funnet ved å benytte RobotStudio, se figur 3.9), vil høyden på risikozonen være mellom 900 mm og 2514 mm. Ved å benytte tabelloppslag[3, tabell 2], og verste tilfelle i dette intervallet, vil arbeidsområdet til roboten (som vist i figur 2.8 på side 15) kunne plasseres 300 mm fra en avsperring om avsperringen er 2400 mm eller høyere. Dette forutsetter en tett avsperring - altså at kroppsdelene ikke kan komme innenfor området. Vurdering ved bruk av gjerder med hull kommer i neste punkt.

- **Rekkevidde i hulltakinger**

Noen spesielle regler trer i kraft i forbindelse med hulltaking ved tilførsel av produkter samt hvor ferdigpakke esker kommer til lukking (dersom dette er kollaborativt og ikke spesielt sikret). Hulltaking vil her være større enn 120 mm, som benytter samme tabell som i forrige punkt[3, tabell 2]. I tillegg beskriver punkt *b* for denne tabellen at avsperringer lavere enn 1400 mm ikke bør benyttes uten ekstra sikkerhetsinnretninger. Nødvendig sikkerhetsavstand for disse to hullene og til risikoområdet rundt robotene er 1500 mm. Ved forsyning av varer kan en sikkerhetsinnretning være en tilstrekkelig lang "tunnel" varene føres inn i før ankomst sorteringsmekanisme. Det samme kan innføres der hvor fulle esker kommer ut, gjerne i kombinasjon med en linjesensor som registrerer brudd på en lysstråle når eske ikke passerer.

Gjerdene kan forøvrig velges i flere ulike utforminger. Antar her at gjerder med rektangulære masker på 50x20 mm benyttes. I følge tabell for hulltaking[3, tabell 4] er da sikkerhetsavstanden til arbeidsområdet til roboten minimum 120 mm, noe som er oppfylt fra forrige punkt (se "Høyde på avsperring").

Ved å benytte gjerder med høyde 2400 mm og masker med dimensjon 50x20 mm, må gjerder monteres minst 300 mm fra arbeidsområdet til roboten for å opprettholde krav satt i NS-EN ISO 13857:2008. Ekstra hensyn må tas der hvor hull overgår disse dimensjonene. Radius til robotens arbeidsområde er 800 mm, og ved å ta utgangspunkt i største produkt (PA, gitt av tabell 2.5 side 16), bør gjerder monteres med minsteradius på $800 \text{ mm} + 300 \text{ mm} + 180 \text{ mm} = 1280 \text{ mm}$ fra robotens base z-akse.

Det bør monteres dører egnede steder i disse gjerdene for å muliggjøre enkel tilkomst ved vedlikehold av systemet. Disse dørene bør ha sensorer som registrerer at en dør er åpen, slik at systemet ikke kan startes (forriging, se kapittel 2.1 side 8).

Det må også opprettes en form for **nødstoppsfunksjon**. Formålet med nødstoppsfunksjoner er å kunne avverge pågående eller forestående nødsituasjoner. En slik funksjon skal ikke kreve mer enn én person for å aktiveres, og skal alltid være tilgjengelig. Etter at en nødstoppsfunksjon er aktivert skal den bare kunne deaktiveres manuelt, og tilhørende system skal ikke kunne starte samtidig som nødstoppen er aktiv. I forbindelse med elektriske roboter er det naturlig å benytte nødstopp-brytere for å aktivere funksjonen.

- **Plassering**

I henhold til NS-EN ISO 13850:2015[2, kap. 4.3.2] skal nødstoppbrytere plasseres ved operatørs kontrollstasjon, altså hvor det er naturlig at en operatør befinner seg. Dette vil typisk være i umiddelbar nærhet av eskereiser(e) og ved forsegling av pappesker.

Det skal også plasseres brytere ved inn- og utganger. Dette er et avsperrert system, men hvor avsperringene kan inneholde dører. Ved disse dørene skal det plasseres nødstoppbrytere.

Ved å plassere nødstoppbrytere i umiddelbar nærhet til eskereisere samt ved dører i avsperringene, ansees NS-EN ISO 13850:2015 krav til nødstoppfunksjon som oppfylt. Dersom det viser seg nødvendig er det også mulig å utvide antallet brytere.

3.3.6 Kontrollerens oppsett

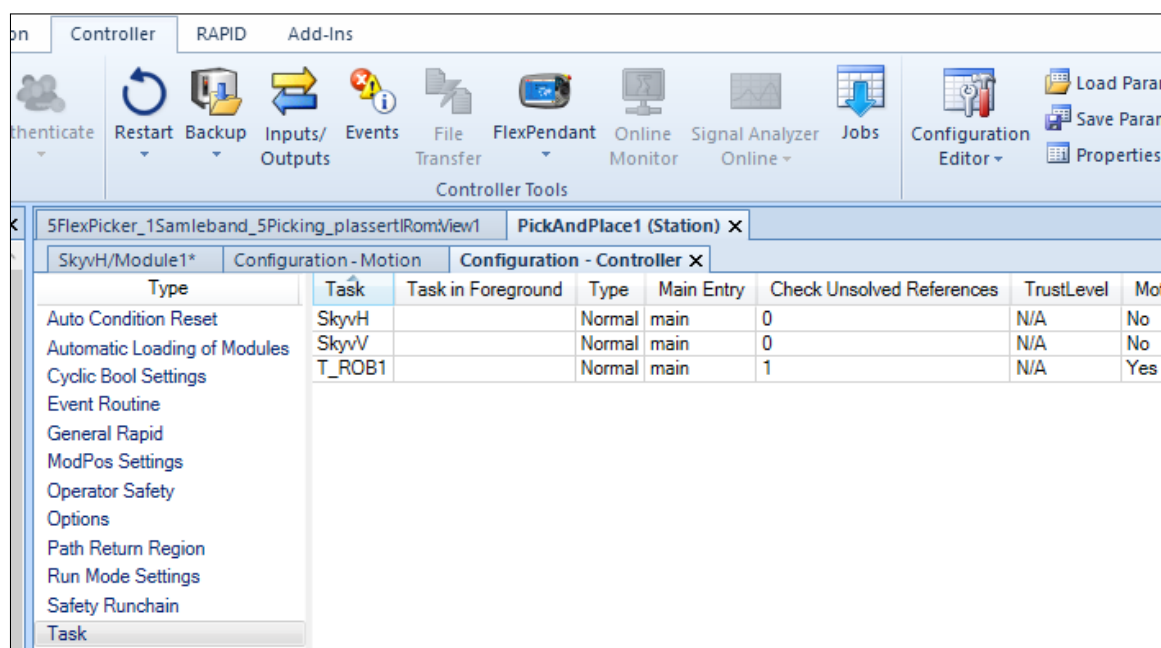
Når man oppretter stasjoner i RobotStudio må også innstillinger tilpasses applikasjonen der stasjonen skal benyttes. Hvis bruker har importert en robot og satt opp et "Robot System", gjøres endringer på "Robot System" i "Controller"-fanen, under "Virtual Controller" og "Change Options".

For plukking og plassering er en av oppgavene å plukke produkter på et samleband. Da er det en stor fordel om roboten kan følge produktets bevegelse langs samlebandet. For å få til dette på en god måte, gå til fanen "Categories", velg "Industrial Networks", og kryss av for "709-1 DeviceNet Master/Slave". Gå så tilbake til "Categories", velg "Motion Coordination", kryss av for "606-1 Conveyor Tracking" og "DSQC377B (Devicenet)". Da er stasjonen klar for å følge bevegelser langs samleband.

I tillegg til å følge produkter på samlebandet, var det her ønskelig å aktivere mulighet til å kjøre skyvebordene samtidig som roboten jobbet. Dette vil sannsynligvis ikke være aktuelt dersom systemet realiseres, men benyttes i simulerings øyemed. For å aktivere mulighet til å ha flere oppgaver samtidig, gå til fanen "Categories", velg "Engineering Tools" og kryss av for "623-1 Multitasking".

Etter at disse tilvalgene er lagt inn, trykk "OK", gå til "Controller"-fanen i RobotStudio og trykk "Restart (Warmstart)".

For å legge inn oppgaver som skal kjøres samtidig som roboten, gå til "Controller"-fanen, velg "Configuration Editor" og "Controller". Høyreklikk på "Task" og velg "New Task". Etter at nye oppgaver er lagt inn må kontrolleren restarter igjen.



Figur 3.10: Her er skyvebordene til stasjonen lagt inn som egne oppgaver.

Slike endringer som her beskrevet anbefales utført før programmering legges inn i løsningen. Årsaken til dette er at informasjon kan gå tapt. Hvis man har glemt noe og ønsker å utføre endringer i etterkant, sørg for å ta sikkerhetskopi av systemet.

3.3.7 Signaler

De signaler som er opprettet (i hver stasjon) vises i tabell 3.6.

Tabell 3.6: Opprettede signaler ifm. konseptet. Forkortelse SKB står her for skyvebord.

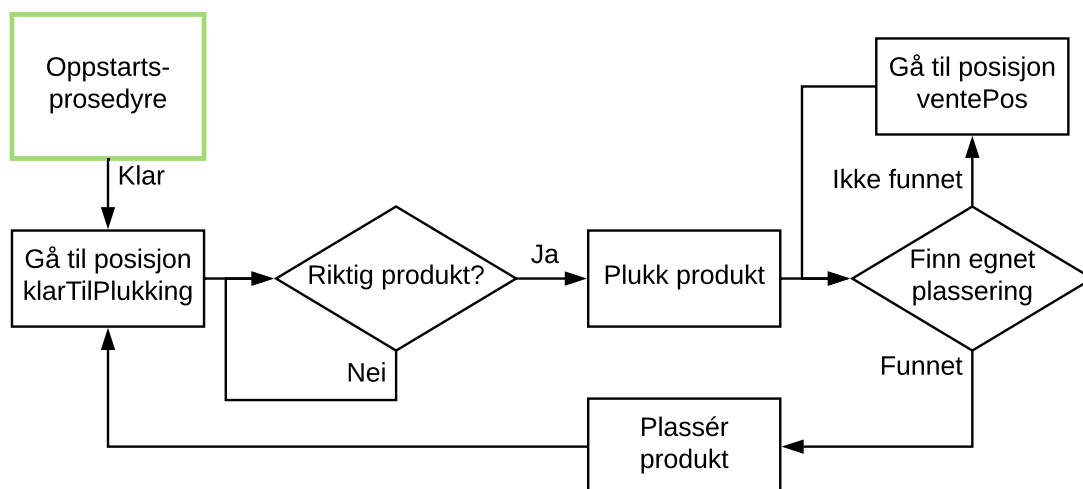
ID	Navn	Beskrivelse
0	DO_skyverFremV	L2 frem, venstre SKB
1	DI_flytterV	Flytter L2 frem, venstre SKB (ikke i bruk)
2	DI_flytterH	Flytter L2 frem, høyre SKB (ikke i bruk)
3	DO_skyverFremH	L2 frem, høyre SKB
4	DO_resetSkyvV	L4 bak, L3 opp, L2 bak. Venstre SKB
5	DO_resetSkyvH	L4 bak, L3 opp, L2 bak. Høyre SKB
6	DI_klarFremmeV	Eske klar fremme, venstre SKB
7	DI_klarBakV	Eske klar bak, venstre SKB
8	DI_klarFremmeH	Eske klar fremme, høyre SKB
9	DI_klarBakH	Eske klar bak, høyre SKB
10	DO_skyverNedV	Fjern eske fremme, venstre SKB
11	DO_skyvernedH	Fjern eske fremme, høyre SKB
12	DI_fremPosH	Klar for eske fremme, høyre SKB
13	DI_fremPosV	Klar for eske fremme, venstre SKB
14	DO_plasser	Plasser produkt i eske
15	DO_posFunnet	Har funnet eske for plassering av produkt

Signaler med ID fra og med 0 til 13 benyttes for å styre skyvebordene som beskrevet i tabell 3.1. Signal 14 benyttes i griperens smartkomponent (se vedlegg på side 55) for å simulere plassering i eske. Dette signalet tilsvarer da at belgen til griperen fylles med luft, som gjør at produktet slippes. Signal 15 er nødvendig kun for visualisering. Denne aktiveres for at produktet skal koble seg til riktig eske.

