

HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi

Hovedoppgave

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller

TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFHO3200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven

Jamal Safi

Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi

Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Forord

Denne rapporten beskriver arbeidet som er gjennomført og resultatene som er oppnådd gjennom prosjektperioden av gruppen TOPVALG ved Høgskolen i Buskerud, avdeling Kongsberg våren 2010.

Bachelorutdanningen for ingeniørstudentene ved Høgskolen i Buskerud, avsluttes med en hovedoppgave. Oppgaven teller tjue poeng og løses i grupper på tvers av de ulike ingeniørlinjene. Gruppen TopValg er satt sammen av 6 studenter:

Fra 3.år produktutvikling:

Andreas Budak
Per Sveinung Norendal
Lars Ola Birger Rimmereid
Viggo Røneid
Tor Olav Sviggum

Fra 3.år mekatronikk:

Gunbjørn Kjernaas

Oppdragsgiver for prosjektet er Tronrud Engineering, Hønefoss med Morten Nordengen som ekstern veileder og sensor. Olaf Hallan Graven var intern sensor fra Høgskolen i Buskerud og Jamal Safi var intern veileder.

Takk til

TopValg ønsker å takke alle som har bidratt med kunnskap, erfaring og entusiasme, og tilført oppgaven engasjement og iver:

Fra Tronrud Engineering:

Morten Nordengen, som ekstern sensor og veileder.
Jørgen Haugen, for veiledning i analyse og designfasen.
Kjell Ivar Vesleenga, for veiledning og hjelp i byggefasen.
Ellers alle som har hjulpet oss gjennom prosjektet

Fra Høyskolen i Buskerud:

Olaf Hallan Graven, som intern Sensor.
Jamal Safi, som intern veileder.
Arne Bjørnar Næss, for hjelp med utstyr og verktøy.
Åge Skaug, for hjelp med grupperom og brukersenter.
Richard Thue, for lån av PC og hjelp med Solidworks.
Kjell Enger, for hjelp med Solidworks Simulation.
Gerrit Müller, for hjelp til å bruke CAFCR i prosess og rapport.

Mie Gustavsen, ProjectPlace, for opplæring og support på ProjectPlace.

Prosjektgruppen SCRAT, som vi har delt grupperom med, da de har bidratt til å spre godt humør og gitt verdifulle synspunkter på våre utfordringer.

Gjennomlesing og korrektur:

Kine Schjelderup Syrstad
Ingunn Viko
Reidar Sviggum

Familie og venner for tålmodighet og forståelse.

Sammendrag

Oppgaven ble gitt av Tronrud Engineering A/S, som er en ingeniørbedrift lokalisert ved Hønefoss. De leverer industrielle kundetilpassede spesialprodukter og automasjonssystemer på bestilling.

TopValg skulle i hovedoppgaven utvikle et system for håndtering av silisiumplater og solceller. Silisiumplatene blir kalt wafere, og er hovedelementet i produksjonen av ferdige solceller. Platene er svært tynne og silisium er et sprøtt materiale, og tåler derfor lite mekanisk påkjenning. Systemet som skulle utvikles, skulle ta platene ut fra en isoporeske en og en, og legge dem på et transportbånd.

Kravene til systemet deles opp i to kategorier. Den første er de operasjoner systemet skal utføre, og den andre kategorien er under hvilket miljø operasjonene skulle utføres. Den største utfordringen med kravene, var å unngå brekkasje av wafere ved fortsatt å holde seg innenfor syklustiden til systemet.

Motivasjonen for å utføre denne oppgaven er todelt. Solcelleteknologien er spennende og kan forhåpentligvis bidra til en renere planet. Det andre er oppdragsgivers kjernevirksomhet og kompetanse.

Risikofaktorer ved prosjektet ble vurdert og de mest kritiske ble vurdert til å være godkjenning av gruppens designløsning hos oppdragsgiver, samt at tidsfristene ble overholdt. Andre viktige faktorer var samarbeid med veiledere og klimaet innad i gruppen.

Ved å kartlegge kundens behov og ønsker for systemet, samt analysere hvilket grensesnitt det skulle knyttes mot, økte forståelsen av de reelle utfordringene og hvilke funksjoner systemet burde inneha.

Etter å ha analysert oppgaven fra TE og arbeidet frem en gruppe- og arbeidsstruktur for gruppen, kunne utviklingsarbeidet starte. Det var lite føringer for hvordan oppgaven skulle løses, og TV jobbet selvstendig frem et utvalg av løsningskonsepter. Dette ble gjort ved å la alle gruppemedlemmer utvikle egne ideer, og deretter gjennomføre en workshop, hvor alle ideer ble diskutert og sortert i ulike kategorier.

Et utvalg av konsepter ble presentert for TE. Konseptene ble diskutert og det ble tatt en avgjørelse om å begynne testing av konseptet tostegsløft, med luftdyser som hjelpemiddel til singulering.

Konseptet med tostegsløft er at løftet av wafer/solcelle skjer i to steg ved hjelp av sugekopper. Tanken bak dette konseptet var at todelt løft ville lage en spenning i waferne som ble løftet, og at det ville få eventuelle ekstra wafere ville slippe taket. Samtidig var det forventninger til at dyser med lufttrykk mot bunken ville ha en positiv effekt på singuleringen.

TV gjennomførte en rekke lavskalatester for å avdekke om dette var et konsept å gå videre med. Resultatet av disse testene viste at en riktig sammensetning av tostegsløftet og luftdyser kunne gi en god singulering.

Design av prototypen ble splittet opp i flere funksjoner. Singulering og løft ble designet ut fra resultatene fra lavskalatestingen som var gjort. Det ble valgt å bruke en heis under innlastingen av wafere, for å gi konstant løfteposisjon. Samtidig ble transportfunksjon mellom innlasting og transportbånd utviklet.

Da systemet skulle være automatisert, ble PLS-system fra Siemens valgt som styringssystem. TV utviklet egen software for styringssystemet, som behandlet inputs og outputs og automatiserte kjøring av alle funksjoner.

Byggingen og modultestingen ble gjennomført mens prototypen sto hos TE, og ble deretter fraktet til HiBu Kongsberg, hvor arbeidet med tuning og testing begynte. Etter innledende modul- og integrasjonstesting, var dette en prosess med systemtesting med bruk av Taguchi metoden, justeringer og idemyldring for forbedringer i flere omganger. Dette arbeidet førte frem til avsluttende akseptantstester, sammen med en del punkter TV mener er forbedringspotensial.

Akronymer og forkortelser

Dette dokumentet inneholder en rekke forkortelser som brukes hyppig i resten av dokumentasjonen, samt forklaringer på noen begreper. Listen er satt opp alfabetisk.

- AB - Andreas Budak
- GK - Gunbjørn Kjernaas
- HMI - Human Machine Interface - Menneske maskin grensesnitt
- LR - Lars Rimmereid
- Mc - Si (wafere) - multikrystallinske silisium (wafere)
- PLS - Programmerbar logisk styring
- PP - Projectplace
- PS - Per Sveinung Norendal
- REC - Renewable Energy Corporation
- Sc - Si (wafere) - singelkrystallinske silisium (wafere)
- TE - Tronrud Engineering
- TO - Tor Olav Sviggum
- TV- TopValg Engineering
- VR - Viggo Røneid

Dokumentoverskrift

1. Analysedokument

Dokumentet forklarer hvilke faktorer studentgruppen TopValg har vurdert i forkant av hovedprosjektet.

2. Designdokument

Omhandler hjelpemidler som er brukt, og prosessen gjennom hele utviklingsarbeidet.

3. Evalueringsdokument

Evaluering av hovedoppgaven, prosessen, kommunikasjon, gruppen og egnevaluering av gruppemedlemmene.

4. Vedlegg

4.1.1. A Kravspesifikasjon

I kravspesifikasjon står kundens krav beskrevet. Etter å ha lest gjennom det, skal man ha skaffet seg en forståelse for hva kundens behov er. Prosjektgruppen designer prototypen ut ifra kravene og begrensningene som finnes her.

4.1.2. B Testspesifikasjon

Testspesifikasjon beskriver hvordan testingen skal utføres, hvilket utstyr som er nødvendig og hva som skal observeres under testing. Det er i hovedsak kravene fra kravspesifikasjonen som skal testes. Dokumentet er ment som et vedlegg til kravspesifikasjonen.

4.2. PSD

Produktspesifikasjon for prototype. Dette dokumentet inneholder Brukermanual, teknisk dokumentasjon for virkemåte, sammenstilling, delelister og arbeidstegninger for montering og maskinering.

4.3. Konsepttester

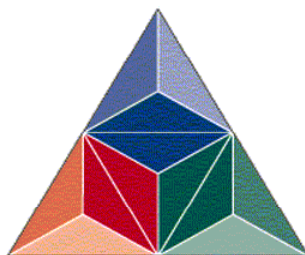
Samledokument for lavskalatester. Disse ble gjort i tidlig fase for å ta beslutning om å sette i gang design av prototype med valgt konsept. Disse testene var også med å sette initialverdier for prototype.

4.4. Styrkeberegning Mc-Si Wafere

Samledokument for eksperimentell bøyingsanalyse og simulering av påført stress i Solidworks Simulation.

4.5. Sytemtester

Samledokument for testing gjort under arbeid med tuning av prototype.



HØGSKOLEN i Buskerud

**Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi**

Analysedokument

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller
TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFHO3200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3
Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven
Jamal Safi
Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi
Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Innholdsfortegnelse

1.	Introduksjon og motivasjon.....	1
1.1.	Innledning	1
1.2.	Klimatrussel	2
1.3.	Solcelleindustri og teknologi.....	2
1.4.	Kostnadseffektivisering	3
1.5.	Oppdragsgiver - Tronrud Engineering	4
1.6.	Produksjonslinjen	5
2.	Bakgrunn.....	6
2.1.	Prosjektgruppa	6
2.2.	Visjon for prosjektet, januar 2010	6
2.3.	Omfang og rammer	7
2.3.1.	Budsjett	8
3.	Organisering.....	9
4.	Milepæler, beslutningspunkter og oppfølging.....	10
4.1.	Første presentasjon – 1. Milepæl.....	10
4.2.	Valg av design – 1. Beslutningspunkt	10
4.3.	Designet – 2. Beslutningspunkt	10
4.4.	Andre fremføring – 2. Milepæl	10
4.5.	Hovedpresentasjon – 3. Milepæl	10
5.	Kritiske suksessfaktorer for prosjektet.....	11
5.1.	Tronrud Engineering A/S	11
5.1.1.	Godkjenning av design	11
5.1.2.	Arbeidsgiver trekker seg	12
5.2.	Samarbeid	12
5.2.1.	Veiledere.....	12
5.2.2.	Samarbeid mellom gruppemedlemmene	13
5.2.3.	Tidsfrister.....	13
5.2.4.	ProjectPlace	13
5.2.5.	Uforutsette endringer underveis	14
6.	Kvalitetssikring	15
6.1.	Dialog	15
6.2.	ProjectPlace	15
6.2.1.	TE.....	15
6.2.2.	Tidsfrister og dokumentasjon	15
6.2.3.	Endringer underveis.....	15
6.2.4.	Administrasjon.....	16
6.2.5.	Bakgrunns research.....	16
6.2.6.	Utvikle løsning	16
6.3.	Forberedelse til endelig presentasjonen.....	17
6.3.1.	Bygge og teste prototype	17
6.3.2.	Ferdigstilling til endelig innlevering	17
6.3.3.	Forberedelser til tredje presentasjonen.....	18

7.	Kundens behov	19
7.1.	Innledning	19
7.2.	Kundeorientert design	20
7.2.1.	Kundeforventningene	20
7.2.2.	Kommunikasjon med oppdragsgiver	21
7.2.3.	Forståelse og lagarbeid	21
7.2.4.	Kvalitetssikring og tilpassningsdyktighet	21
8.	Oppgaven	22
8.1.	Innledning	22
8.2.	Tidligere arbeid	22
8.3.	Problemstilling	23
8.3.1.	Silisiumwafere og celler	23
8.3.2.	Tronrud Engineering	23
8.3.3.	Singulering, separasjon og løft	24
8.3.4.	Prototype	24
8.3.5.	Styrkeberegninger	24
8.3.6.	Kostnader	25
8.3.7.	Brekkasje	25
8.3.8.	Software	25
8.3.9.	Hovedoppgave HiBu	25
9.	Forutsetninger	26
9.1.	Innledning	26
9.2.	Grensesnitt	27
10.	Funksjoner og krav	28
10.1.	Innledning	28
10.2.	Funksjonelle krav	29
10.2.1.	Ønskelige funksjoner	29
10.2.2.	Tilleggsfunksjoner	29
10.2.3.	Uønskelige funksjoner	29
10.3.	Avhengige funksjoner	30
10.3.1.	Transportbånd	30
10.3.2.	Nivåjustering av løft eller stakk	30
10.3.3.	Forflytning av wafere / celler til transportbåndet	30
10.3.4.	Oppsamling av ferdigsingulerte wafere	30
10.3.5.	Automatisert prosess	30
10.3.6.	Elektrisk system	31
10.3.7.	Trykkluft	31
10.3.8.	Ramme	31
10.4.	Operasjonelle krav	31
10.4.1.	Sikkerhet	31
10.4.2.	Syklustid	31
11.	Arbeidsmetode	32
11.1.	Andre verktøy	33
12.	Referanser	34

Figurtabell

Figur 1, oversiktsbilde fra Tronruds lokaler ved Eggemoen	4
Figur 2, Venstre. Oppsamling av wafere etter sortering. Høyre. Sortering av celler...	5
Figur 3, Versjon 0.4 av administrativt budsjett	8
Figur 4, CAFCR-modellen, kundens behov er fremtredende	19
Figur 5, Multikrystallinske celler i standard isoporeske	24
Figur 6, CAFCR-modellen, applikasjon er fremtredende.....	26
Figur 7, Skisse av sorteringslinjen, singuleringssystemet kommer på høyre side....	27
Figur 8, CAFCR-modellen, funksjoner er fremtredende	28
Figur 9, Vannfallsmodellen	32

Dokumenthistorie

Versjon 1.0 dato 28.05.2010 Lagt til sammendrag

Versjon 0.9 dato 27.05.2010 Fjernet FMEA fra "andre verktøy", samt Jørgen Haugen fra veiledere

Versjon 0.6 dato 26.05,2010 korrekturlest

Versjon 0.5, dato 20.05.10, Flyttet arbeidsmetoder til siste kapittel.

Versjon 0.4, dato: 18.05.10

- Dokumentet klart for gjennomsyn og godkjenning av TE
- Lagt til: figurtabell, kapitlene funksjoner og krav (11),

Versjon 0.3, 16.05.10

- Lagt til: kapitlet kundens behov, fra
 - o [Customer Objectives.doc](#), versjon 0,11, dato: 16.05.10

Versjon 0.2, 12.05.10

- Lagt til: kapitlet kundens behov, fra
 - o [Kundeorientert design.doc](#), versjon 0,4, dato: 11.05.10

Versjon 0.1, dato: 11.05.10

Dokumentet er en avlegger fra følgende dokument:

[Prosjektplan.doc](#) versjon 1.4, dato: 22.03.10

- Alle kapitlene bortsett fra 2.1, 6.4,

[visjonsdokument2010-3.doc](#), versjon 1.0 dato: 19.04.10

[Introduksjon og motivasjon.docx](#), versjon 0.11 dato: 05.05.10

[klimatrusselen.docx](#), versjon 0.1, dato: 19.04.10

Sammendrag

Analysedokumentet er ment til å gi leseren en forståelse av hvilke faktorer studentgruppen TopValg, har vurdert i forkant av hovedprosjektet. Da både prosjektet som helhet og systemet som skulle utvikles. Faktorene som angikk prosjektet skulle senere bli evaluert med tanke på gjennomføringen.

Oppgaven ble gitt av Tronrud Engineering A/S, som er en ingeniørbedrift lokalisert ved Hønefoss. De leverer industrielle kundetilpassede spesialprodukter og automasjonssystemer på bestilling.

Risikofaktorer ved prosjektet ble vurdert og de mest kritiske ble vurdert til å være godkjenning av gruppens designløsning hos oppdragsgiver, samt at tidsfristene ble overholdt. Andre viktige faktorer var samarbeid med veiledere og klimaet innad i gruppen.

Motivasjonen for å utføre denne oppgaven kan deles i to, kort oppsummert ved at solcelleindustrien er i sterk vekst og kan forhåpentligvis bidra til en renere planet, det andre er oppdragsgivers arbeidsfelt og oppgaven sett i lys av dette.

Gruppen skulle utvikle et system for å singulere multikrystallinske silisium wafere og solceller, systemet skulle møte krav gitt fra oppdragsgiver. Wafere brukt i solcelleproduksjon er meget tynne, ca. 0,16mm. Silisium er også et sprøtt materiale og platene brister derfor lett om de blir utsatt for belastninger.

Ved å kartlegge kundens behov og ønsker for systemet, samt analysere hvilket grensesnitt det skulle knyttes mot, økte forståelsen av de reelle utfordringene og hvilke funksjoner systemet burde inneha.

Kravene til systemet kunne deles opp i to kategorier. Den første er de operasjoner systemet skal utføre, og den andre kategorien er under hvilket miljø operasjonene skulle utføres. Den største utfordringen med kravene, var å unngå brekkasje av wafere ved fortsatt å holde seg innenfor syklustiden til systemet.

1. Introduksjon og motivasjon

1.1. Innledning

Etter å ha sondert terrenget etter bedrifter som kunne gi TopValg (TV) en oppgave til hovedprosjektet, fattet gruppen straks interesse for Tronrud Engineering A/S (TE), hovedsakelig fordi bedriften baserer sin hovedvirksomhet innen produktutvikling, men også grunnet deres imøtekommende respons til vår forespørsel om oppgave.

Etter forespørsel om studentoppgave hos TE, fikk vi til svar at det var meget mulig. Vi ble først forespeilet en oppgave som enten omhandlet utvikling av deler til en helikoptersimulator, eller en oppgave som omhandlet solcelleproduksjon.

Tatt i betraktning at oppdragsgiver ville tilrettelegge størrelsen og arbeidsmengden til oppgaven, slik at omfanget skulle passe en gruppe av seks ingeniørstudenter. I tillegg til at begge temaene var interessante for gruppen, ble det vedtatt at gruppen skulle forplikte seg til å gjennomføre oppgaven hos TE.

Tilbudet TV fikk omhandlet solceller, senere ble det forklart at oppgaven gikk ut på å utvikle en innretning som skulle kunne plasseres i en produksjonslinje som TE utvikler. Oppdragsgiver ville da jobbe individuelt og parallelt med studentgruppen om å løse utfordringen som studentoppgaven bygger på. Studentene skulle heller ikke få innblikk i Tronruds løsning, da det kunne påvirke TV sitt resultat.

Potensialet for å benytte kunnskap som var tilegnet gjennom studiene ved denne oppgaven var meget stor, da temaet for oppgaven var produktutvikling. Prosjektering av utviklingsprosjekter, *Systemdesign* og *Systems Engineering* er fag flere av TV sine medlemmer hadde deltatt i ved HiBu.

1.2. Klimatrusse

Man har lenge visst at jordens klima er i konstant endring. Naturlige årsaker som for eksempel endringer i jordens bane rundt solen, vulkanutbrudd og solens styrke har styrt klimaendringene fram til det siste århundre. Nå står menneskeheten for første gang ovenfor en global klimaendring forårsaket av egne aktiviteter.

I følge den fjerde hovedrapporten fra 2007 har FNs klimapanel (IPCC) konkludert med at klimaendringene fra og med 1950 mest sannsynlig, skyldes menneskets utslipp av klimagasser. Dette har ført til mesteparten av den observerte globale temperaturøkningen fram til i dag.

Tegn på dette er blant annet at den globale gjennomsnittstemperaturen har økt med 0,74 °C over de siste 100 år og frekvensen av kraftig nedbør har økt over hele jorden.

Siden før den industrielle revolusjonen (omkring 1750) har konsentrasjonen av karbondioksid (CO₂) økt med rundt 31 prosent. Økningen skyldes menneskeskapte utslipp, og har gitt en forsterket drivhuseffekt. Atmosfærens CO₂-konsentrasjon betyr mest (omkring 60 %) for den menneskeskapte forsterkningen av drivhuseffekten. De menneskeskapte utslippene av CO₂ skyldes først og fremst bruk av fossile brensler (kull, olje og gass) og avskoging i tropiske strøk.

På grunn av de store klimaproblemene verden står overfor er det ønskelig at nye energikilder skal føre til minimale CO₂-utslipp. Rene energikilder som vindkraft, vannkraft og solenergi kan bidra til et bærekraftig samfunn med lave CO₂-utslipp som dermed vil kunne begrense den globale oppvarmingen [1].

1.3. Solcelleindustri og teknologi

Det er stor enighet om at fremtidens store energibehov vil delvis dekkes fra solen som har nærmest uendelig med potensial. I Norge er det derimot lite lønnsomt å produsere energi ved hjelp av solceller, siden det er lite solinnstråling og lav strømpris takket være vannkraft. For å dekke hele Norges energiforbruk med solceller med en effektivitet på 15 prosent, vil vi måtte dekke cirka 97.000 fotballbaner med solcellepaneler. Dermed er det ikke solenergi egnet til storskala energiproduksjon i Norge med den teknologien som finnes i dag.

Solceller i utlandet kan være lønnsomt siden det finnes en rekke steder i verden der man har øde områder med mye større innstråling enn Norge. Ved å bruke den kompetansen og naturressursene Norge besitter, kan man videreutvikle solcelleteknologien og eksportere denne til utlandet. Norge kan ved å satse på solcelleteknologi stå ovenfor et nytt oljeeventyr.

Norge besitter også store forekomster av kvarts med høyt innhold av silisiumdioksid, som er hovedbestanddelen i solceller. Silisium blir først raffinert fra Silisiumdioksid, ved hjelp av en smelteprosess, til en renhetsgrad som kalles metallurgisk kvalitet, den har en renhet på 98-99 % Silisium. Denne prosessen krever mellom 11-13 kWh/kg metallurgisk grad Silisium. Videre rensing av Silisiumet med Siemensprosessen gir en renhetsgrad på opptil 99,9999999 %, da klassifiseres Silisiumet som elektronisk kvalitet, og kan benyttes i solcelleindustrien[2].

1.4. Kostnadseffektivisering

Virkningsgraden på dagens wafere (< 30 %, teoretisk) [3] holder ikke dersom det skal lønne seg for forbrukere å investere i solcelle paneler, mot kull- eller atomenergi. For at det skal skje utvikling innen feltet er vi avhengige av pionerer i feltet som bidrar til at det er grunnlag for videre utvikling.

Ved utstrakt bruk av automasjon under produksjonsprosessen til solceller, vil kostnaden av ferdige celler kunne gå ned. Dette vil da gjerne resultere i en lavere pris for forbrukeren, som igjen vil kunne stimulere til økte investeringer innen solcelleteknologi.

Som et ledd i denne utviklingen kom vår oppgave inn, ved å bidra med stabile og presise prosesser i automasjonen. Dette kunne sikre mindre svinn og dermed høyere avkastning av ferdige wafere.

Solcelleindustrien bidrar til en utvikling for renere energi. Dette er et viktig satsingsfelt i dag og forhåpentligvis enda større i fremtiden. Samfunnet vil ha nytte av rimeligere solcellepaneler.

1.5. Oppdragsgiver - Tronrud Engineering

Tronrud Engineering ble grunnlagt i 1997 av Ola Tronrud og holder til på Eggemoen, Hønefoss, der de har kontorer, produksjon og monteringslokaler. TE utvikler og leverer spesialløsninger og spesialmaskiner til industrien, både i inn- og utland. De benytter arbeidsmetoder som gjør at samarbeidet med kunden er tett gjennom hele utviklingsprosessen, fra idé via design og konstruksjon, til iverksetting av de ferdige installerte maskiner.

Tronrud Engineering A/S har et motto som sier "Vi gjør ideen til virkelighet", dette er meget beskrivende for denne bedriften, da de har spesialisert seg på å være en problemløser for kunden. Dette gjør de ved å benytte dyktige medarbeidere og ha en kvalitetsorientert tankegang. Resultatet blir da innovative, effektive, presise og gjennomtenkte løsninger i sine produkter.

Tronrud har gjennom flere år hatt REC som sin kunde. REC er totalleverandør av solceller. Tronrud har produsert deler av produksjonslinjen som REC bruker til å produsere solceller.