Litt mer detaljer om disse signalene vises i vedlegget på side 58.

3.3.8 Programsyklus

Flytskjema for robot som plukker produkter på samlebandet og plasserer produktene i eske vises i figur 3.11.



Figur 3.11: Syklus for program til roboter benyttet til plukking og plassering.

Hva som skjer i de ulike boksene i figuren:

- **Oppstartsprosedyre**

Her gjennomføres de nødvendige operasjoner og beregninger før plukking og plassering av produkter kan starte. Blant annet henter systemet informasjon om hvilke produkter roboten skal plukke, og hvordan plasseringsmønsteret i esken skal være.

- **Posisjon klarTilPlukking**

Robotens arbeidsverktøy går til en posisjon som er noe forskjøvet fra robotens base z-akse. Den plasseres her over samlebandet, slik at syklustiden reduseres.

- **Riktig produkt?**

Produktet identifiseres, og hvis det sammenfaller med type produkt som robot skal plukke går programmet videre til neste steg.

- **Plukk produkt**

Produktet plukkes fra samlebandet i fart. Her beveger roboten seg ovenfra og ned til produktet, hvor griperen aktiveres ved kontakt.

- **Finn egnet plassering**

Kontrolleren til robotsystemet sjekker om det er endring i inngangssignalene fra skyvebordet. Om ingen endringer er utført, og det er ledig plass i esken som sist ble benyttet, plasseres det nye produktet her. Dersom det er en endring søker kontrolleren gjennom ledige plasseringspunkt og benytter den med høyest prioritet (den nærmeste) først. Om ingen esker er ledige, se neste punkt.

- **Posisjon ventePos**

Hvis ingen esker er ledige går roboten til en posisjon som er nærmere skyvebordene for å vente på ledig plassering. Dette vil redusere tiden det tar å plassere produktet roboten holder når en egnet plassering blir tilgjengelig.

- **Plassér produkt**

Når en egnet plassering er funnet plasseres produktet i esken. Nå tar roboten også hensyn til orienteringen produktet hadde på samlebandet, slik at plasseringen i esken blir riktig.

3.3.9 I RobotStudio

De smartkomponenter som nevnes her benyttes for å simulere hvordan systemet vil oppføre seg i en praktisk applikasjon.

- **Ny sammenlikner**

For å kunne sammenlikne objekter opp mot hverandre på en lettvinnt måte ble det laget en ny smartkomponent. Den nye smartkomponenten ble programmert i C#, og hvordan man kommer i gang med slik programmering vises på utviklingssidene til RobotStudio[19].

I biblioteket til RobotStudio er det allerede en sammenlikner for objekter. Denne viste seg å være litt for restriktiv, og ikke egnet til applikasjonen. Den nye sammenlikneren sammenlikner navn mellom ulike objekter, og hvis to er like gir den en numerisk verdi ut samt en puls.

- **Skyvebord**

Smartkomponent og funksjon for skyvebord er tydelig forklart i kapittel 3.2 (side 22). Oversikt over hvordan denne smartkomponenten er satt sammen vises i vedlegget på side 54.

- **Identifikasjon av produkt på samleband**

Benyttes for å simulere kameraet som identifiserer produktene som går langs samlebandet. Komponenter er bygget opp som vist i vedlegg på side 56. Her benyttes en sensor som angir hvilket objekt som krysser en angitt grense. Objektet sendes til sammenlikning, og verdien videresendes til en variabel i RAPID-koden til stasjonen.

- **Vakuumgriper**

Smartkomponent for vakuumgriperen vises i vedlegg på side 55. Her registrerer en sensor at det er kontakt mellom vakuumgriperen og et objekt tilhørende samlebandet. Dersom objektet er av riktig type forsvinner det gamle objektet, et nytt opprettes (dette for å kunne flytte objektet fra samlebandet) og festes til vakuumgriperen. Informasjon om orientering til produktet samt hvilket produkt som er plukket sendes til stasjonens RAPID-kode.

Ved aktivisering av inngangssignalet ”posFunnet” hentes informasjon fra RAPID-kode om hvilket plasseringspunkt objektet skal til. Når dette er utført, og inngangssignalet ”plasser” aktiveres, festes objektet til esken som er plassert ved det angitte plasseringspunktet. Hver robot har fire plasseringspunkt og derfor er det fire ”Attachere” til høyre i smartkomponenten ”SC_vacuum”.

- **Systemets logiske koblinger**

Hvordan løsningens logiske koblinger er utført vises i vedlegg på side 57. Det er fem stasjoner, å to skyvebord og én vakuumgriper. I tillegg har hver stasjon sin egen komponent for identifikasjon av produkt på samleband (kameraimitator).

Samtlige inn- og utgangssignal er koblet likt på de ulike stasjonene.

3.4 Eskeforsegling

Etter at en pappeske er fylt opp med produkter og fjernet fra skyvebordet må esken forsegles. Det finnes flere typer forseglere av pappesker, der eskene som regel blir teipet eller limt. Eksempel på dette kan sees ved å trykke på linken: <https://www.youtube.com/watch?v=VgcLv5uEntk>.

Slike maskiner må tilpasses esken den skal forsegle, noe som vil være ugunstig i en situasjon som tenkt her hvor det kommer flere ulike typer esker. Kunden ser derfor for seg å benytte en kollaborerende robot som holder en teip- eller limdispenser, slik at mekanismen blir langt mer fleksibel og kan behandle ulike typer esker. Årsaken til at roboten ønskes å være kollaborerende er at operatører da kan jobbe i nærheten av roboten, og kontrollere at lukking av eskene går som forventet. En egnet metode for kollaborativitet kan være *effekt- og kraftbegrensing*, som beskrevet i punkt 4 kapittel 2.3 (side 14).

For at systemet som håndterer lukking av pappesker skal vite hvilken pappeske som skal behandles, må esken identifiseres. Etttersom eskene har flate vegger antas det å være godt nok om eskene har en strek- eller QR-kode som benyttes til denne identifiseringen.

For å lage en robotisert forsegler må et egnet verktøy som monteres på roboten designes. Dette er ikke utført i forbindelse med denne oppgaven.

Noen aktuelle feil som må håndteres av roboten vises i tabell 3.7.

Tabell 3.7: Noen mulige hendelser i forbindelse med forsegling av pappesker.

Hendelse	Løsning
Tom for teip/lim	Stasjon for påfyll
Eske ikke gjenkjent	Send eske til manuell håndtering
Eske kunne ikke lukkes	Send eske til manuell håndtering
Verktøy har funksjonsfeil	Gå til sikker posisjon og tilkall operatør

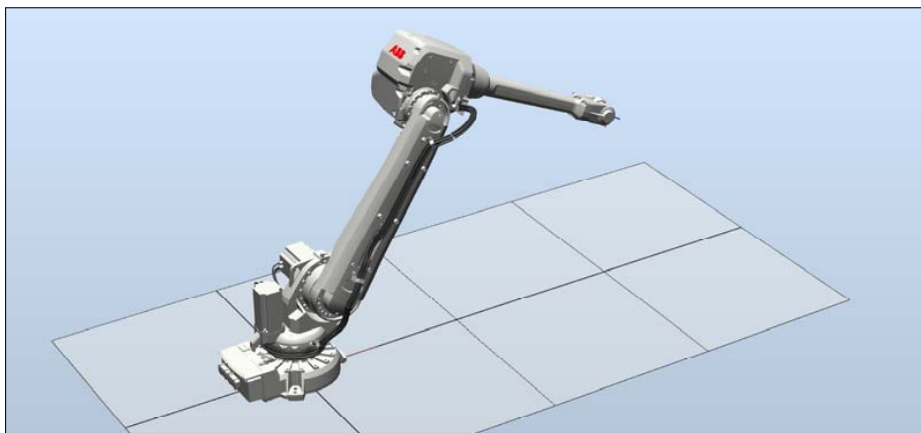
3.5 Palletering av pappesker

Etter at eskene er ferdig pakket og forseglet skal de lagres. Å plassere eskene på palle er en tung og repetitiv jobb som er egnet for robotisering, og det finnes et stort antall eksempler av dette. Noen av disse:

- **Pappesker 1:** <https://www.youtube.com/watch?v=7U1-X5ogsKA>
- **Pappesker 2:** <https://www.youtube.com/watch?v=-8jgI2srjzk>

Det er ønskelig å plassere esker med likt innhold på samme palle, og for å få til dette på en enkel måte bør esken merkes med en strek- eller QR-kode for identifisering og riktig plassering.

Roboten som skal benyttes til dette formålet må minst kunne bevege seg med de samme frihetsgradene som for plukking og plassering, altså fire frihetsgrader, men må ha mer løftekapasitet.



Figur 3.12: ABB IRB 4600. Bildet er hentet fra *ABB RobotStudio*[7].

En robot som kan være egnet til slik bruk er ABBs IRB 4600, som vist i figur 3.12. Den første linken over viser en video der akkurat denne roboten palleterer pappesker for en næringsmiddelbedrift. Dette er en 6-akse robot med fire ulike spesifikasjoner, hvor løftekapasitet og rekkevidde varierer noe, se tabell 3.8.

Tabell 3.8: Løftekapasitet og rekkevidde for IRB 4600. Opplysninger er hentet fra databladet[12].

Robot-type	Løftekapasitet	Rekkevidde
IRB 4600-60/2.05	60 kg	2.05 m
IRB 4600-45/2.05	45 kg	2.05 m
IRB 4600-40/2.55	40 kg	2.55 m
IRB 4600-20/2.50	20 kg	2.50 m

Avhengig av kravet ved applikasjonen der roboten skal benyttes, er det mulig å velge en med spesifikasjoner som er tilpasset formålet.