Figur 1, oversiktsbilde fra Tronruds lokaler ved Eggemoen

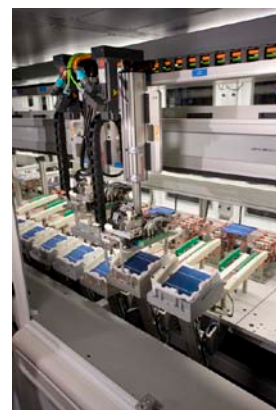
1.6. Produksjonslinjen

Tronrud Engineering har utviklet deler av produksjonslinjen til bruk i foredlingen av waferer til solceller. Nyskårne waferer blir pakket og sendt i standard isoporesker, de inneholder 200 waferer av en ulik grad av kvalitet egnet til solcelleproduksjon. Waferene kan ha sprekker, ujevnheter, urenheter og andre defekter som påvirker kvaliteten på de ferdige solcellene.

Waferene blir da sortert etter kvalitet for å kunne bestemme hvilke waferer som skal i hvilket produkt. TEs maskiner analyserer og sorterer disse waferene etter ulik kvalitet, for å oppnå konsistente partier på waferene. De kan bli sortert etter opptil 27 forskjellige klassifiseringer avhengig av deres egenskaper. Egenskaper som blir analysert er, tykkelse, materialdefekter og resistans[4].

Waferene skal gjennom mange ulike prosesser før de blir ferdige celler, etsning, doping, og andre kjemiske bad. For at resultatet av disse prosessene skal være så lik som mulig, er det viktig å ha parti av waferer med samme egenskaper.

Når waferene har vært igjennom de ulike prosessene som fører til at de har blitt til solceller, går cellene gjennom sorteringsprosessen igjen. Dette sørger for at solcellene blir klassifisert med hensyn til sitt potensial til å konvertere lys om til elektrisk strøm. For å sikre at solcellepaneler leverer i henhold til spesifikasjonene, er det viktig at de cellene som blir satt sammen til paneler, har de nødvendige egenskaper som kreves [5].



Figur 2, Venstre. Oppsamling av waferer etter sortering. Høyre. Sortering av celler.

2. Bakgrunn

2.1. Prosjektgruppa

Bachelor utdanningen ved Høgskolen i Buskerud for ingeniørstudentene, avsluttes med en hovedoppgave som strekker seg over tredje og siste året. Oppgaven teller tjue poeng og løses i grupper på tvers av de ulike ingeniørlinjene. Denne gruppen er satt sammen av 6 studenter, hvor fem går produktutvikling og en går mekatronikk. Navnet på gruppen er *TOPVALG Engineering - "Accurate Handling"*.

2.2. Visjon for prosjektet, januar 2010

I solcelleindustrien er silisium en essensiell ingrediens. Silisium i blokker blir kuttet i tynne plater og pakket i isoporesker. Silisiumplatene blir kalt wafere, og er et svært sentralt produkt i oppgaven. Waferplatene er på 156x156mm, og med en tykkelse på 0.16mm. Disse gjennomgår en rekke prosesser, hvor de bl.a. får den karakteristiske blåfargen og et sett med elektriske ledere på seg før de er ferdige solceller. Solcellene sendes deretter til modulproduksjon, hvor cellene settes inn i rammer og kobles sammen til moduler. Ferdig produkt er da solcellepaneler.

Per i dag er det ingen god, kommersiell løsning/system på innlasting av waferplatene fra isoporesken, til transportbånd/cellelinje. Denne prosessen kalles tørssingulering av wafere. Hovedutfordringen i dette er at platene er veldig skjøre. Det skal lite til før de knuses eller får overflateskader. Kostprisen på waferene er varierende, men ca. 30 NOK pr. stk. før de blir videre behandlet, så for å gjøre produksjonen kostnadseffektiv er en lav brekkasjeprosent viktig. Ferdige solceller har en høyere kostpris enn halvfabrikat wafere.

Tronrud Engineering og HiBu har godkjent standardkontrakten for gjennomføring av hovedoppgave. Vår oppgave blir altså å komme opp med en automatisert løsning på å få platene ut fra bunken, en og en, og opp på transportbåndet. Løsningen skal fungere både på waferplatene og på ferdige solceller. Utfordringene er å plukke kun en plate om gangen, siden disse er tynne og lette, og ofte henger sammen. Samtidig må platene behandles svært forsiktig for å unngå brudd og riper. Det vil være krav om hastighet på prosessen og på hvor nøyaktig platene blir lagt på samlebandet. Vårt mål er å komme så langt som å lage en fungerende prototype i løpet av prosjektet. Tronrud har gitt oss utfordringen uten for mye føringer, da de er interesserte i å se hva gruppa kan få fram på egenhånd. De konkrete kravene til produktet er spesifisert i kravspesifikasjonen.

For den administrative delen av oppgaven har vi skaffet oss et godt prosjektverktøy. Dette heter ProjectPlace, og inneholder det meste av nødvendige verktøy for dokumenthåndtering, tidsplanlegging og kommunikasjonsmuligheter. ProjectPlace er en bedrift med tilhørighet til Kongsberg, og gruppa vår har fått tilgang til dette nettbaserte verktøyet gjennom prosjektperioden. Prosjektet vårt blir, gjennom ProjectPlace, tilgjengelig for alle veiledere og andre interessenter. Prosjektet vil også bli presentert på en standard internettside, som vil være åpen for alle.

Fremgangsprosessen i prosjektet er enda ikke bestemt(anno januar 2010), ettersom vi i løpet av de neste ukene skal ha en repetisjonsforelesning i Systems Engineering, med Jamal Safi. Vi har dog satt i gang en kreativ prosess, der vi hver for oss prøver å komme opp med ideer, uten å påvirke hverandre.

2.3. Omfang og rammer

Direkte oversatt i timer tilsvarer dette 500 timer per mann, og omtrent 3000 timer til sammen. I tillegg skal det brukes nesten 150 timer per person i dokumentering ut over det som er vanlig i et prosjekt i industrien. Dette gjøres for at sensorer og veiledere skal ha et bedre grunnlag til sette karakter på prosjektet.

Prosjektet veiledes av Jamal Safi, høgskolelektor ved ATEK, HiBu, og Morten Nordengen, Project Manager ved Tronrud Engineering A/S, begge veiledere er også sensorer for prosjektet. Intern sensor er Olaf Hallan Graven, stipendiat ved ATEK.

Oppgaven kan deles opp i flere deler, der en del er den fysiske innretningen som vi har fått i oppdrag å lage, en annen del er planleggingen av prosjektet og dokumenteringen av den. Avslutningsvis skal det foreligge skriftlig dokumentasjon, som består av analyse-, design- og evalueringsskildring. Det skal til slutt holdes en lengre presentasjon av gruppa for sensorene og eventuelle andre interessenter.

Mesteparten av arbeidet med prosjektet kommer til å foregå ved HiBu sine lokaler i Kongsberg, og en mindre del ved TE sine lokaler på Eggemoen, Hønefoss.

2.3.1. Budsjet

Siden vi ikke har fått noen kostnadsrammer på selve konstruksjonen som skal lages har vi kun et administrativt kostnadsbudsjet. Utgifter til produksjon av prototype dekkes av Tronrud Engineering.

Budsjett	Antall	Enhet	Pris i NOK	Total pris i NOK
Administrative kostnader				
Domene og web server	1	stk	300	300
Printing av hovedrapport	10		200	2000
Kjøring	3000	km	1,5	4500
Kontormateriell	1		600	600
Plakat	1		1000	1000
Sum				8400

Figur 3, Versjon 0.4 av administrativt budsjett

3. Organisering

Oppdragsgiver: Tronrud Engineering AS

Flyplassveien 22, Eggemoen
N - 3514 Hønefoss
Norway

Prosjektleder: Gunbjørn Kjernaas

Ekstern kontaktperson. Har ansvar for at prosjektets mål nåes ved bruk av kunnskap, ressurser, evner, verktøy og teknikker.

Prosjektansvarlig: Viggo Røneid

Har ansvar for interne møter i gruppen, og fremdriften til prosjektet.

Designansvarlig: Tor Olav Sviggum

Har ansvaret for design av komponenter til prototypen, samt bestilling av komponenter til denne.

Dokumentansvarlig: Per Sveinung Norendal

Har det overordnede ansvaret for all dokumenthåndtering, arkivering og holder oversikt på at dokumentering og at timerapportering er à jour.

Økonomiansvarlig: Viggo Røneid

Har ansvaret for å føre et oversiktlig regnskap over midlene som er tilgjengelige samt sørge for at budsjettet holdes.

Web og designansvarlig: Andreas Budak

Drifter www.topvalg.com. Har ansvar for å utvikle og oppdatere websiden.

Kontaktperson for ProjectPlace: Lars Rimmereid

Har ansvar for support og opplæring på ProjectPlace.

Intern sensor: Olaf Hallan Graven

Stipendiat ved ATEK, HiBu Kongsberg

Intern veileder og sensor: Jamal Saf,

Høgskolelektor ved ATEK, HiBu Kongsberg

Ekstern sensor: Morten Nordengen

Project Manager, Tronrud Engineering, Hønefoss

4. Milepæler, beslutningspunkter og oppfølging

Milepæler og beslutningspunkt i kronologiske rekkefølge.

4.1. Første presentasjon – 1. Milepæl

Presentasjon av TV. Fremdriften av prosjektet frem til presentasjonen og videre arbeid.

4.2. Valg av design – 1. Beslutningspunkt

Dette skal skje i uke 3. Til grunnlag for valget skal det foreligge dokumentasjon. Denne dokumentasjonen skal beskrive fordeler med valgt design. Det skal følge med en grov skisse som viser produktet. Samt et funksjons flyt diagram som beskriver de enkelte funksjonene som den valgte løsningen skal utføre. Dokumentasjonen skal også beskrive eventuelle utfordringer TOPVALG ser for seg med dette designet.

4.3. Designet – 2. Beslutningspunkt

Design av prototypen ble delt i to biter, der den ene var design av testrammen. Den andre delen var design av singuleringsenheten. Når designet av testrammen var ferdig (25.02.2010) og resultatet ble sammenlignet med TEs testramme, vedtok gruppen å ta i mot TEs testramme. Siden gruppen valgte å ta i mot testrammen, ble fokuset skiftet til å designe singuleringsenheten med sine komponenter, braketter og innfestinger. Denne fasen antas å være ferdig før andre presentasjon (26.03.2010). Innkjøpsliste til komponenter, ferdige 3d-tegninger og arbeidstegninger for maskinering av braketter antas å oversendes TE i løpet av uke 11.

4.4. Andre fremføring – 2. Milepæl

Denne fremføringen skal skje mellom 12. mars og 13. april. Dette er kravet til HiBu. TOPVALG ser for seg å ta denne fremføring i uke 11, altså mellom 15. og 19. mars. Denne fremføringen skal være orientering for veiledere og sensorer om fremgangen i prosjektet. Punkter som skal tas opp er status for prosjektet pr dags dato. Samt en beskrivelse hvordan prosjektet skal gå videre.

4.5. Hovedpresentasjon – 3. Milepæl

Denne presentasjonen skal skje i tidsrommet mellom starten på siste uka i mai og slutten på andre uka i juni. Som andre fremføring er dette en fremføring for TOPVALG sine veiledere og sensorer. Denne fremføringen skal være oppdelt i to deler, en salgs- og en teknisk del. Salgsdelen skal inneholde beskrivelse av

systemet og dens funksjoner som er forståelig av personer uten særlig tekniske kunnskaper. Den tekniske delen skal være en mer detaljert beskrivelse av systemet.

5. Kritiske suksessfaktorer for prosjektet

5.1. Tronrud Engineering A/S

5.1.1. Godkjenning av design

Suksessfaktor

En kritisk suksessfaktor er å få godkjent designet av løsningen gruppa har valgt. For å få TE til å sette sammen og/eller fabrikkere systemet/innretningen, må løsningen gruppa har bestemt seg for først godkjennes. Det er derfor helt essensielt at TE har gitt klarsignal for løsningen av systemet før noen beslutning er endelig. Det er derfor en vesentlig del av prosjektet at vi faktisk løser eller bidrar til å løse problemet til oppdragsgiver.

Når gruppa trenger komponenter til å gjennomføre ulike tester og sette sammen prototyper, er vi økonomisk avhengig av TE som finansiell sponsor. Gruppa har ikke en budsjettpost som kan dekke dette og vi må derfor bestille alle deler gjennom TE.

Tiltak for å redusere risiko

For å redusere risikoen for ikke å få godkjent designet skal gruppa bruke all den kunnskap medlemmene har tilegnet seg gjennom de årene de har studert på HiBu. Praktiske modeller som de har fått innføring i gjennom fagene System Engineering 1 og 2 og System Design 2 blir spesielt viktige.

5.1.2. Arbeidsgiver trekker seg

Suksessfaktor

TE og deres kunde fortsetter å eksistere og ikke trekker seg fra samarbeidet.

Tiltak for å redusere risiko

Det er tynge finansielle tider, og risikoen for at dette kan ramme TE eller REC er tilstede. TE var en av 17 bedrifter som høsten 2009 havnet på gasselisten til Dagens Næringsliv.

Kriteriene for å komme på denne listen er:

- Levert godkjent årsregnskap
- Minst doblet omsetning over fire år
- Omsetning på over 1 million kroner første år
- Positivt samlet driftsresultat
- Unngått negativ vekst
- Vært aksjeselskap

Vi ser derfor på risikoen for at TE skal gå konkurs som liten. Det kan også hende at TE trekker seg på annet grunnlag. Grappa anser denne risikoen som svært lav. Grappa vil uansett prøve å opptre så profesjonelt som mulig. Samt gjøre et arbeid slik at TE ser på grappa som en ressurs som de ikke ønsker å miste.

5.2. Samarbeid

5.2.1. Veiledere

Suksessfaktor

Grappa har to veiledere som gjerne har ulike synspunkter med hensyn til de ulike beslutningene og veivalgene som skal tas. Det kan derfor være vanskelig å holde begge veilederne fornøyde. Det er også viktig å ha et godt forhold til begge veilederne for å få best utbytte av den veiledninga grappa får.

Tiltak for å redusere risiko

Det finnes alltid en risiko for at samarbeid mellom forskjellige parter kan havarere. Selv om grappa ikke anser denne risikoen for at dette skjer for veldig høy, må den likevel jobbe for at dette forholdet holder seg godt. Et tiltak er å sørge for at all informasjon som utveksles er så entydig som mulig. Slik at alle parter har en felles forståelse av som skjer.

5.2.2. Samarbeid mellom gruppemedlemmene

Suksessfaktor

Store deler av arbeidet blir gjort gjennom samarbeid mellom gruppemedlemmene. Det er derfor viktig at vi har en felles forståelse av hvordan man opptrer i gruppa. Slik at konflikter ikke oppstår og at gruppa ikke blir splittet som et resultat av dette. En gruppe fungerer best når alle drar i samme retning. En gruppe som ikke drar i samme retning kan gi eksterne personer et negativt bilde av gruppa som helhet.

Tiltak for å redusere risiko

Risikoen for konflikter er alltid til stede, det er derfor viktig å redusere sannsynligheten for at slike konflikter oppstår. Gruppa har laget et dokument med kjøreregler for gruppa. Disse reglene skal gi medlemmene en felles plattform å jobbe ut i fra. I tillegg er det laget et styringsdokument som alle medlemmene skal forholde seg til. Dette skal redusere sannsynligheten for at gruppa skal gi et rotete og negativt bilde til eksterne aktører.

5.2.3. Tidsfrister

Suksessfaktor

Som ethvert annet prosjekt har vi leveringsfrister som er planlagt ut i fra arbeidsplanen. I tillegg har gruppa interne frister som må holdes for at prosjektet skal kunne ferdigstilles. Gruppa har påtatt seg å levere et utviklingsprosjekt til TE etter HiBu sine retningslinjer. Innenfor disse retningslinjene må gruppa levere fullstendig dokumentasjon innenfor de spesifiserte tidsfristene.

Tiltak for å redusere risiko

Risikoen for at man får problemer med å holde tidsfrister anses for å være relativ høy. Gruppa har bestemt å ha ukentlige rapporteringer av fremdriften. Dette vil være et uformelt møte hver onsdag kl. 09.00. Dette vil gi muligheter til å ta tak i arbeidsoppgaver som ikke har ønsket fremdrift på et tidlig tidspunkt.

5.2.4. ProjectPlace

Suksessfaktor

Gruppa har fått tilgang til og besluttet å bruke det internettbaserte prosjektverktøyet ProjectPlace. Dette verktøyet gir tilgang til alle gruppemedlemmene til å holde styr på møtevirksomhet, dokumenter, fremdrift og arbeidsplaner. Veiledere og sensor har

også lesetilgang til dette verktøyet. For at dette skal fungere på en skikkelig måte er det viktig at gruppa har orden i ProjectPlace.

Tiltak for å redusere risiko

Risikoen for at det kan oppstå problemer med ordenen i ProjectPlace er ansett som høy. Gruppa har derfor utnevnt Lars Rimmereid som ansvarlig person for ProjectPlace. Det er i tillegg lagd en del føringer for bruken av verktøyet, disse ligger under styringsdokumentet. Dette dokumentet ligger allerede på ProjectPlace. Hvis det skulle oppstå usikkerhet om bruken skal dette tas opp i plenum i gruppa, og eventuelt nye retningslinjer skal legges inn i styringsdokumentet. I tillegg skal veilederne og sensorene få en kort innføring i verktøyet under den første presentasjonen.

5.2.5. Uforutsette endringer underveis

Suksessfaktor

Endringer underveis kan ha stor betydning for om prosjektet blir vellykket. Endringene kan påvirkes av oppdragsgiver, veiledere eller at rammene forandres. Kravene kan endres underveis som prosjektet går fremover, det kan komme av at oppdragsgiver ikke har de samme behovene eller ønskene. Veiledere og gruppa kan også komme til å endre kravene, dersom ressursene ikke strekker til, eller om det er overskudd.

Tidsrammene kan endres dersom det er behov, dette har igjen sammenheng med kravene. Sykdom og andre eksterne faktorer som ikke vi har kontroll over, kan i verste fall påvirke prosjektets ressurser i stor grad. Dette vil da føre til endringer i ressursfordelingen.

Tiltak for å redusere risiko

Risikoen for at endringer kommer er relativ høy. Gruppa har derfor tatt høyde for at mindre endringer kan finne sted med tanke på resursfordelingen. I tillegg har gruppa fremdriftsmøter hver onsdag kl. 09.00, her kan eventuelle utfordringer bli tatt opp slik at gruppa som enhet kan finne gode løsninger på endringene.

6. Kvalitetssikring

6.1. Dialog

Sørge for å holde en opprettholde en sunn dialog gruppemedlemmene seg i mellom og at eventuelle problemer som oppstår tas hånd om. Dette løses enklest ved at gruppa har ukentlige statusmøter og at gruppeleder kan fungere som megler mellom gruppemedlemmene. Gruppeleder tar også av seg kommunikasjonen mellom sensorer, veiledere og gruppen, dette for å hindre at det blir dobbelt kommunikasjon og for å unngå rot.

6.2. ProjectPlace

ProjectPlace er et velrenommert selskap med store eksisterende kunder og ekstremt lite nedetid å vise til, så vi kan med god sikkerhet si at informasjonen våres er trygg. De har også gode systemer for backup.

6.2.1. TE

Samarbeidet med oppdragsgiver er avhengig av en sunn dialog, og at vi i størst mulig grad prøver å etterkomme deres ønsker, samtidig som det tas hensyn til veiledere ved HiBu. Dette er en utfordring som i stor grad hviler på prosjektleder siden han har hovedkontakten med TE, samt gruppens evne til å inngå kompromisser og handle diplomatisk.

6.2.2. Tidsfrister og dokumentasjon

For å holde tidsfrister gitt av oppdragsgiver og HiBu, bruker vi prosjektverktøyet og dokumenthåndteringsverktøyet som er innebygd i ProjectPlace, der får alle deltakere full oversikt over fremgangen, og prosessen blir forenklet ved at det er lettere å samarbeide på dokumentene.

6.2.3. Endringer underveis

Endringer underveis kan være ødeleggende for prosjektet. Vi må derfor i aller største grad ha en omfattende planlegging for å minimalisere de negative innvirkningene som endringene kan ha for prosjektet. Ved å bruke nok tid og ressurser i planleggingsfasen kan vi sørge for at gruppa er godt forberedt og konseptet som vi har valgt kan la seg gjennomføre.

6.2.4. Administrasjon

Økonomi

Det vil bli utarbeidet et foreløpig budsjett for den administrative delen av prosjektet, og et budsjett for prototypen når valget av design er gjort. Det føres kontinuerlig inn utgifter i regnskapet for prosjektet.

Dokumentasjon

For alle deler av prosjektet, vil fremdrift og resultater bli dokumentert gjennom jevnlig oppfølgingsmøter, timerapportering og spesifisering av gjennomført arbeid.

ProjectPlace

Vedlikehold og bruk av ProjectPlace.

Hjemmeside

Oppdateringer og vedlikehold er en kontinuerlig prosess igjennom dette prosjektet.

6.2.5. Bakgrunns research

Solcelleteknologien

Et gruppelem skulle sette seg inn i hvordan solcelleteknologien fungerer, for så å lage en presentasjon for resten av gruppa og eventuelt intern veileder. Dette skal gjøres for at gruppa som enhet skal få grunnleggende bakgrunnskunnskap om denne teknologien.

6.2.6. Utvikle løsning

Arbeid med forskjellige design alternativer

For å komme frem til best mulig resultat, vil det jobbes frem flere alternativer til design, for å sortere ut den løsningen som vil fungere best for problemstillingen. Dette vil bli gjort ved hjelp av bl.a. CAFCR modellen. Valget av endelig design vil bli gjort i samarbeid med TE.

Testing av konsepter

Gruppa skal kjøre noen forskjellige funksjonelle tester, dette skal hjelpe gruppa med å velge design. Gruppa skal teste forskjellige løftealternativer og måter å skille platene fra hverandre på.

Designe løsningen

Når det endelig design alternativ er valgt. Skal dette designet fullføres. Her skal vi bruke blant annet FMEA modellen som hjelpemiddel, samt andre modeller som vi har lært om gjennom fagene System Engineering 1 og 2 og system design 2. Her skal det lages fulldefinerte 3D tegninger, og kode og kretstegninger til styringssystemet. Dette designet skal godkjennes av TE. Hvis det blir godkjent kan vi gå videre med å produsere en prototype, hvis ikke skal vi assistere TE med deres design.

6.3. Forberedelse til endelig presentasjonen

Alle veiledere og sensorer skal kalles inn til presentasjonen. All dokumentasjon skal samles og klargjøres for veiledere og sensorer. En perm skal lages til intern sensor med disse dokumentene. Det skal også legges ved en CD i permen, som inneholder all produsert dokumentasjon.

6.3.1. Bygge og teste prototype

Bygge prototype

Når endelig design er ferdig vil vi i samarbeid med TE bestille og produsere nødvendige deler. Prototypen skal sammenstilles og testes med hensyn til den aktuelle kravspesifikasjonen. Hvis det er mulig, skal også prototype demonstreres i hovedpresentasjonen.

Testing av prototype

Prototypen skal testes for å se om den oppfyller de krav vi har satt til produktet i kravspesifikasjonen og den tilhørende testspesifikasjonen.

6.3.2. Ferdigstilling til endelig innlevering

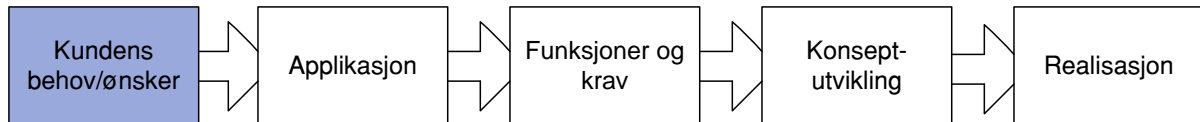
Dokumentasjonen skal samles i perm. Det skal lages en plakat som skal inneholder informasjon om gruppemedlemmene og produktet. Samt skal det eventuelt ferdige produktet klargjøres for hovedpresentasjonen. Det er et krav til oppgaven at den skal inneholde disse elementene. Siste frist for innlevering 31. mai.

6.3.3. Forberedelser til tredje presentasjonen

HiBu tildeler gruppa presentasjonstidspunkt. Det er gruppa sitt ansvar å tilkalle interne og eksterne veiledere og sensorer. Gruppa skal lage en presentasjon som er oppdelt i to deler den ene skal være salgspresentasjon. Her skal produktet forklares, som om det skulle vært potensielle kjøpere i salen.

Den andre delen skal være en teknisk presentasjon. Her skal produktet beskrives med mer teknisk terminologi enn salgsdelen, i tillegg skal produktutviklingsprosessen beskrives og analyseres. Hver av disse delene skal være på ca. 20 minutter. Arbeidet her vil gå på å klargjøre materialet og øve på presentasjonen.

7. Kundens behov



Figur 4, CAFCR-modellen, kundens behov er fremtredende

7.1. Innledning

Studentgruppen TV sitt ønske var å finne en oppgave som ble godkjent av HiBu. Oppgaven måtte da være klart definert, gjennomførbar og innenfor studentenes fagområde. Studentene hadde ønske om at oppgaven skulle gi dem muligheten til utvikle seg, oppnå en god karakter, og om mulig få en virkelighetssjekk ved å prøve sine fagkunnskaper opp mot en profesjonell oppdragsgiver.