Palletering av pappesker er en av de vanligste applikasjonene integratorer av robotløsninger utfører, og å finne en løsning vil derfor ikke bli prioritert i forbindelse med denne oppgaven.

4. Testing av systemet

I forrige kapittel ble et konsept for løsning på problemstillingen presentert. I dette kapittelet vil deler av konseptet testes.

Før et system realiseres er det viktig å finne flaskehalsar og optimalisere. Testingen av systemene vil bli gjort så realistisk som mulig ved hjelp av de verktøy som er tilgjengelig. Ved å benytte verktøy som kan visualisere systemene på en realistisk måte kan man unngå å gjøre kostbare feil eller bygge et system som senere viser seg å ikke fungere etter hensikt.

Oppsummering av testene som gjennomføres vil bli gitt i kapittel 5.1.

4.1 Identifikasjon av produkter

Formålet med testen er å se om identifikasjon av produkter samt lokalisering og orienteringen til produktene kan finnes ved å benytte eksisterende programvare. Det vil også være interessant å se om bildebehandlingen går raskt nok til at vareflyten, som er nevnt i tabell 2.6 (side 16), ikke vil bli påvirket.

4.1.1 Testoppsett

Utstyr og programvare som er benyttet til testing er vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Utstyr benyttet ved testing av identifisering.

Utstyr	Type	Kommentar
Programvare	PickMaster 3.44.0027	Programmeringsverktøy for plukk-operasjoner.
Kamera	Basler Scout scA1390-17gm	Gråskala bilder.
Samlebånd	Moving	Bevegelig bånd er 270 mm bredt.

I tillegg til utstyret som er nevnt i tabell 4.1 er det anskaffet utstyr som skal identifiseres i testen. Disse er nevnt i tabell 4.2.

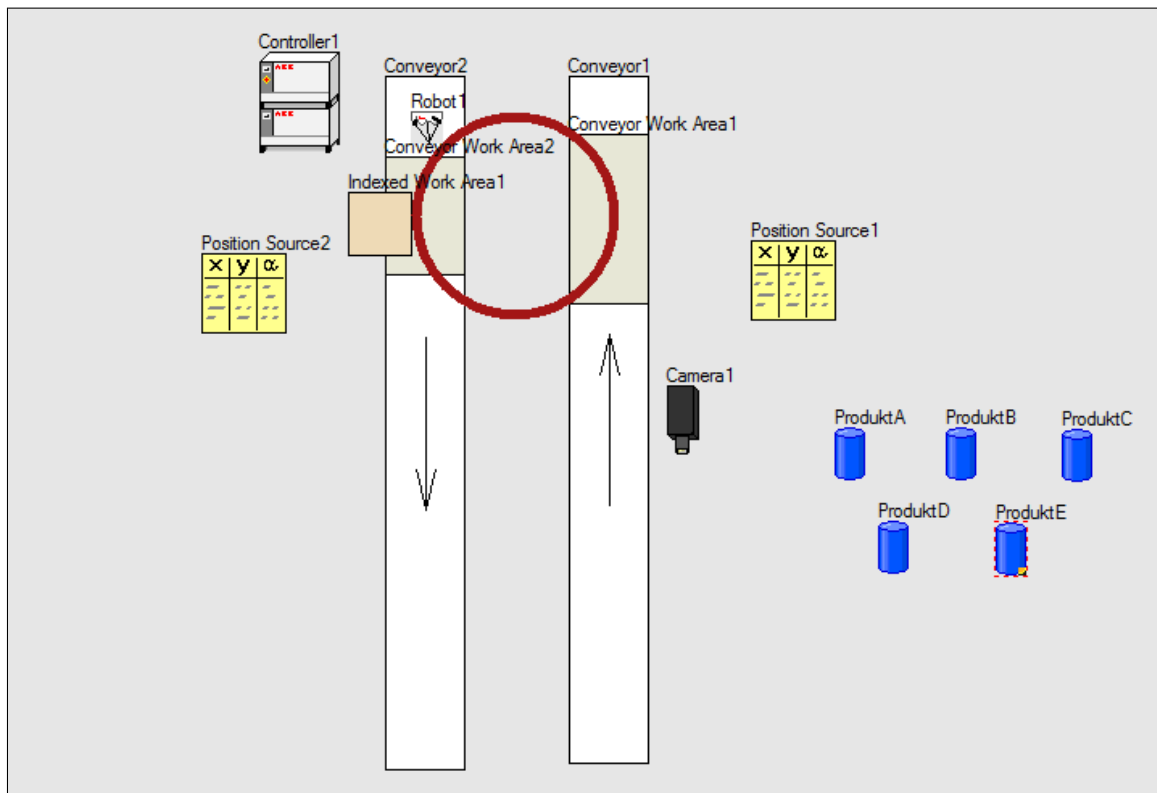
Tabell 4.2: Produkter som skal identifiseres.

Hva	Mål (mm)	Omtales som
Eske	YM (LxBxH): 149x101x70	ProduktA/Eske
Tallerken	Diameter = 220	ProduktB/Stor Tallerken
3M Scotch-Brite svamp	YM (LxBxH): 145x68x41	ProduktC/Scotch
Tallerken	Diameter = 175	ProduktD/Liten Tallerken
Teip-rull	IM Dia = 81, YM Dia = 109	ProduktE/Teip

Noen av produktene har lik fasong, men noe ulike mål. Dette er gjort med hensikt for å kontrollere om programvaren klarer å skille disse.

4.1.2 Fremgangsmåte

RobotNorge har en teststasjon for plukk-applikasjoner mellom to samleband. Stasjonen består av to samleband, ett kamera og en robot. Modellen for denne er allerede laget i *PickMaster*, som vist i figur 4.1. Ved gjennomføring av denne testen blir bare Camera1, Conveyor1 og ProduktA til ProduktE benyttet.



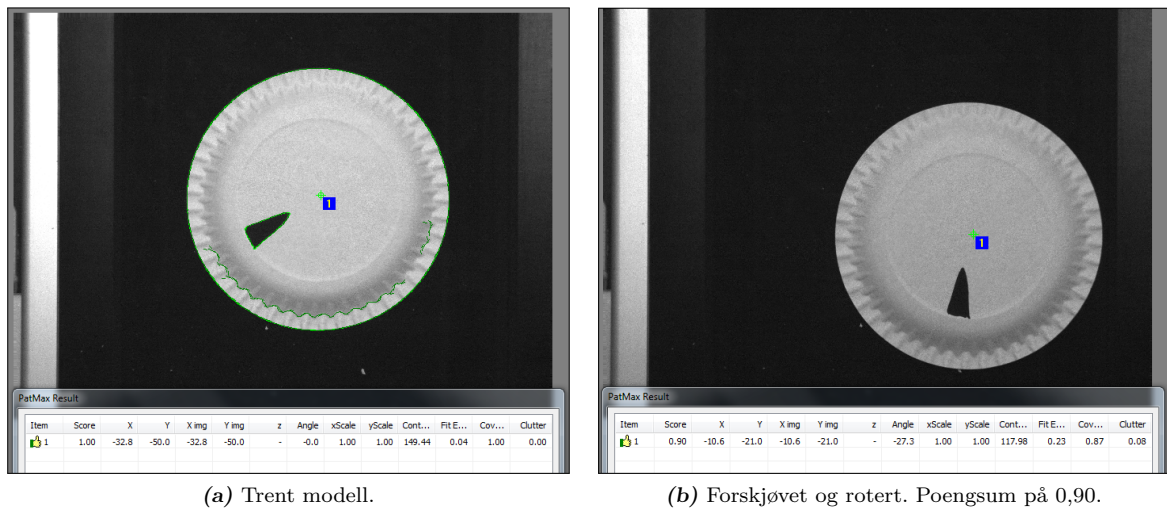
Figur 4.1: Modell av teststasjon som vist i programvaren PickMaster.

I forbindelse med bildetakning er det viktig med god og stabil belysning. Det er montert to lysrørarmaturer og en LED-lampe over området hvor kameraet tar bilde, og for å hindre støy fra kilder utenfor teststasjonen er det montert blendingsgardiner på sidene av samlebandet.

Linsen som er påmontert kameraet stilles inn manuelt. Dette har mulighet for å stille inn zoom og fokus. Nå stilles kameralinsen inn slik at produkt B passer inn i bildet med litt slingring på sidene.

Før systemet tilpasses applikasjonen er det viktig at kameraet er riktig kalibrert. Fra PickMaster sin brukermanual[6, s. 43] står det forklart hvordan dette skal utføres. En del av dette arbeidet er å feste et sjakkbrettmønstret ark, som har noen uregelmessigheter for å identifisere X- og Y-retning, til samlebandet og la kameraet ta bilder av dette når det passerer synsfeltet.

For at PickMaster skal kunne identifisere og finne orienteringen på produktene som passerer må man trene opp modeller som skal finnes. I denne testen benyttes geometriske modeller[6, s. 89], som gjør at algoritmen leter etter kjente trekk ved produktene som passerer og forsøker å identifisere produktet på bakgrunn av dette. Figur 4.2a viser ProduktD sitt trenings-mønster. Sort mønster er tegnet for at orientering til produktet skal kunne måles. Figur 4.2b viser samme produktet, bare forskjøvet og rotert med -27.3° , og ble identifisert med en poengsum på 0,90 (hvor 1 er maksimal).



Figur 4.2: Produkt D, trent og testet.

For å få god og stabil identifisering av produktene kan bruker av PickMaster stille inn søkeparametere, og på bakgrunn av disse kunne skjerpe eller lette kravene for å bli identifisert som det aktuelle produkt. Resultatet er en modell med egenskaper programvaren leter etter. Ferdig trente modeller og tilpassede søkeparametere kan lagres og hentes inn igjen ved senere anledning, noe som vil være gunstig for et anlegg med varierende antall og type produkter i produksjon.

Før sanntidskjøring ble produktene plassert i et tilfeldig mønster langs samlebandet. Etter endt kjøring ble bildene lagret, og et utdrag av disse vises i figur 4.3. Programvaren får tilbakemelding fra en enkoder som leser hvor langt samlebandet har beveget seg. For hver 50 mm aktiveres bildetaking i kameraet.