Skolen stilte med sensor og veileder, som hadde definerte ansvarsoppgaver ut i fra prosjekthåndboken. Dette var en prosjekthåndbok som sensor ved HiBu hadde utviklet. Skolens krav til hovedoppgaven var at studentene hadde en oppgave det var mulig å bedømme, og at oppgavens dokumentasjon skulle være til skolens disposisjon etter avslutning.

Oppdragsgiver ville ha krav til et sluttprodukt og ønsket dokumentasjon. Dette gjorde at oppdragsgiver var kunden i fokus for hovedoppgaven. Samtidig ble det stilt krav til oppdragsgiver å stille med sensor og veileder for studentgruppen.

TV har gjennom flere møter og annen kommunikasjon med oppdragsgiver, fått en forståelse av deres ønsker og behov. Det er også benyttet CAFCR som et hjelpemiddel til å forstå kunden [6]. Dette arbeidet har resultert i en kravspesifikasjon. I denne spesifisjonen kommer kundens behov tydelig fram og det er dermed enkelt å prioritere de riktige funksjoner som må til får å løse de utfordringer og krav kunden har.

Den største utfordringen for gruppa er å komme med en fungerende løsning på singuleringen. Singuleringsprosessen skal være fullt automatisert, skånsom mot waferene og stabil, altså den skal kunne gjentas over en lengre tidsperiode med samme resultat hver gang. Et system som håndterer brekkasje av waferer og syklustiden til prosessen kommer i andre rekke.

TV ønsker å lage en fungerende prototype som kan brukes til testing og kan muligens etter hvert settes i produksjon. Dette er selvfølgelig avhengig av en vellykket test. Omfanget av testen er beskrevet i testspesifikasjonsdokumentet.

7.2. Kundeorientert design

Møte kundebehovene for produkter i en industri som stadig er i endring, gjennom skreddersydde løsninger for kunden. Oppdragsgiver har gjerne et spesielt behov som må dekkes, og ved å utvikle et såkalt "fit for purpose" produkt, kan dette behovet dekkes.

Hovedmålet for kundeorientert design er å utvikle løsninger, innenfor de gitte rammer, der produktet holder en høy grad av kvalitet og utøver stor effektivitet, samtidig som det er tilpasset kundens behov. Resultatet av en vellykket leveranse fra utvikler, vil stort sett resultere i en høy grad av kundetilfredsstillelse. Graden av tilfredsstillelse hos kunden avhenger svært ofte av deres forventninger, da både objektive og subjektive meninger om produktet, prosjektgruppen sin fremgangsmetode, demonstrasjoner og hvordan produktet opererer under anvendelse.

7.2.1. Kundeforventningene

Et produkt som er tilpasset kundens behov og som utfører de funksjoner under de betingelser av krav som er gitt. Produktet burde også inneha kvaliteter som ikke oversettes direkte til funksjoner, men også anvendelighet, driftssikkerhet, vedlikehold og kvalitet.

Dersom produktet som skal utvikles er tilpasset kunden, burde i aller høyeste grad forventningene kartlegges og bearbeides, og sette klare skiller mellom objektive og subjektive forventninger. Begge de to ulike typene av forventninger burde tas hensyn til, men det viktigste blir målbare resultater gjennom objektive analyser og tester.

7.2.2. Kommunikasjon med oppdragsgiver

Ved å ha et tett samarbeid med kunden, gjennom møter, presentasjoner og andre kommunikasjonskanaler, er det mulig å ha en kontinuerlig dialog som belyser kundes ønsker gjennom hele prosjektperioden. Nøkkelpunkter for utvikler blir da å søke "confidence in quality" hos kunden, eller bedre; hvordan oppfattes kvaliteten til produktet og løsningene hos utvikler, sett fra kundens øyne.

7.2.3. Forståelse og lagarbeid

En felles forståelse mellom kunde og utvikler av produktet, gjennom en kontinuerlig dialog og samarbeidsprosess, som leder til entydig forståelse av behovene og kravene.

Kunde og utviklere jobber sammen som et lag, basert på gjensidig tillit og respekt, mot utviklingen av produktet, basert på effektiv kommunikasjon, beslutningsfatting og handling.

7.2.4. Kvalitetssikring og tilpassningsdyktighet

Produktet møter de forventede krav om kvalitet, beskrevet i kravspesifikasjon og leverer resultater med en høy grad av repeterbarhet. Dersom oppfatningen av behovene fra kunden forandres, burde prosjektgruppen være i stand til å omstille seg, etter de nye behovene og påfølgende kravene.

8. Oppgaven

8.1. Innledning

Oppgaven kan kort oppsummeres ved at gruppen skulle utvikle en løsning for å hente en og en wafere, eller solceller, ut av en standardisert isoporeske og frakte de bort på et transportbånd. Løsningen skulle presenteres med en prototype og nødvendig dokumentasjon.

Hvis man ser oppgaven i et større perspektiv, kan man si at lykkes TV med denne oppgaven, vil det ha innflytelse på hvor mye et solcellepanel vil koste i fremtiden. Et system som sørger for vellykket singulering, vil bety lavere produksjonskostnader for et av de viktigste produktene for morgendagens miljøvennlige energi.

8.2. Tidligere arbeid

Forskning på metoder for skånsom håndtering av wafere har blitt gjort siden deres opprinnelse. Det ble tidlig brukt luft som hjelpemiddel ved håndtering av wafere, siden luften fordeler kraften på en større kontaktflate, og dermed skaper mindre stress. Luft som hjelpemiddel til håndtering av wafere gir lite direkte kontakt med platene og dermed minimalt med overflateforurensning på waferene. I 1993, designet Tokisue og Inoue [7] flere ikke-kontakt enheter, blant annet en luftputebane, Bernoullie gripper og løft/skilling med hjelp av statisk elektrisitet. Siden wafer tykkelsen stadig har minket har den automatiserte behandlingen av wafere blitt mer utfordrende. Bruk av vakuum har til nå vært den vanligste måten å løse dette på. Sofistikerte løsninger som "electrostatic chucks" og "bonding method" blir sett på som for dyre løsninger for å kunne rettferdiggjøres til bruk i solcelleindustrien[8].

8.3. Problemstilling

8.3.1. Silisiumwafere og celler

Wafere er skåret ut av en massiv silisiumblokk og pakket 200 stykker i isoporesker. Platene det skal jobbes med i oppgaven er 156x156x0,16 millimeter. Tykkelsen på waferen vil solcelleindustrien ha tynnast mulig fordi det gir flere wafere per silisium blokk og cellestrømeffektiviteten blir bedre, dermed mer energi per kilo silisium. Problemet er at tynne wafere byr på utfordringer når de skal håndteres, silisium er et sprøtt materiale og har lett for å knekke. Erfaringer viser at tynnere wafere gir høyere prosentvis brekkasje. Det er derfor essensielt å ha en god metode for å håndtere tynne wafere, slik at minst mulige mekaniske krefter blir påført. Behandlingen av wafere skal skje så effektivt som mulig uten brekkasje, slik at solcellen kan produseres så lønnsomt som mulig [8].

Samtidig har platene lett for å henge sammen, når de løftes ut av bunken. Hovedfokuset på oppgaven er å finne et konsept for singulering som fungerer.

8.3.2. Tronrud Engineering

Opgaven er klart definert, men det er i utgangspunktet stilt lite føringer til hvordan TV kommer frem til resultatet. Tronrud begrunner dette med at det forhåpentligvis vil gjøre gruppas løsning mindre farget av deres. Samtidig vil TE være med på viktige beslutninger, som en del av deres jobb som veileder.

For oppdragsgiver er utfordringen med singulering av wafere og celler et reelt problem. TE har jobbet med løsninger før det ble aktuelt å la en studentgruppe prøve seg, og vil fortsette å arbeide parallelt med studentgruppen om å finne en løsning på problemet.

Deres ønske ved å gi en slik utfordring til en studentgruppe, kunne være å få forslag på ideer og kreative løsninger. Studenter har som regel mindre praktisk erfaring, og vil derfor ikke ha samme synspunktene som oppdragsgiver, samtidig er de ikke låst fast i gamle metoder

For å tilfredsstillere oppdragsgiver burde derfor TV utvikle en løsning for singuleringen, som sikrer en høy grad av repeterbarhet og gir kvalitet gjennom levetiden til systemet.

8.3.3. Singulering, separasjon og løft

I vårt prosjekt blir betegnelsen singulering brukt om; det å separere to silisiumplater fra hverandre, og deretter løfte en av de to fraskilte platene bort fra den andre. Resultatet av en vellykket singulering er to intakte silisiumwafere, hvorav en av de to er tilgjengelig for transport. Singuleringsprosessen utføres trinnvis og resultatet som skal oppnås er at samtlige wafere i en stakk, skal kunne transporteres videre uten at singuleringsprosessen forringer kvaliteten til waferene.

8.3.4. Prototype

Det var et ønske fra TV at løsningen på oppgaven skulle inkludere en fungerende prototype, som egnet seg til testing av singuleringsprinsippet, samtidig som den med mindre ombygginger kunne passe inn i produksjonslinjen.

8.3.5. Styrkeberegninger

Det var et ønske fra oppdragsgiver at en del av oppgaven skulle være å gjennomføre styrkeberegninger på bakgrunn av de mekaniske egenskaper til waferene, samt gjøre forsøk for å finne ekstremalverdier for påkjenningen som waferene kunne påføres. Dette skulle brukes for å sammenligne beregnet stress med de påførte kreftene fra singuleringssystemet, og bestemme ut i fra resultatene hvilken sikkerhetsmargin prototypen jobber innenfor.



Figur 5, Multikrystallinske celler i standard isoporeske

8.3.6. Kostnader

Gruppen har kun hatt budsjett på administrative utgifter. Disse kostnadene blir dekket av TV. Kostnader til utvikling av prototypen er ikke begrenset ut i fra kravspesifikasjon, andre kostnader og utgifter til innkjøp av komponenter og utstyr, skulle bli godkjent og dekket av TE etter hvert som behovene meldte seg. De faktiske kjørekostnader skal også dekket av TE.

8.3.7. Brekkasje

Siden multikrystallinske wafere og solceller er meget skjøre, og sprekkvekst oppstår lett, var brekkasje en viktig faktor for gjennomføringen av oppgaven. Ved å utvikle singuleringssystemet med tanke på brekkasje, kunne problemet minimeres. Det var ikke gitt føringer for brekkasjehåndtering fra oppdragsgiver, men ved å designe singuleringssystemet slik at brekkasjen skulle være minst mulig, ble håndteringen av problemet mindre viktig.

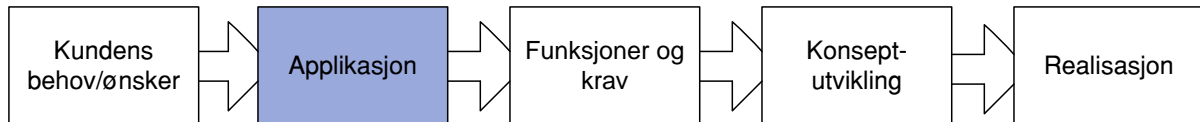
8.3.8. Software

Siden systemet skulle automatiseres, var det også et behov for et elektronisk system som kunne programmeres og dermed samkjøre de ulike enhetene innad i systemet.

8.3.9. Hovedoppgave HiBu

Fra HiBu var det også krav til dokumentasjon av planlegging og gjennomføring av arbeidet med oppgaven, tre presentasjoner og en avsluttende rapport. Dette arbeidet måtte også planlegges og flettes inn i arbeidet med oppgaven.

9. Forutsetninger



Figur 6, CAFCR-modellen, applikasjon er fremtredende

9.1. Innledning

Ved først å kartlegge kundebehovet, kunne steget gå til å definere hvordan og hvem som skulle benytte systemet. Hovedfokus var rettet mot grensesnittet vårt singuleringssystem skulle knytte seg mot. En annen viktig faktor som ble vurdert, var hvem som skulle benytte systemet, da både systemoperator og hvilken kunde som endte opp med det endelige produktet. Systemet skulle utføre sine funksjoner i et miljø, dette miljøet måtte kartlegges og tas hensyn til under utviklingen. Samlingen av krav og spesifikasjoner som systemet skulle inneha, skulle samles i et eget dokument, som navnesettes kravspesifikasjon.