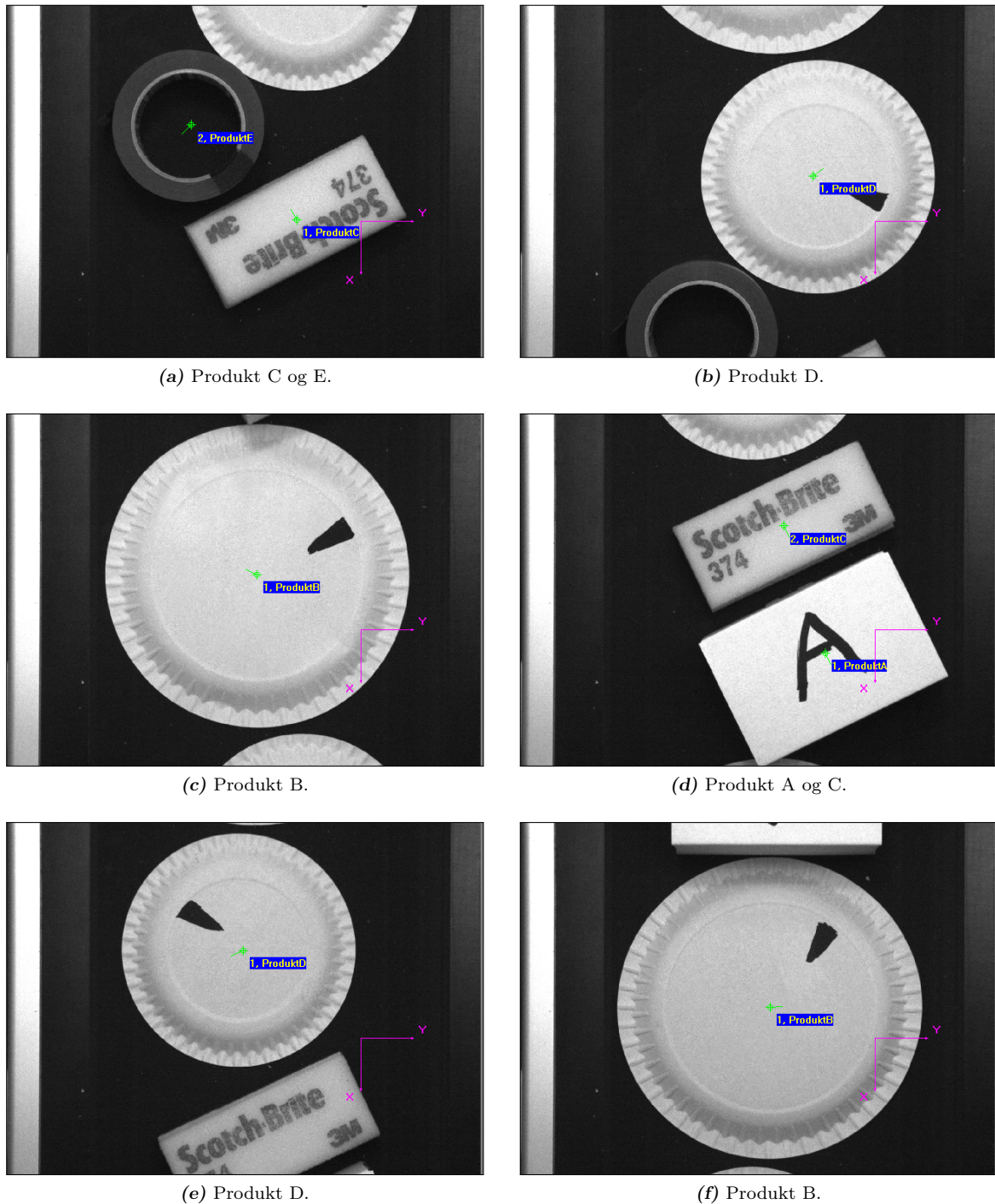
4.1.3 Testing i sanntid

Figur 4.3 viser et utdrag av bildene som ble tatt. Samtlige produkter ble riktig identifisert hver gang.

Hvert bilde i figuren viser et lilla aksekors. Dette angir systemets X- og Y-akser.

Bildet som best viser at orienteringen også blir målt er figur 4.3a ved ProduktE. Den lengste grønne streken angir produktets trente x-retning. Det fremkommer ikke av bildet, men vinkelen er målt til å være -45.0° .

Laveste målte tid som krevdes for identifisering var 2.5 ms. Høyeste var 13.4 ms.



Figur 4.3: Test av produktidentifisering.

4.1.4 Usikkerhet og forutsetninger bak testen

Kameraet som her er benyttet tar bilder i gråskala. Ved bruk av kamera som tar bilder med farger eller en 3D-scanner kan det hende at bildebehandlingstiden vil øke betraktelig, noe som i verste fall kan påvirke maksimal vareflyt.

Linsen har ikke tilbakemelding. Det vil si at dersom zoom eller fokus endres vil det kunne påvirke resultatet, noe som vil være uheldig. Ved å endre disse faktorene vil de trente modellene ikke lenger fungere som ønsket, med det resultat at modellene må trenes på ny.

For å kunne finne orienteringen til produktet trenger programvaren som ble benyttet et referansepunkt. I forbindelse med testen fikk noen av produktene denne egenskapen påtegnet med tusj for hånd, noe som vil føre til naturlige avvik fra produkt til produkt. Identifiseringen ble allikevel riktig gjennomført. Ettersom programvaren leter etter kjente trekk ved produktene, krever dette at egenskapene er stabile - altså at emballeringsmaskinen ikke har veldig store marginer når produktene behandles.

Hastigheten til samlebandet i denne testen og det som skal benyttes hos kunde holder antageligvis noe ulik hastighet. Det kan hende at denne differansen kan forårsake noe avvik i forbindelse med identifisering. Kameraet har mulighet til å ta 17 bilder i sekundet [17, tabell 3], noe som antas å være tilstrekkelig for applikasjonen.

4.2 Plukking og plassering

Formålet med testen er å finne ut hvor mange ABB FlexPickere (IRB360) som må benyttes for å kunne behandle vareflyten, nevnt i tabell 2.6 (side 16). Produktspesifikasjonen til IRB360 [13, s.40] sier at RobotStudio kan benyttes til slik testing.

4.2.1 Testoppsett

Programvare benyttet til testing er vist i tabell 4.3.

Tabell 4.3: Utstyr benyttet ved testing av sorteringsmekanisme.

Utstyr	Type	Kommentar
Programvare	RobotStudio 6.06.7701.1025	Simulerings- og programmeringsverktøy.
Programvare	(PowerPac) Picking 6.06	"Add-In" til RobotStudio.

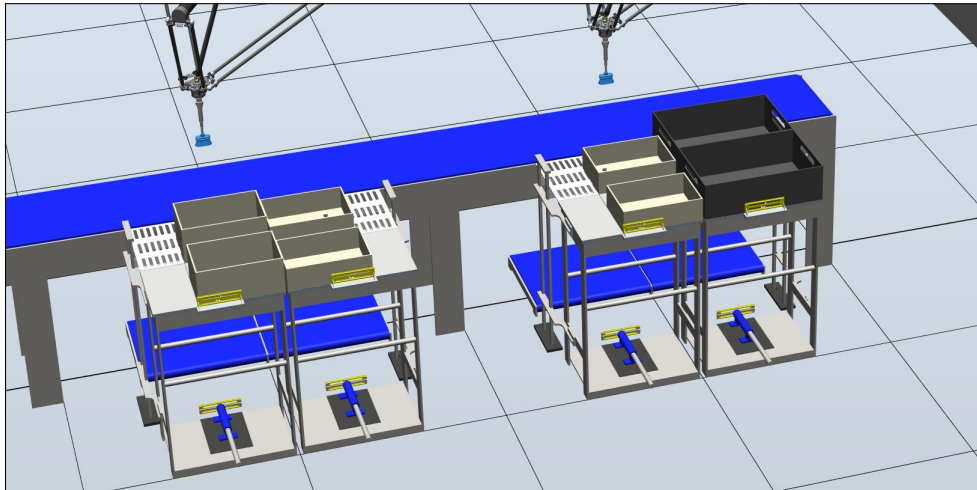
4.2.2 Fremgangsmåte

For oppsett av Picking PowerPac følges oppskrift gitt av applikasjonens manual[9]. Dette er et tillegg til RobotStudio som gjør det enkelt å sette opp et initielt oppsett for "plukk og plassér"-applikasjoner.

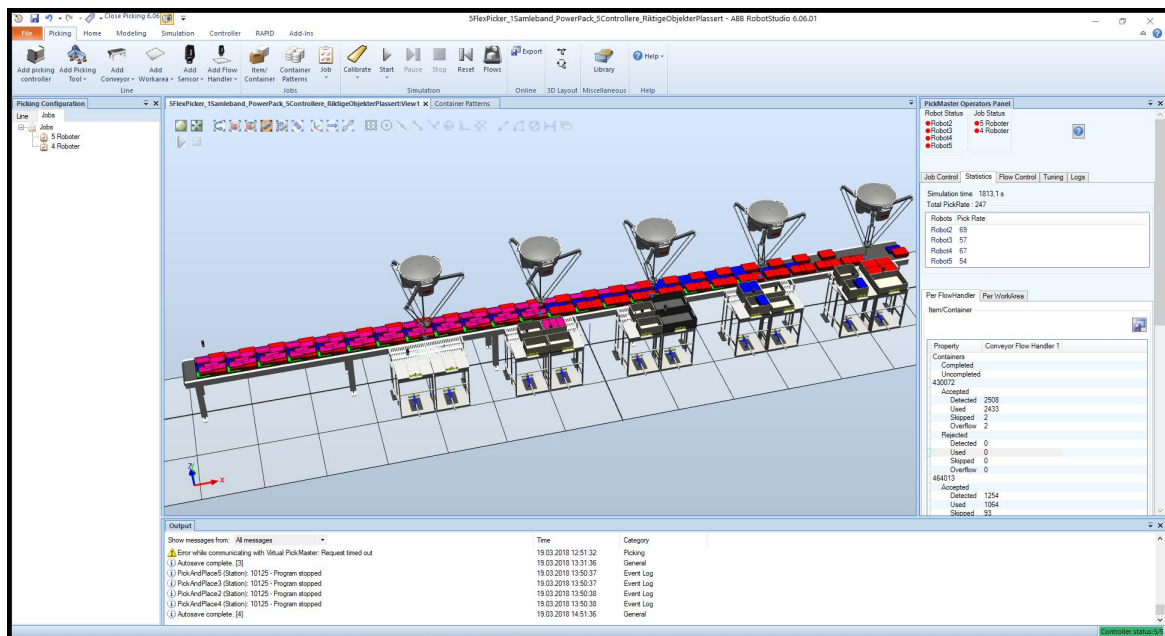
Endringer i RAPID-koden som genereres av Picking PowerPac kan ikke endres i RAPID-fanen til RobotStudio. Slike endringer må utføres i "Job"-fanen til PowerPac. Det er gjort flere endringer i koden i forbindelse med denne testen, hvor de største endringene er at produktene som plukkes skal passere toppen av eskekanten før de blir plassert, samt at "standby" posisjon¹³ er flyttet.

Stasjonen ble satt opp med ett samleband, fem FlexPickere av typen IRB 360-6/1600, og fire plasseringspunkt for hver FlexPicker. To og to plasseringspunkt mottar samme produkt, da det er slik skyvebordene er designet (se figur 4.4). I RAPID-koden ble plasseringspunktene sperret i åtte sekund etter at en eske var fyllt opp, slik at ny eske får tid til å plasseres. Det ble satt opp tre jobber i Picking PowerPac, en for tre roboter, en for fire, og en for fem. Jobben med tre roboter ble tidlig vraket da det viste seg ikke å være tilstrekkelig for å behandle 240 produkter i minuttet.

¹³Der robot venter på beskjed om at nytt produkt skal plukkes.



Figur 4.4: Skyvebord med esker for 4. og 5. robot langs samlebandet.



Figur 4.5: Oppsett i Picking PowerPac. Her under testing av fire roboter.

Begge de gjennomførte testene ble kjørt i 30 minutter, og Picking PowerPac holder statistikk med antallet behandlede produkter.

4.2.3 Test med fire roboter

Oppsettet som fungerte best ved å benytte fire roboter til sortering vises i tabell 4.4.

Tabell 4.4: Oversikt over hvilken robot som behandler hvilket produkt. R1 er første på linjen, R2 er neste osv. Venstre og høyre indikerer hvilke skyvebord som er benyttet til produktet.

Robot	Produkt	Produkt/min	Venstre	Høyre
R1	PD	84	x	x
R2	PD	84	x	
R2	PE	42		x
R3	PB	50	x	
R3	PA	14		x
R4	PB	50	x	
R4	PC	50		x

Tabell 4.5: Statistikk over sorteringsmekanismen i løpet av 30 minutter simulering ved bruk av fire roboter.

Produkt	Antall produkt	Antall ikke plukket
PA	413	0
PB	1672	39
PC	1254	29
PD	2508	0
PE	1254	0
Totalt	7101	68

68 av 7101 produkter ble ikke plukket. Dette utgjør rett i underkant av 1 % av den totale varemengden.

4.2.4 Test med fem roboter

Oppsettet som fungerte best ved å benytte fem roboter til sortering vises i tabell 4.6.

Tabell 4.6: Oversikt over hvilken robot som behandler hvilket produkt. R1 er første på linjen, R2 er neste osv. Venstre og høyre indikerer hvilke skyvebord som er benyttet til produktet.

Robot	Produkt	Produkt/min	Venstre	Høyre
R1	PD	84	x	x
R2	PB	50	x	x
R3	PB	50	x	
R3	PC	50		x
R4	PD	84	x	
R4	PA	14		x
R5	PA	14	x	
R5	PE	42		x

Tabell 4.7: Statistikk over sorteringsmekanismen i løpet av 30 minutter simulering ved bruk av fem roboter.

Produkt	Antall produkt	Antall ikke plukket
PA	416	0
PB	1676	0
PC	1257	0
PD	2514	0
PE	1257	0
Totalt	7120	0

Ved å benytte fem roboter til ”plukk og plassér”-applikasjonen ble samtlige produkter plukket.

4.2.5 Usikkerhet og forutsetninger bak testen

Her er det kun de beste resultatene som gjengis. Det er utført flere tester, og det som ble endret mellom hver test er hvilke roboter som behandler hvilke produkter. Ved bruk av fem roboter ble det ikke alltid oppnådd et resultat der alle produkter ble plukket. Det betyr at ved en realisering av sorteringsmekanismen må det lages en algoritme som finner ut hvilke roboter som skal behandle hvilke produkter.

I *Picking PowerPac* kan det defineres et fast oppsett av vareflyt[9, Flow s.83]. Det var ønskelig å få produktene adskilt, slik at vareflyten ble mest mulig realistisk. Resultatet av å separere produktene er at arealet som trengs for plassering av produktene øker, og med det øker også hastigheten på samlebåndet for å oppnå ønsket vareflyt. Dessverre viste det seg at robotene ikke plukket produktene som ble plassert utenfor standard areal, med det resultat at for å få gjennomført testen måtte produktene plasseres oppå hverandre, noe som kan observeres i figur 4.5. Vareflyten er riktig, men nødvendig hastighet på samlebåndet er feil.

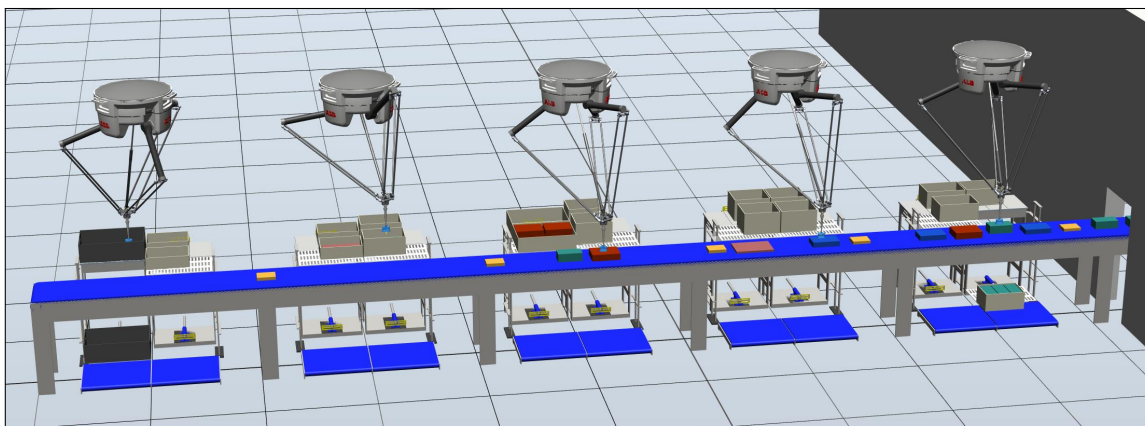
I fanen hvor vareflyt defineres kan også en parameter for avvsningsrate¹⁴ defineres. Under testing ble denne satt til null, noe som tilsvarer at samtlige produkter blir riktig identifisert. Det er ønskelig at produktene blir riktig identifisert, men denne forutsetningen er ikke realistisk i en realisert applikasjon. Det bør derfor defineres en sikkerhetsmargin til sannsynligheten av riktig identifisering. Dersom sannsynligheten for riktig identifisering av produktet (som poengsum vist i figur 4.2b) er lavere enn sikkerhetsmarginen, vil produktet håndteres separat, gjerne manuelt.

Ved testing fungerer griperen optimalt, som vil si at den ikke slipper produktet den håndterer uansett hvilke krefter den utsettes for. Griper(e) bør testes i en fysisk applikasjon før realisering av konseptet, slik at avvik kan utelukkes. Det kan hende at akselerasjonen på bevegelsen må reduseres, som igjen vil føre til økt syklustid, og med det et mulig behov for flere roboter.

I oppstarten av testen er ikke produktene plassert på samlebåndet. Det defineres et startpunkt hvor disse ankommer, og de beveger seg så mot plukke-sonen. Tiden det tar fra disse første produktene ankommer til de plukkes påvirker statistikken vist i tabell 4.5 og 4.7, slik at vareflyten fremstår som lavere enn 240 produkter i minuttet.

4.2.6 Visualisering

Det er laget en film av konseptet for ”plukk og plassér”-applikasjonen. Filmen kan sees ved å trykke på linken: <https://youtu.be/bNgwn4h-9B0>. Denne videoen viser fem ulike produkter som ankommer samlebåndet og behandles av roboten med tilhørende eske. Veggene rundt applikasjonen er bygget opp etter plantegningen gitt vedlagt på side 52.



Figur 4.6: Konseptet for plukking av produkter langs samlebånd og plassering i esker.

¹⁴Rejection ratio.

Legg spesielt merke til:

- Robotene behandler kun produkter som de har esker til (produkt PA til eske EA, PB til EB, osv.).
- Noen av produktene må roteres for å plasseres riktig i esken.
- Produktene føres over eskekanten før de plasseres nedi esken.
- Robotene har en venteposisjon der griperen plasseres over samlebandet. Dette er gjort for å redusere syklustid ved plukking.
- Skyvebordenes funksjon som forklart i kapittel 3.2 (side 22).
- Hvis fremre eske er fjernet og det er klart til å flytte bakre eske frem, vil skyvebordet vente med denne operasjonen dersom roboten er i ferd med å plassere et produkt i bakre eske.

Hva som ikke fremkommer av videoen:

- Hvordan eskene bygges, og hvordan de ankommer skyvebordet.
- Her kommer alle produktene inn med en fast orientering. Det er lagt inn kode i programmet som tar hensyn til om orienteringen til produktet varierer, slik at orientering i esken blir riktig.
- Eskene som føres til forsegling og palletering.

Konseptet for denne applikasjonen benytter seg av noen forutsetninger. Disse er:

- Varene som kommer på samlebandet ligger separat, og overlappes ikke av hverandre.
- Varene har en bestemt side som peker nedover.
- Identifisering av varer med posisjon- og orienteringsangivelse blir alltid riktig utført.
- Eskereiserene går ikke tom for flatpakkede esker.
- Formen på eskene er alltid riktig.
- Eskene plasseres alltid ved riktig posisjon på skyvebordene.
- Vakuulgriperene er kompatible til å benyttes på alle produktene.
- Vakuulgriperen fester seg alltid til midten av produktet, slik at plassering i eske blir riktig.
- Fulle esker blir ført videre på et indeksert samleband slik at de ikke krasjer på vei til palletering.
- Palleteringsapplikasjon har kapasitet nok til å håndtere eskeflyten.

Noen av forutsetningene er vanskelige/umulige å innfri, slik som perfekt identifikasjon av alle varer. Avvik her må medregnes, og tiltak for å forhindre unødig tap av verdier bør implementeres.

5. Oppsummering

Dette kapitlet tar en gjennomgang av konseptet og tilhørende tester. Det drøftes også hva som må videreutvikles for å få et komplett konsept som kan realiseres.

5.1 Tester

Av testen som er utført i forbindelse med identifisering av produktene (kapittel 4.1 på side 36) fremkommer det at identifisering og orientering blir funnet og er riktig. Programvaren klarer å skille mellom de fem produktene som kommer langs samlebandet, selv om flere produkter havner i samme bilderamme.

Lengste behandlingstid som ble benyttet for å identifisere et produkt var 13.4 ms. Med den hastigheten vil i overkant av 74 produkter kunne identifiseres i sekundet, noe som er tilstrekkelig for vareflyten nevnt i tabell 2.6 (side 16). Dette kan endres dersom programvaren skal lete etter mer detaljrike egenskaper, eller om sensordata er annerledes (fargebilder, 3D-scanning etc.), og bør i så tilfelle testes. Hvor kraftig maskinvare som benyttes på maskinen som kjører programvaren vil også påvirke tiden det tar å behandle et bilde.

For å oppnå måling av orienteringen til produktene langs samlebandet er det viktig at emballasjen innehar et kjent trekk programvaren kan lete etter.

Produktidentifikasjon ved hjelp av et gråskala kamera og tilhørende programvare gir med andre ord lovende resultater. Mer testing kreves for å bekrefte at alle kombinasjoner av produkter kan riktig identifiseres og skilles.

Av testen som er utført i forbindelse med plukking og plassering av produktene (kapittel 4.2 på side 40) fremkommer det at det vil være mulig å behandle høyeste vareflyt (240 produkter i minuttet, i henhold til tabell 2.6 på side 16) ved å benytte fem roboter til plukking av produktene fra samleband. Tallene i tabell 4.5 og 4.7 er resultatet etter flere tester, hvorav det beste resultatet er gjengitt.