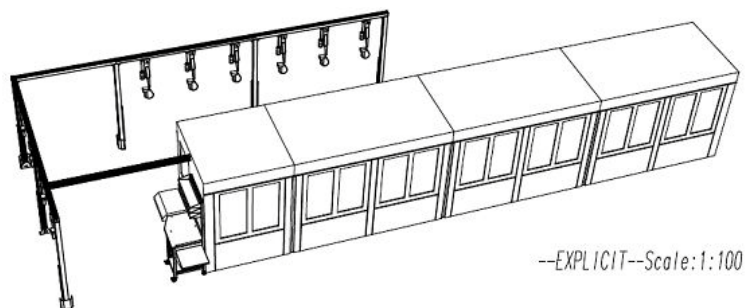
9.2. Grensesnitt

Systemet

TV sin løsning for et singuleringssystem var ment til å implementeres i TE sin sorteringslinje for wafere og celler. Denne sorteringslinjen som TE utvikler for sin oppdragsgiver REC, er en del av et større produksjonsapparat. Grensesnittet mellom vårt system og sorteringslinjen til TE, vil bli transportbåndet, som går gjennom hele sorteringslinjen. Dette vil skje ved at vårt system mater transportbåndet med celler og wafere, i forkant av analysen og sorteringen.

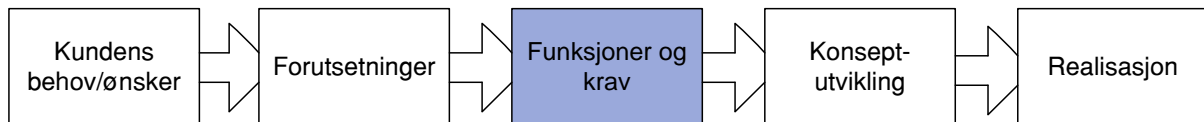
Menneskelig grensesnitt

Systemet skal kunne betjenes av en operator som har kjennskap til lignende utstyr og maskiner. HMI (menneske maskin grensesnitt) må være av en slik art at operatøren skal kunne operere systemet og utføre funksjonelle oppgaver, uten å måtte ha inngående kjennskap til systemet som helhet, eller trenge omfattende opplæring for å betjene systemet via grensesnittet.



Figur 7, Skisse av sorteringslinjen, singuleringssystemet kommer på høyre side

10. Funksjoner og krav



Figur 8, CAFCR-modellen, funksjoner er fremtredende

10.1. Innledning

Når kundebehovene er definerte og begge parter, både kunde og utvikler har samme forståelsen for hvilke behov som må dekkes, kan funksjonsanalysen begynne. Det er viktig å skille mellom operasjonelle og funksjonelle krav. Kravene kunne være gitt fra oppdragsgiver, HiBu eller prosjektgruppen for å få godkjent oppgaven.

Kravene som ble gitt gav retningslinjer for det ferdige singuleringssystemet. Under disse forutsetningene kunne vi analysere hvilke parametere som kunne tolkes som innmating og så hvilket resultat som skulle komme ut.

Ved å segregere systemet opp i enkeltstående enheter ble analysen av kravene enda mer spesifikke, samtidig som forståelsen av problemene forhåpentligvis økte. Hovedtemaet under denne prosessen var å stille spørsmålet; hva er det som skal oppnås?

Hele oppgaven dreide seg om å utvikle en prototype som forhåpentligvis skulle realiseres, derfor måtte kravene være overkommelige for en studentgruppe. Parametrene som la føringer for hvordan funksjonene ble utført, måtte være justerbare for dermed å få en mest mulig konfigurert produkt.

Se for øvrig kravspesifikasjonen.

10.2. Funksjonelle krav

Dette er krav som ble stilt til utførelsen av selve prosessen. Disse kravene gikk spesifikt på hva som skulle gjennomføres og hvilken ytelse funksjonene skulle levere.

Kartlegging av funksjoner og deres hensikt, bringer utviklingen et steg videre i prosessen. Ved å stille krav til funksjonene og hvordan de utføres blir detaljene fremhevet og problemområder kan bli belyst.

10.2.1. Ønskelige funksjoner

Etter møte med TE den 21.01.2010, ble det kartlagt at systemet ønskelig skulle inneha følgende funksjoner og kvaliteter:

- Fullt automatisert
- Enkelt å integrere i transportbåndet
- Skånsom håndtering av wafere
- Separere wafere
- Enkelt vedlikehold
- Samkjøring med eksisterende produksjonslinje.

10.2.2. Tilleggsfunksjoner

- Justerbar hastighet
- Muligheter for å produsere flere eksemplarer
- Brekkasje håndtering

10.2.3. Uønskelige funksjoner

- Størrelsen burde ikke gi problemer med samkjøring av TEs produksjonslinje
- Kostnaden til prototypen burde stå i stil til den funksjonen den skal utføre og ikke overskride det TE er villig til å betale.
- Høye service intervaller, burde legge seg på samme linje som produksjonslinjen for øvrig.
- Lav driftssikkerhet, gjøre vårt ytterste for at prosessen er stabil.

10.3. Avhengige funksjoner

Funksjoner som ikke direkte angår oppgaven, men fremdeles er en nødvendighet for at systemet skal fungere som helhet og kunne testes i henhold til kravspesifikasjonen.

10.3.1. Transportbånd

Ved å innfeste et transportbånd i rammen vil det da emulere grensesnittet som singuleringssystemet har med sorteringslinjen.

10.3.2. Nivåjustering av løft eller stakk

Ved singulering, blir den øverste waferen transportert vekk, og høyden på stakken blir redusert lik tykkelsen til den waferen. For å få et konsistent referansepunkt der singuleringen skulle bli utført i samme posisjon, var det nødvendig å implementere en funksjon som kunne justere høyden på enten waferstakken eller løftet.

10.3.3. Forflytning av wafere / celler til transportbåndet

Etter separasjon av wafere og celler, må de forflyttes bort til transportbåndet, for at singuleringen skal kunne gjentas. I systemet må det da bli subsystem som utfører denne funksjonen.

10.3.4. Oppsamling av ferdigsingulerte wafere

Etter endt singulering vil waferene måtte ha en oppsamlings eske eller rom, siden systemet skal håndtere et stort volum med wafere. Det var nødvendig at denne oppsamlingen, hadde minst like god kapasitet som avleveringen for waferene hadde, for å forhindre at systemet fikk en opphopning av avleverte wafere i enden av transportbåndet.

10.3.5. Automatisert prosess

Prototypen skulle etter mindre ombygginger kunne integreres inn i TE sin sorteringslinje. Denne linjen sorterer wafere med en hastighet på $1,50 \pm 0,25$ sekund per wafer. Systemet som TV skulle utvikle måtte derfor kunne oppnå singulering med hastigheter opp mot sorteringslinjen. Ved disse hastighetene blir manuell styring av systemet meget krevende og utsatt for operatørfeil. En automatisert styring, som samkjørte funksjonene til systemet, ble derfor et mål for løsningen av oppgaven.

10.3.6. Elektrisk system

Singuleringssystemet skulle automatiseres og dermed var det nødvendig med en strømkilde og tilhørende ledningsnett.

10.3.7. Trykkluft

Mange av Tronruds spesialmaskiner benytter trykkluft til å utføre ulike funksjoner innad i systemene. Trykkluft blir også brukt til å håndtere wafere i industrien. Det var derfor meget mulig at TV og kunne benytte trykkluft i sitt system.

10.3.8. Ramme

Nødvendighet for innfesting av komponenter, og utformingen av rammen bestemmes ut i fra hvilke komponenter som inngår i singuleringssystemet. Dette ville bety at transportbåndet som TE har i sitt sorteringssystem skulle etterlignes og kjøres med samme hastighet i singuleringssystemet.

10.4. Operasjonelle krav

Krav som stilles til systemet mens det utfører sine funksjoner kalles operasjonelle krav. Herunder kan vi nevne miljøet systemet opererer under, luftfuktighet, temperatur, støy forårsaket av både systemet og omgivelsene. Under sikkerhet kan det nevnes isolering av strømførende ledninger og skjerming av bevegelige deler. Siden gruppen skulle utvikle en prototype, ville mange av disse kravene falle bort eller ikke tas hensyn til.

10.4.1. Sikkerhet

Systemet skulle ikke være til fare for mennesker som oppholder i nærheten, forutsatt at forsiktighetsregler blir fulgt og at verneutstyr blir brukt. Systemet skulle benytte elektrisk strøm og det måtte derfor ikke være fare for å få støt ved operasjon av systemet.

10.4.2. Syklustid

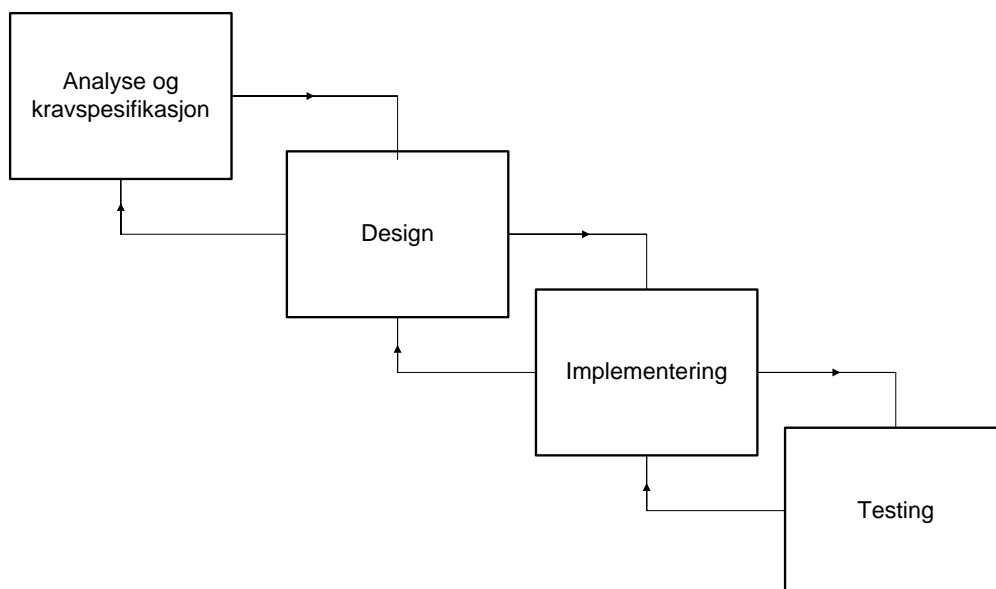
Tiden systemet bruker for å hente ut en wafer/solcelle, til systemet er klart for å hente en ny. Oppdragsgiver mente dette kravet ikke skulle legge føringer for hvordan gruppen valgte løsningen for singulering, siden singuleringssystemet med all sannsynlighet kunne dupliseres, og dermed redusere syklustiden.

11. Arbeidsmetode

For å kunne ha en strukturert plan og arbeidsfordeling skulle prosjektgruppen kontinuerlig bruke vannfallsmodellen. Dette bidrar til at arbeidet blir delt opp i klare faser og hver fase blir avsluttet før den neste ble påbegynt. Dette ble regnet som en enkel modell å følge samtidig som gruppen kunne definere klare milepæler og viktige beslutningspunkter som det var mulig å jobbe mot.

Modellen går ut på grundig å spesifisere og analysere systemet før man starter med design og implementering. En ulempe med modellen er at den kan forsinke arbeidet siden hver fase er avhengig av at forrige fase blir avsluttet, dermed kan det oppstå venting på bakgrunn av dette.

Modellen er også egnet for endringer i tidligere faser underveis gjennom prosjektet, for eksempel er det naturlig og gå tilbake og endre kravene og designet gjennom hele prosessen.



Figur 9, Vannfallsmodellen

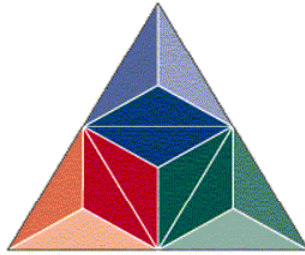
11.1. Andre verktøy

I tillegg til vannfallsmodellen har vi brukt CAFCR modellen samtidig til å fastsette kravspesifikasjon og velge design. Denne modellen vektlegger at man ser etter flere ulike løsninger og finner fordeler og ulemper med disse. Hensikten med dette er å vurdere de ulike løsningene opp mot hverandre og til slutt komme frem til den mest egnede løsningen [9].

Modellen er også et nyttig verktøy når vi fastsetter kravene fra kunden, brukerens og bedriftens behov. Kravene og den valgte modellen blir revurdert flere ganger under prosjektets levetid.

12. Referanser

1. CICERO. *Senter for klimaforskning*. 2010 [cited 2010 26.04]; Available from: <http://www.cicero.uio.no/abc/klimaendringer.aspx>.
2. Ryningen, B., *Formation and growth of crystal defects in directionally solidified multicrystalline silicon for solar cells*. 2008.
3. Lied, F. *Store norske leksikon*. 2009 [cited 2010 26.04]; Available from: <http://snl.no/solcelle>.
4. Hennecke Systems, G. 2010 [cited 2010 26.04]; Available from: <http://www.hennecke-systems.de/products1.html>.
5. Appelbaum, J. and T. Segalov, *Screening solar cells for improved array performance*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 1999. **7**(2): p. 113-128.
6. Müller, G. 2010 [cited 2010 10.05]; Available from: <http://www.gaudisite.nl/>.
7. Tokisue, H. and H. Inoue, *Particulate-contamination-free wafer-handling systems for gas, liquid and vacuum environments used in a 64 Mbyte dynamic random-access memory process*. Wear, 1993. **168**(1-2): p. 115-120.
8. Brun, X.F., *Analysis of Handling Stresses and Breakage of Thin Crystalline Silicon Wafers*, in *Institute of Technology*. 2008, George W. Woodruff School of Mechanical Engineering: Georgia. p. 151.
9. Muller, G., *Architectural Reasoning Explained*, E.S. Institute, Editor. 2010: Eindhoven.



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi

Designdokument	
TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells	
Fag(nr./navn): SFHO3200 – Hovedoppgave med prosjektstyring	
Gruppemedlemmer: Gruppe 2010-3 Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas	
Sensorer: Olaf Hallan Graven Jamal Safi Morten Nordengen	Veiledere: Jamal Safi Morten Nordengen
Dato: 28. mai. 10	

Innholdsfortegnelse

1.	Hjelpemidler	1
1.1.	CAFCR	1
1.1.	ProjectPlace	2
1.2.	Gantt plan.....	2
1.3.	MS Visio	3
1.4.	SolidWorks	3
1.5.	The Taguchi experimental design method	4
2.	Konsepter	5
2.1.	Idémyldringsmøte.....	6
2.2.	Vakuum	6
2.2.1.	Sugekopper	7
2.2.2.	Undertrykk	7
2.3.	Mekanisk klype.....	8
2.4.	Luftpute	9
2.5.	Friksjonshjul	9
2.6.	Diskusjon.....	10
2.7.	Vakuum	10
2.7.1.	Sugekopper	10
2.7.2.	Lavtrykk	11
2.8.	Mekanisk klype.....	12
2.9.	Luftpute	13
2.10.	Friksjonshjul	13
2.11.	Presentasjon	14
2.12.	Videre utvikling.....	14
2.13.	Tostegsløft	14
2.13.1.	Vurdering	15
3.	Diskusjonsmøte med TE.....	16
3.1.	Vakuum	16
3.1.1.	Sugekopper	16
3.1.2.	Lavtrykk	16
3.2.	Mekanisk klype.....	17
3.3.	Luftpute	17
3.4.	Friksjonshjul	17
3.5.	Tostegsløft.....	17
3.6.	Generelt.....	17
3.7.	Konklusjon.....	18
4.	Testing av tostegsløftet	19
4.1.	Test av prinsipp	19
4.1.1.	Bakgrunn	19
4.1.2.	Resultater.....	20
4.1.3.	Konklusjon	20

4.2.	Plassering av dyser	21
4.2.1.	Bakgrunn	21
4.2.2.	Resultater.....	21
4.2.3.	Konklusjon	21
4.3.	Vinkel på isoporeske	21
4.3.1.	Bakgrunn	21
4.3.2.	Resultat og konklusjon	21
4.4.	Test av prinsipp 2	22
4.4.1.	Bakgrunn	22
4.4.2.	Resultat og konklusjon	22
4.5.	Bøyingstest av multikrystalinske wafere.....	23
4.5.1.	Bakgrunn	23
4.5.2.	Resultater og konklusjon	23
4.6.	Transportløsning	24
4.6.1.	Lineær transport	24
4.6.2.	Transportrobot med 3 armer.....	25
4.6.3.	Transport med beltedrift	26
4.6.4.	Diskusjon	27
4.6.5.	Drøfting med TE.....	28
4.6.6.	Konklusjon	28
4.7.	Detaljert løfteenhet - og singuleringsdesign	29
4.8.	Løfteenheten	29
4.8.1.	Løfteenhet med fire luftsylindere	29
4.8.2.	Løfteenhet med stag.....	30
4.8.3.	Løfteenhet med to sugekoppmoduler.....	32
4.8.4.	Drøfting med TE.....	33
4.8.5.	Diskusjon	33
4.8.6.	Konklusjon	33
5.	Realisering.....	34
5.1.	Transportbånd.....	34
5.2.	Nivåjustering av løft eller isoporeske.....	34
5.3.	Realisering av løfteenhet med to stag	36
5.4.	Luft	39
5.4.1.	Luftdyseboks	39
5.4.2.	Trykklufttilførsel.....	40
5.5.	Ramme.....	40
5.5.1.	Drøfting med TE.....	41
5.5.2.	Konklusjon	42
5.6.	Software	42
5.6.1.	PLS	43
5.7.	Sekvensskjema	45
5.8.	Sammenstilling	46
5.9.	Implementering og bygging.....	48
5.10.	Diskusjon.....	49

5.11. Transport.....	50
6. Testing og tuning.....	51
6.1. Modulintegrasjonstest 1 med Taguchi	51
6.1.1. Hensikt.....	51
6.1.2. Konklusjon	51
6.2. Modulintegrasjonstest 2 med Taguchi	51
6.2.1. Hensikt.....	51
6.2.2. Konklusjon	52
6.3. Modulintegrasjonstest 3 med Taguchi	52
6.3.1. Hensikt.....	52
6.3.2. Konklusjon	52
6.4. Fintuning av prototype	52
6.4.1. Hensikt.....	52
6.4.2. Heis 1	53
6.4.3. Heis 2.....	54
6.4.4. Laser	55
6.4.5. Luftdyseblokk	55
6.4.6. Sugekopper	56
6.4.7. Servoakser.....	57
7. Test av Kravspesifikasjon.....	58
7.1. Hensikt	58
7.2. Konklusjon av test med wafere	58
7.3. Konklusjon av test med solceller.....	58
8. Videreutvikling	59
8.1. Innledning.....	59
8.2. Forslag til videreutvikling av robusthet.....	59
8.2.1. Innlastingsheis	59
8.2.2. Laseren	60
8.2.3. Softwaren.....	60
8.2.4. Motoren som kjører heisen	60
8.3. Forbedringer.....	60
8.3.1. Laser	60
8.3.2. Software.....	60
8.3.3. Motoren til heisen	61
8.3.4. Styring av trykk til luftdysen.....	61
8.4. Tuningsforbedringer	61
8.4.1. Høydejustering av høyde på luftdysen.....	61
8.4.2. Trykk i luftdysen.....	62
8.5. Isoporeske.....	62
8.5.1. Ramme til isoporeske	62
8.5.2. Løft/transportbevegelser.....	63
8.6. Forslag til videreutvikling av ferdig design	63
9. Konklusjon.....	64

Figurtabell

Figur 1, Prosjektmodell CAFCR.....	1
Figur 2, ProjectPlace sin Gantt plan	3
Figur 3, CAFCR modellen konseptutvikling er fremtredende	5
Figur 4, Postitlapper med tegninger av alternativer til løsninger fra idémyldringsmøte	6
Figur 5, Illustrasjon som viser sugekopp prinsippet.	7
Figur 6, Illustrasjon som viser konseptet med undertrykk.	8
Figur 7, Illustrasjon som viser konseptet med friskjonshjul.	8
Figur 8, Illustrasjon som viser konseptet med luftpute.	9
Figur 9, Illustrasjon som viser konseptet med friksjonshjul	10
Figur 10, Illustrasjonsserie av hvordan TV så for seg tostegsløftet.	15
Figur 11, Bildet viser Singulering ved hjelp av tostegsløftet. Bilde er tatt fra testen: <i>Konsepttest - Tostegsløft - Test av prinsipp</i>	20
Figur 12, Bildet viser en isoporeske med bunke waferer. Man kan se at de 6 øverste waferne har separert seg. Nederst til venstre kan man se luftdysen som sørger for denne separasjonen. Isoporesken er hevet 6 mm opp fra underlaget i det nærmeste hjørnet.	22
Figur 13, Bildet viser en wafer i bøyningstesten. Waferen er her løftet 33 mm.	23
Figur 14, Illustrerer konseptet med lineær transport.	24
Figur 15, Illustrerer konseptet med transportroboten med tre armer.	25
Figur 16, Illustrerer konseptet med transport med beltedrift.	26
Figur 17, 3D tegning av alternativet: <i>Løfteenhet med fire sylindere</i>	30
Figur 18, 3D tegning av alternativet: <i>Løfteenhet med stag</i>	31
Figur 19, 3D tegning av alternativet: <i>Løfteenhet med to sugekoppmoduler</i>	32
Figur 20, CAFCR-modellen, realisasjon er fremtredende.....	34
Figur 21, Bildet viser standardisoporeske, fra REC. Heisen og palletten er fra TE... 35	35
Figur 22, Illustrasjon av bruk av oppsamlingsheis.....	36
Figur 23, Bildet til venstre viser første utkast til designet av tostegsløftet. Bildet til venstre viser 3D tegningen av tostegsløftet, ved bruk av ny plassering av luftsyndrene.	36
Figur 24, 3D tegning av et forslag til design på tostegsløftet.	37
Figur 25, Bildet viser 3D tegningen av det endelige designet på tostegsløftet.....	38
Figur 26, Illustrasjon av designet på dyseboksen.....	39
Figur 27, Figur 28, Illustrasjon av hvordan TV ønsket de forskjellige komponentene plassert i forhold til hverandre. Den blå boksen illustrerer plasseringen av servoaksen. Den røde boksen illustrerer plasseringen av løfteenheten. Den grønne boksen illustrerer plassering av heisen. Den gule boksen illustrerer plassering av transportbåndet.....	40
Figur 29, 1. Bildet viser en 3D tegning av rammen som TV utviklet.....	41
Figur 30, Grafisk fremstilling av posisjoner for servoakser og heis1	44
Figur 31, Illustrasjon av sekvensforløpet	45

Figur 32, eksempel på en sammenstilling med braketter.....	47
Figur 33, Bildet viser 3D tegningen av monteringsanvisningen til singuleringssystemet til TV.....	48
Figur 34, Henting av prototype hos Tronrud	50
Figur 35, Bilde av heis nr 1 som sørger for at wafere holder seg i konstant høyde under opplastning.....	53
Figur 36, Oversikt over heisplassering på prototype.....	54
Figur 37, Nærbilde av laser som brukes i kalibreringen av heisen.	55
Figur 38, Bilde av dyseblokk med alle dysehull åpne. Den røde prikken er laseren.	56
Figur 39, Høyhastighetskamera som ble brukt til den mest detaljerte og presise finstyring.....	57

Tabelliste

Tabell 1, Forenklet versjon av sekvensskjema, sekvens til venstre og funksjon til høyre.....	44
---	----

Sammendrag

Etter å ha analysert oppgaven fra TE og jobbet frem en gruppe- og arbeidsstruktur for TV, kunne utviklingsarbeidet starte. Det var lite føringer for hvordan oppgaven skulle løses, og TV jobbet selvstendig frem et utvalg av løsningskonsepter. Dette ble gjort ved å la alle gruppemedlemmer utvikle egne ideer, og deretter gjennomføre en workshop, hvor alle ideer ble diskutert og sortert i ulike kategorier. Deler av denne jobben ble gjort med veiledning fra Gerrit Muller. TV hadde wafere og solceller tilgjengelige for å få følelse med hvordan disse oppførte seg. Det ble klart at hovedutfordringene ville være knyttet til hvor lett waferne sprakk og hvor godt de hang sammen i bunken.

Et utvalg av konsepter ble presentert for en gruppe ingeniører hos TE. Konseptene ble diskutert og det ble tatt en avgjørelse om å begynne testing av konseptet tostegsløft, med luftdyser som hjelpemiddel til singulering. Dette var en av konseptene TV hadde god tro på, og elementet med tostegsløft var ikke jobbet noe særlig med hos TE.

Tostegsløftet løfter en wafer/solcelle i to steg ved hjelp av sugekopper. Tanken bak dette konseptet var at todelt løft ville lage en spenning i waferne som ble løftet, og at det ville få eventuelle ekstra wafere ville slippe taket. Samtidig var det forventninger til at dyser med lufttrykk mot bunken ville ha en positiv effekt på singuleringen.