Testen som benyttet fire roboter til plukking av produkter oppnådde i det beste tilfellet et avvik hvor rett i underkant av 1% av produktene ikke ble plukket før de forlot samlebandet. Med tanke på at vareflyten var hentet fra et "verste tilfelle" kan det hende at kunde er tilfreds med dette avviket, og at det er tilstrekkelig å benytte kun fire roboter i applikasjonen. De produktene som da ikke blir plukket må i så tilfelle behandles separat, for eksempel ved å benytte et retur-bånd som fører de tilbake, foran identifiseringen. Et slikt retur-bånd bør antageligvis opprettes uansett slik at produkter som ikke ble riktig identifisert kan returnere til start hvor identifikasjon forsøkes gjennomført en gang til.

For at fem roboter skal kunne plukke 240 objekter i minuttet, må hver robot ha kapasitet til å oppnå $\frac{240}{5} = 48$ sykluser i minuttet, som gir en syklustid på 1.25 s. Sammenlikner man med tall fra databladet til IRB 360-6/1600, gjengitt i tabell 3.4 (side 28), ser man at dette stemmer ganske godt overens med 3 kg belastning (tabellen angir bevegelse kun én vei, ikke tur/retur).

5.2 Systemets egenskaper

Kamera med bildebehandling

Kamera har maksimal bildeflyt på 17 bilder i sekundet. Under testing ble bildetakning aktivert for hver 50 mm bevegelse av samlebånd. Dette gir samlebåndet en maksimal hastighet på 850 mm per sekund.

Ved å benytte gråskala bilder var lengste registrerte tid nødvendig for identifisering av produkt 13.4 ms. Dette tilsvarer i overkant av 74 produkter i sekundet.

Programvaren har mulighet til både å skille mellom produktene samt oppgi produktenes plassering og orientering på samlebåndet.

Plukking og plassering

$$\text{Maksimal vareflyt} \approx \frac{\text{Antall produkt} - \text{Antall ikke plukket}}{\text{Tid}}$$

Hvis fire roboter benyttes er det mulig å oppnå en maksimal vareflyt på 237 produkter i minuttet. Hvis fem roboter benyttes vil maksimal vareflyt være høyere enn 240 produkter i minuttet.

Skyvebord

Muliggjør at hver robot kan behandle to ulike typer produkter.

Frakter esker fra pakking av produkter til samlebånd hvor esker blir forseglet og palletert.

5.3 Foreslått system mot manuell sortering

Problemstillingen her er tenkt løst på en fleksibel måte slik at flere ulike produkter kan plukkes fra ett felles samlebånd. Etter å ha testet hvor godt identifikasjon av produkter fungerer antas det at dette ikke blir den største utfordringen. En større utfordring vil være logistikk av esker fra eskereiser til skyvebordet.

Å realisere konseptet som en prototype vil være kostbart, da den setter krav til å benytte komponenter som ikke er hylleware. Hvis eksisterende løsning (manuell pakking) beholdes slipper kunden et usikkerhets-moment, selv om eksisterende løsning er ønsket avvirket.

Skyvebordet er ingen standard-vare, og er således ikke langtidstestet. Hvis en prototype blir laget av systemet kan det hende at det viser seg at designet på denne ikke virker som ønsket. Dette kan medføre at designendring av bordet eller en endring av design på systemet som en helhet vil være nødvendig.

Å hindre at robotens bevegelige deler treffer eskens vegger vil være et viktig punkt i forbindelse med utvikling av applikasjonen. Lengden på løftearmen begrenses av robotens løftekapasitet, da med hensyn på den totale last (griper og produkt) sitt massesenter. I forbindelse med testing ble det ikke oppdaget noen kollisjoner mellom robot og eske, men dette bør testes på en egnet teststasjon i forkant av konseptets realisering.

Arbeidskraften som frigjøres ved implementasjon av løsning vil kunne benyttes i andre deler av produksjonen, og med det muligens fjerne eksisterende flaskehalser. Dette vil kunne øke produksjonsevnen til kunde.

5.4 Diskusjon

Oppgaven som her er jobbet med gir en base for utvikling av totalt konsept på løsning av problemstillingen gitt i kapittel 1.3.2 (side 4). Fokuset har her vært rettet mot plukking av produkter og plassering av disse i esker.

Sammenliknet med de fullt automatiserte linjene kunden allerede har, fremstår konseptet som mer fleksibelt da produktene først blir identifisert for så å bli plukket av en egnet robot. Etter plukking plasseres produktene direkte i esker, og fulle esker sendes videre til forsegling og palletering.

Identifikasjon av produkter har blitt testet. Resultatet ga lovende svar på spørsmålet om riktig identifikasjon og funn av posisjon og orientering kan finnes fortløpende. Hvis egenskaper for identifikasjon finnes ved bruk av kamera er det viktig å sørge for at belysning er tilstrekkelig. Det finnes også andre former for sensorer som kan benyttes til identifikasjon, slik som 3D-scannere. Produsent av slike sensorer hevder at belysning ikke vil påvirke måleresultatet, men denne påstanden er ikke testet her.

Ved korrekt identifikasjon vil konseptet med plukking og plassering av produkter kunne håndtere en vareflyt på 240 produkter i minuttet ved bruk av fem roboter. Dette ble oppnådd etter noe prøving og feiling på fordeling av produkter mellom robotene, noe som viser viktigheten av en algoritme som bestemmer hvilke roboter som skal plukke hvilke produkter.

En av forutsetningene for vareflyten er at griperen som benyttes til å plukke produktene klarer å holde produktene fra samleband til eske. Det kan hende at kombinasjonen av vekten til enkelte produkt og bevegelsens akselerasjon fører til at produktet mistes. Slike hendelser kan ikke testes i RobotStudio, og er således ikke testet her. Dersom det viser seg at den valgte griper ikke evner å holde produktet i forflytningen kan det være nødvendig å redusere akselerasjonen til bevegelsen, noe som vil kunne påvirke maksimal vareflyt.

Å benytte en griper som baserer seg på sugekopp-prinsipp antas å være mest hensiktsmessig da en slik har liten sannsynlighet for å punktere emballasjen, noe som vil føre til vraking av produktet.

Skyvebordet er designet med de mekanismer som er nødvendig for normal operasjon. Konseptet tar ikke hensyn til at eskene kan rotere ved flytting og komme ut av posisjon, slik at plasseringen av produktene i esken blir feil. Sikkerhetsanordninger som sørger for at orienteringen av esken blir riktig bør innføres.

Konseptet er testet i RobotStudio, som er egnet til testing av konsepter, men som også antar at alt er optimalt. Måleavvik, deformerte esker, avvik i utforming av emballasje er eksempler på hva programvaren ikke tar hensyn til. For å få en bedre forståelse av hvordan slike avvik påvirker systemet må deler av systemet realiseres og en større test gjennomføres.

Oppgaven ansees som løst i henhold til oppgavebeskrivelsen og elementer gitt i kapittel 1.3.3 (side 7).

5.5 Videre arbeid

- Utvikle en algoritme som optimaliserer fordelingen av hvilke roboter som skal plukke hvilke produkter slik at samtlige identifiserte produkter blir behandlet før de når enden av samlebåndet.
- Designe logistikk-løsning for esker fra eskereiser til skyvebord.
 - Opp mot fem ulike esker kan være nødvendig.
 - Eskene skal fraktes fra eskereiser til riktig skyvebord.
 - Kanskje nødvendig at flere produkter benytter samme type eske.
- Videreutvikle konseptet for skyvebord.
 - Sørge for at eske ikke vris ut av posisjon ved forflytning.
 - Finne egnede sensorer for utgangssignaler.
 - Kan hende at det er ugunstig at eskene sklir langs en flate. En bedre løsning kan være at eskene skyves på rullere.
- Teste og gjerne kombinere flere ulike sensorer for identifikasjon av produkter.
 - Fargekamera.
 - 3D-scanner.
 - Vekt.
- Implementere trente modeller av hele kundens produktportefølje for identifisering.
- Lage programvare som automatisk henter genererte modeller for identifisering ut fra hvilke produkter som ankommer samlebåndet.
- Designe griper som er egnet til forsegling av fulle esker, enten ved liming eller teiping.
 - Må raskt kunne håndtere ulike typer esker som er på vei fra skyvebord til palletering.
 - Hvis kollaborerende robot benyttes må griper ikke utgjøre en fare for operatør i nærheten.
- Velge løsning for palletering av esker.

6. Bibliografi

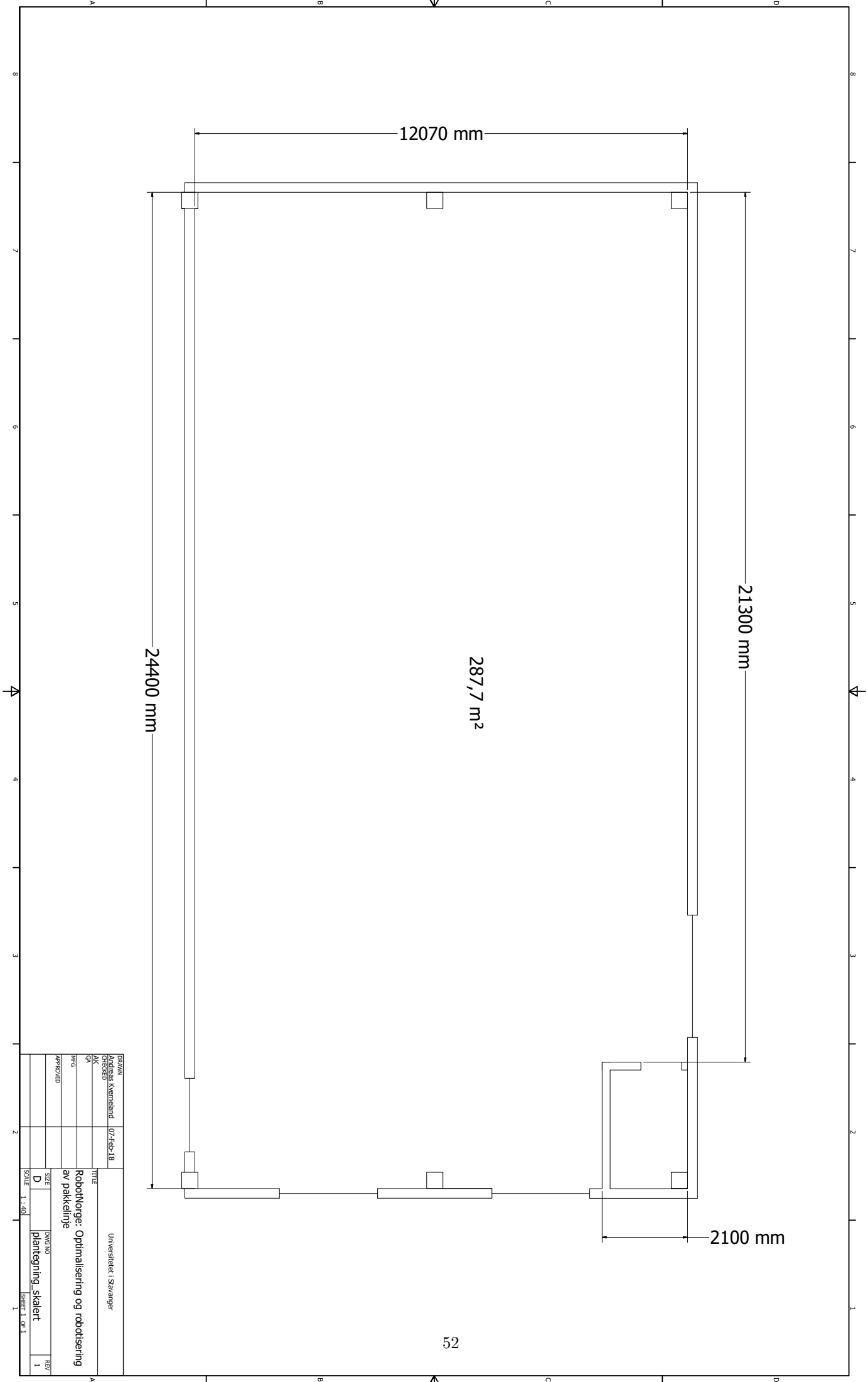
- [1] NS-EN ISO 12100:2010. Maskinsikkerhet - hovedprinsipper for konstruksjon - risikovurdering og risikoreduksjon. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2010.
- [2] NS-EN ISO 13850:2015. Maskinsikkerhet - nødstop - hovedprinsipper for konstruksjon. Standard, European Committee for Standardization, Brussel, B, 2016.
- [3] NS-EN ISO 13857:2008. Maskinsikkerhet - sikre avstander til faresoner for øvre og nedre kroppsdeler. Standard, European Committee for Standardization, Brussel, B, 2008.
- [4] ISO/TR 14121-2:2012. Safety of machinery - risk assessment - part 2. Technical report, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2012.
- [5] ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices - collaborative robots. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, February 2016.
- [6] ABB Automation Technology Products AB. *PickMaster User Manual*, volume Version 3.12. 2007.
- [7] ABB. Robotstudio. <http://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>. Sjekket: 31.01.18.
- [8] ABB. Software downloads. <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/downloads>. Sjekket: 12.06.18.
- [9] ABB AB Robotics. *Application manual Picking PowerPac for PickMaster 3*, rev.f edition, September 2016.
- [10] ABB AB Robotics. *IRB 360 FlexPicker®*, rev.h edition, August 2017.
- [11] ABB AB Robotics. *PickMaster™ External Sensor for SICK IVC-3D*, 2017.
- [12] ABB AB Robotics. *Product specification IRB 4600*, rev.v edition, Oktober 2017.
- [13] ABB AB Robotics. *Product Specification IRB360*, rev.s edition, Oktober 2017.
- [14] RobotNorge AS. Automasjons- og robotspesialisten. <https://www.robotnorge.no>. Sjekket: 16.03.18.
- [15] Autodesk. Inventor. <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. Sjekket: 04.04.18.
- [16] Axelent. Hjemmeside. <https://www.axelent.no>. Sjekket: 22.04.18.
- [17] Basler. *Basler scout - Users manual for GigE vision cameras*, volume Version 18. 2015.
- [18] BRC. British retail consortium global standards. <https://www.brcglobalstandards.com>. Sjekket: 04.02.18.
- [19] RobotStudio Developer Center. Creating a smartcomponent. <http://developercenter.robotstudio.com/blobproxy/devcenter/RobotStudio/html/9ca14bcd-d516-4ecf-ad76-70a86e3d6a5a.htm>. Sjekket: 16.04.18.
- [20] ITO. Hjemmeside. <https://ito.no>. Sjekket: 11.06.18.

- [21] Mettler Toledo AS. *C31 StandardLine*, Oktober 2017.
- [22] University of Delhi. Degrees of freedom. <http://vle.du.ac.in/mod/book/print.php?id=13264&chapterid=29093>. Sjekket: 12.04.18.
- [23] International Federation of Robotics (IFR). *World Robotics - Industrial Robots 2016*. IFR Statistical Department, 2016.
- [24] OpenCV. About. <https://opencv.org/about.html>. Sjekket: 22.04.18.
- [25] ABB Robotics. Technical reference manual - rapid instructions functions and data types. https://library.e.abb.com/public/688894b98123f87bc1257cc50044e809/Technical%20reference%20manual_RAPID_3HAC16581-1_revJ_en.pdf. Sjekket: 09.04.18.
- [26] ABB Robotics. Operating manual - robotstudio. <https://library.e.abb.com/public/c32474784a0e4f4c9e38e2709f090898/3HAC032104-en.pdf>, 2017. Sjekket: 09.04.18.
- [27] Karl Skretting. *ELE610 Prosjekter i robotteknikk - RobotStudio-del oppgave 1*, volume 13. des 2017. 2018.

7. Vedlegg

Tabell 7.1: Vedlagte dokumenter.

Hva	Beskrivelse	Side
Plantegning	Tegning over rom hvor utstyr skal installeres	52
Blokkskjema	Skyvebord	53
SmartKomponent	Skyvebord	54
SmartKomponent	Vakuump-griper	55
SmartKomponent	Identifisering	56
Stasjonslogikk	Konseptet	57
Inn- og utgangssignaler	Konseptet	58



287,7 m²

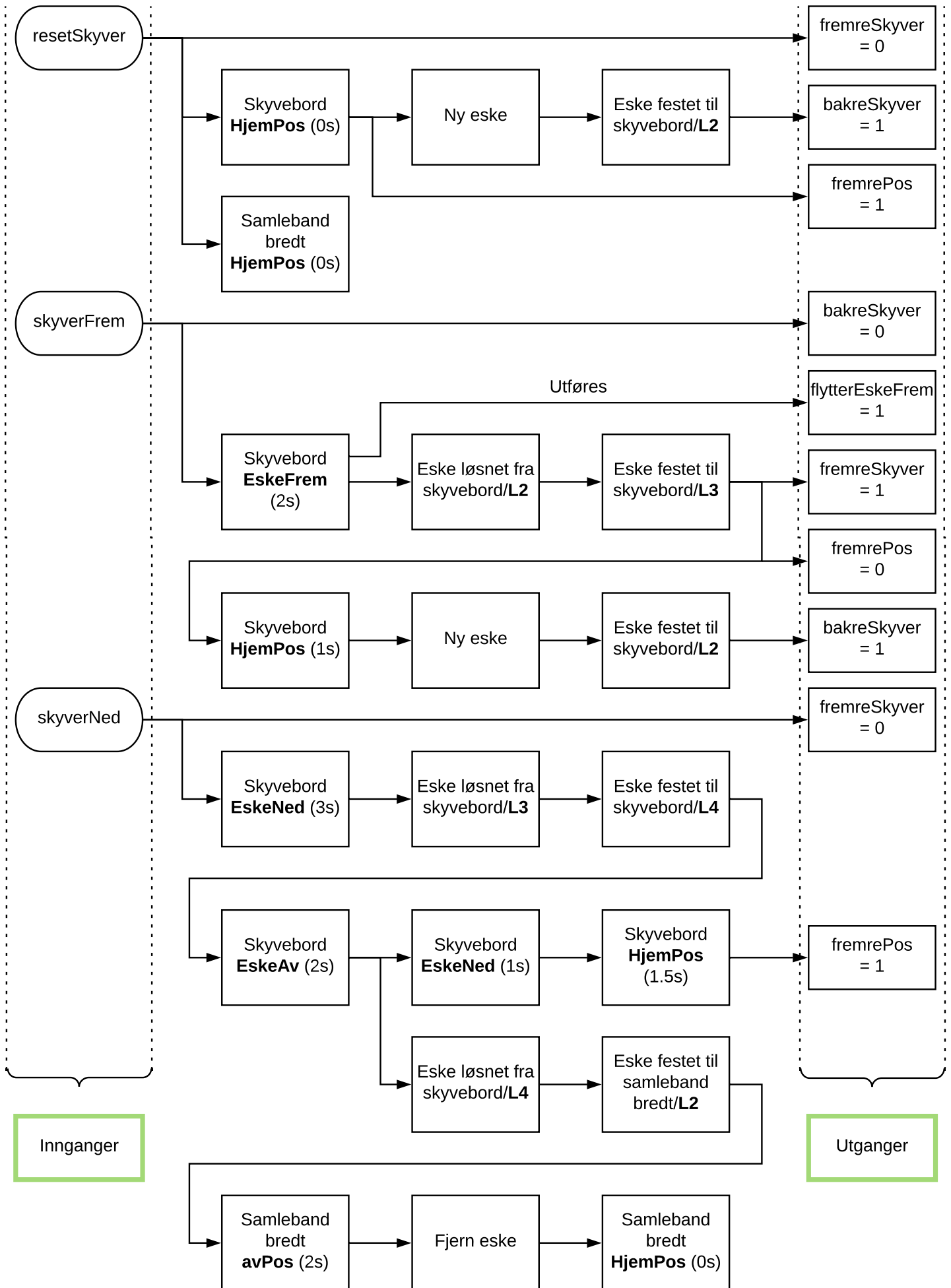
12070 mm

21300 mm

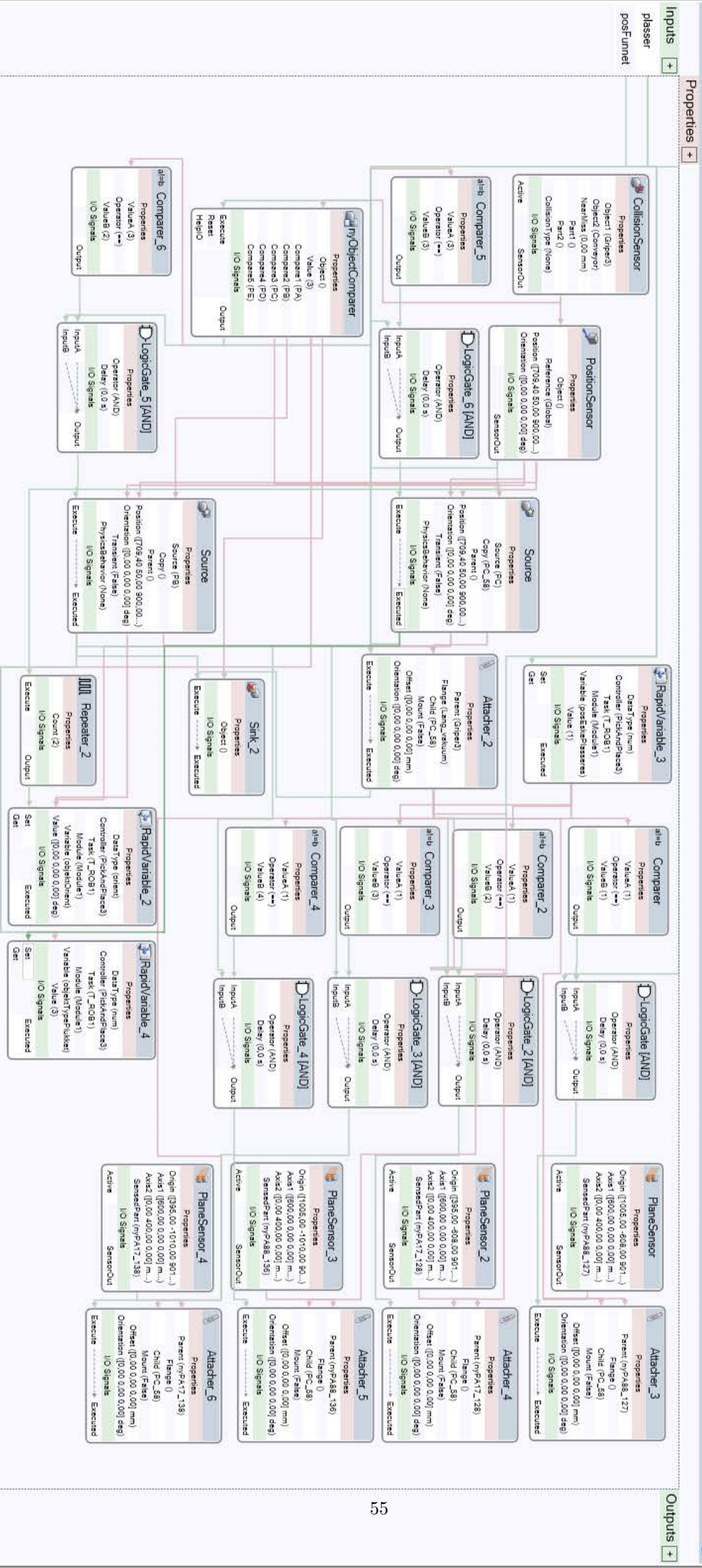
24400 mm

2100 mm

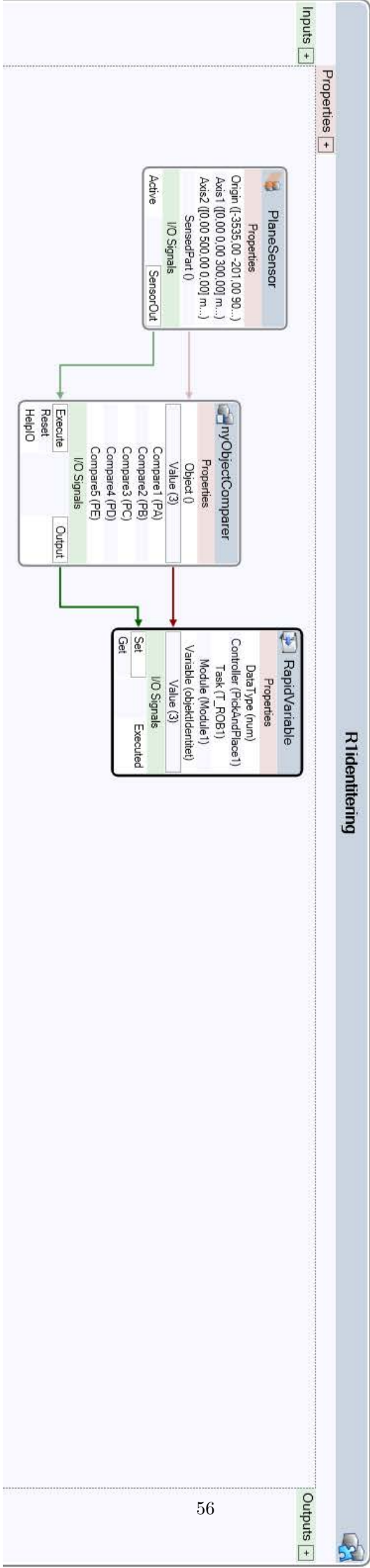
DRYK	07-Feb-18	Univeritetet i Stavanger
ADDRESS	07-Feb-18	
CHECKED		
BY		
DATE		
DESIGNED		
DRAWN		
SCALE	1:40	
SHEET	1 OF 1	
TITLE	Univeritetet i Stavanger	
PROJECT	RobotNorge: Optimalisering og robotisering av pakkelinje	
REV	1	plantegning_skalert

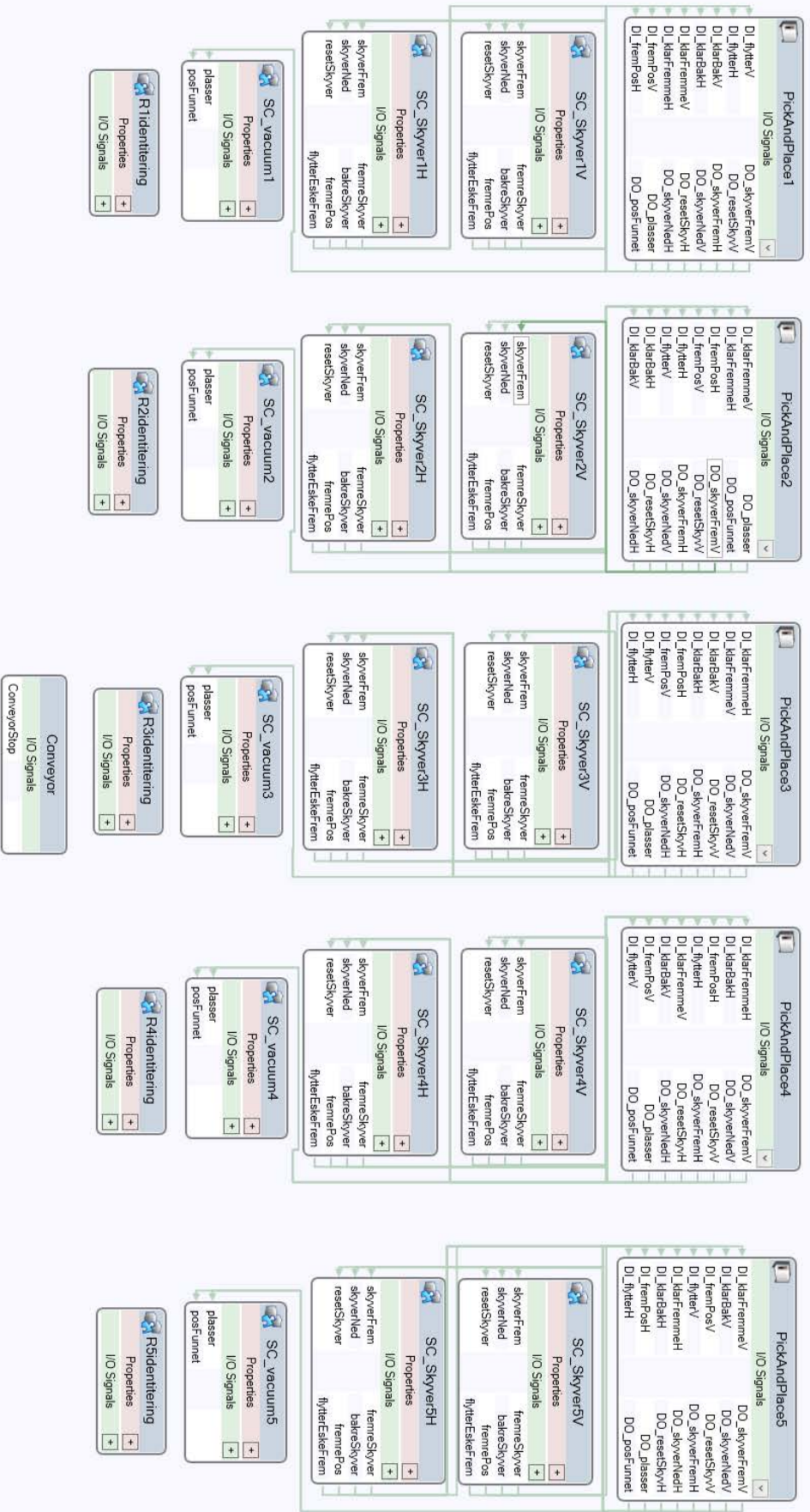


SC_vacuum3



R Identifying





Configuration - I/O System

Type	Name	Type of Signal	Assigned to Device	Signal Identification Label	Device Mapping	Category	Access Level	Default Value	Filter Time Passive (ms)	Filter Time Active (ms)
Access Level	c1SoftSyncSig	Digital Output	Qrack1		5		Default	0	N/A	N/A
Cross Connection	c1Speed	Analog Input	Qrack1		32-63		Default	0	N/A	N/A
Device Trust Level	c1Wait/Obj	Digital Output	Qrack1		0		Default	0	N/A	N/A
DeviceNet Command	CH1	Digital Input	PANEL	Run Chain 1	22	safety	ReadOnly	0	0	0
DeviceNet Device	CH2	Digital Input	PANEL	Run Chain 2	23	safety	ReadOnly	0	0	0
DeviceNet Internal Device	DI_flyterH	Digital Input	DN_Internal_Device		2		All	0	0	0
EtherNet/IP Command	DI_flyterV	Digital Input	DN_Internal_Device		1		All	0	0	0
EtherNet/IP Device	DI_fremPosH	Digital Input	DN_Internal_Device		12		All	0	0	0
Industrial Network	DI_fremPosV	Digital Input	DN_Internal_Device		13		All	0	0	0
Route	DI_KlarBakH	Digital Input	DN_Internal_Device		9		All	0	0	0
Signal	DI_KlarBakV	Digital Input	DN_Internal_Device		7		All	0	0	∞
Signal Safe Level	DI_KlarFremmeH	Digital Input	DN_Internal_Device		8		All	0	0	0
System Input	DI_KlarFremmeV	Digital Input	DN_Internal_Device		6		All	0	0	0
System Output	DO_glasser	Digital Output	DN_Internal_Device		14		All	0	N/A	N/A
	DO_posFunnet	Digital Output	DN_Internal_Device		15		All	0	N/A	N/A
	DO_resetSkyvH	Digital Output	DN_Internal_Device		5		All	0	N/A	N/A
	DO_resetSkyvV	Digital Output	DN_Internal_Device		4		All	0	N/A	N/A
	DO_skyverFremH	Digital Output	DN_Internal_Device		3		All	0	N/A	N/A
	DO_skyverFremV	Digital Output	DN_Internal_Device		0		All	0	N/A	N/A
	DO_skyverNedH	Digital Output	DN_Internal_Device		11		All	0	N/A	N/A
	DO_skyverNedV	Digital Output	DN_Internal_Device		10		All	0	N/A	N/A
	DRV1BRAKE	Digital Output	DRV_1	Brake-release coil	2	safety	ReadOnly	0	N/A	N/A
	DRV1BRAKEFB	Digital Input	DRV_1	Brake Feedback(X3:6) at Contactor Board	11	safety	ReadOnly	0	0	0
	DRV1BRAKEOK	Digital Input	DRV_1	Brake Voltage OK	15	safety	ReadOnly	0	0	0