Ved hjelp av en del LEGO™-, trykkluft- og vakuumpkomponenter som ble lånt hos TE og HiBu, gjennomførte TV en rekke tester for å avdekke om dette var et konsept å gå videre med. Testene ble gjennomført og analysert ved hjelp av Taguchi metoden. Resultatet av disse testene viste at en riktig sammensetning av tostegsløftet og luftdyser kunne gi en god singulering. Det var fortsatt mange faktorer som ikke kunne testes før en prototype ble bygd, som syklushastighet.

Design av prototypen ble splittet opp i flere funksjoner. Singulering og løft ble designet ut fra resultatene fra lavskalatestingen som var gjort. Det ble valgt å bruke en heis under innlastingen av wafere, for å gi konstant løfteposisjon. Samtidig ble det jobbet frem flere forslag for transportfunksjon mellom innlasting og transportbånd. Valget falt på en horisontal lineær bevegelse ved hjelp av en servoakse.

Da systemet skulle være automatisert, ble PLS-system fra Siemens valgt som styringssystem. TE bruker dette i mange av sine spesialmaskiner, så det var et system de var godt kjent med. Dette ga oss flere fordeler, som god hjelp og rask levering. TV utviklet egen software for styringssystemet, som behandlet inputs og outputs og automatiserte kjøring av alle funksjoner.

Alle disse modulene trengte en felles ramme. Arbeidet med å designe rammen ble gjort ved først å lage en grovskisse med plassering av hovedkomponenter, og deretter ble den tegnet i Solidworks. Etter godkjenning av 2. versjon av modellen, kom TE med et forslag om å bruke en ramme de hadde fra før. Det ble det tatt avgjørelse om å takke ja til dette. Denne rammen la ingen begrensninger på mulighetene for å bygge og teste konseptet med tostegsløft. Rammen inneholdt også elektroskap og et transportbånd, som TV kunne benytte i sin prototype.

Byggingen og modultestingen ble gjennomført mens prototypen sto hos TE, og ble deretter fraktet til HiBu Kongsberg, hvor arbeidet med tuning og testing begynte. Etter innledende modul- og integrasjonstesting, var dette arbeidet en prosess med systemtesting, bruk av Taguchi metoden, justeringer, idemyldring for forbedringer i flere omganger. Dette arbeidet førte frem til avsluttende akseptansetester, sammen med en del punkter TV mener er forbedringspotensiale.

1. Hjelpemidler

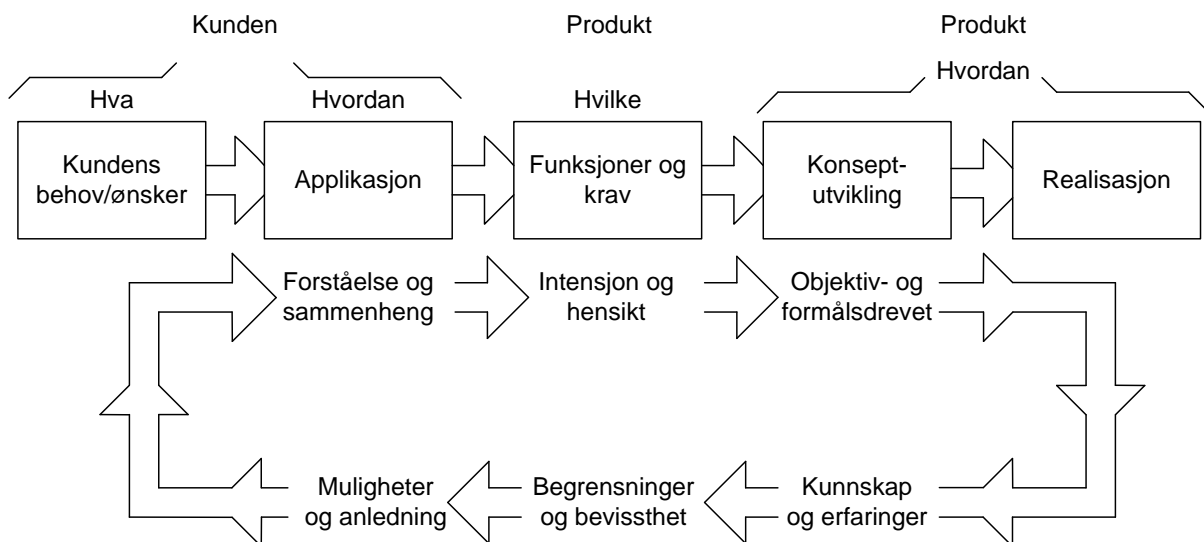
1.1. CAFCR

CAFCR er et verktøy for bruk i utviklingsprosjekter, hvor kunden settes i fokus gjennom hele prosessen. Metoden for å bruke verktøyet har blitt undervist i faget systemdesign, for 3. års produktutviklingsstudenter.

Metoden har TV anvendt i alle faser av prosjektet, fra oppgaven var gitt, til endelig resultat forelå. Denne rapporten følger derfor denne modellen i stor grad.

Verktøyet kan deles opp i fem blokker, den første er å få en forståelse av oppgaven sett fra kundens behov og ønsker. Neste steg blir å definere hvor, hvordan og hvem som skal benytte løsningen. Deretter knyttes det en bro fra det teoretiske, til realisasjonen av oppgaven gjennom å bestemme hvilke funksjoner oppgaven skal utføre. Veien videre består av å utvikle konsepter på bakgrunn av de tre ovennevnte blokkene og deretter evaluere dem opp mot kundens behov. Gjennomføring av oppgaven begynner først når løsningsforslaget har blitt vurdert og godkjent av kunden.

Dette kan være en fornøylig måte å jobbe på, siden de fleste ingeniørstudenter har en tendens til å være løsningsorientert. Samtidig som modellen er løsningsorientert, er den analytisk og meget godt egnet i et utviklingsprosjekt.



Figur 1, Prosjektmodell CAFCR

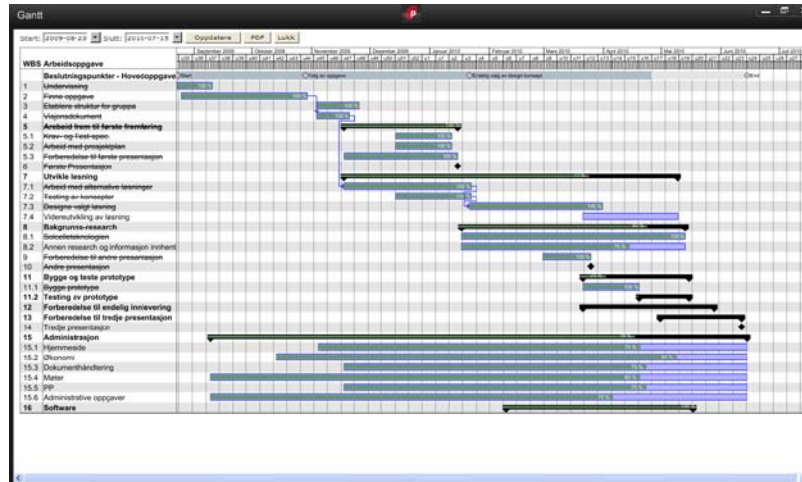
1.1. ProjectPlace

ProjectPlace er et onlinebasert prosjektverktøy som inneholder nyttige verktøy som dokumenthåndtering, tidsplanlegging, timeregistrering og kommunikasjonsmuligheter (nettmøter og hurtigmeldinger). Ved å benytte nettskyen og "software as a service"[1], for å kommunisere og samarbeide, blir tilgjengeligheten økt innad i prosjektet. Tjenesten kan forenkle og effektivisere kommunikasjon og samhandling mellom gruppedeltagerne, og partnere ved hjelp av brukervennlige verktøy og funksjoner. Veiledere og sensorer har lesetilgang til dette verktøyet, som gjør at de lett kan skaffe seg informasjon om gruppens arbeid. Applikasjonen kjøres gjennom nettleseren på de fleste arbeidsterminaler, tilgang til tjenesten og prosjektet forutsetter da internetttilgang. PP er et velrenommert selskap med store eksisterende kunder, og lite nedetid å vise til, og anses som et veldig sikkert sted å bruke[2-4].

1.2. Gantt plan

En Gantt plan er et diagram som illustrerer den kronologiske rekkefølgen til aktivitetene innad i et prosjekt. Diagrammet er en matrise med rader og søyler, der aktivitetene er listet opp rad for rad i søylen lengst til venstre. Resten av søylene representerer tid[5]. Linjestykkene som strekker seg over søylene representerer estimert tidsbruk per arbeidsoppgave, graden av ferdigstilling av disse arbeidsoppgavene er representert ved fyllfarge og antall prosent.

Ved opprettelse av arbeidsoppgaver i PP, kan man estimere arbeidstimer, hvem det skal delegeres til og tidsforløpet til arbeidsoppgaven, i tillegg kan det opprettes milepæler. Det er ut i fra dette at Gantt planen blir generert. Når prosjektdeltagerne registrerer sine timer, blir disse registrert i sine respektive arbeidsoppgaver, registrerte arbeidstimer gir da en indikator på arbeidsoppgavens fremdrift. Når en Gantt plan opprettes vil det gi god oversikt på hvor langt gruppen har kommet i prosjektet og det vil også vise om noen arbeidsoppgaver er forsinket.



Figur 2, ProjectPlace sin Gantt plan

1.3. MS Visio

MS Visio er et program som brukes til å lage tekniske tegninger og forskjellig typer diagrammer for MS Windows. Programmet er enkelt å bruke, og inneholder nyttige verktøy og layouter. Visio inneholder også et bibliotek med forhåndstegnede symboler og tegn som man kan enkelt hente inn og bruke. Det er også enkelt å målsette tegningene. TV har brukt Visio til å lage skisser. En funksjon som har vært nyttig for TV, er at man enkelt kan laste inn bilder for så å tegne på disse bildene. Man kan raskt lage skisser som enkle å forstå og med et profesjonelt utseende[6-7].

1.4. SolidWorks

SolidWorks er et DAK (Dataassistert Konstruksjon) program. Programmet brukes til å designe 3D modeller av mekaniske strukturer. De fem maskiningeniørene som TV består av, har hatt grunnleggende og videregående opplæring i programmet. Fordelen med dette programmet er det kan brukes til å lage 3D modeller av enkeltdele, det er også mulighet til sette forskjellige enkeltdele sammen til sammenstillinger. Ut i fra 3D modellene er det mulig å lage 2D tegninger som kan brukes til å maskinere ut delene, 3D modellene kan også brukes i en 3D-printer til å printe ut mindre modeller. SW har en rekke verktøy i tillegg til design verktøyene. TV har benyttet seg av flere av disse verktøyene. SW Animation blitt brukt til å lage animasjoner ut ifra 3D modellene. Fordelen med å bruke dette verktøyet er man kan visualisere konsepter for interessenter. Dette gjør at man lettere kan få gjennomslag for designideer, eller konstruktiv tilbakemeldinger. SW Simulation har også blitt brukt, Simulation het Cosmos. SW Simulation er et styrkeberegning verktøy. Verktøyet brukes bergegger automatisk sikkerhetsfaktor, deformasjon, spennings diagram på konstruksjonen eller enkeltdele.

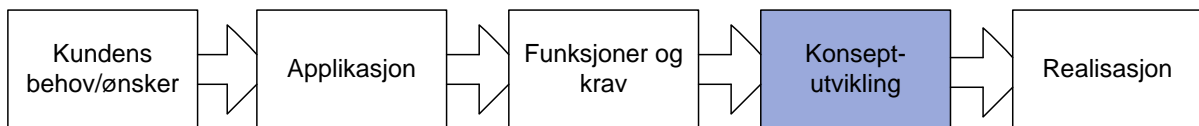
1.5. The Taguchi experimental design method

The Taguchi experimental design method, også kjent som The Taguchi Method eller Taguchi metoden som er et eksperimentelt prosessstyringsverktøy. Formålet med å bruke Taguchi metoden er å redusere produksjonskostnadene til produktet og å oppnå løsninger med robust design. Med robust design menes det å øke kvaliteten til et produkt. Med andre ord evnen til produktet til å levere de funksjonene kunden ønsker over tid, til forventede kostnader. Selv når produktet blir utsatt for støy (ytre påvirkninger)[8].

Metoden går ut på å gjennomføre tester med forskjellige prosessparametere. Et fiktivt eksempel på dette kan være miksing av sement. En sementprodusent ønsker å finne det blandingsforholdet mellom vann, sand, sement, mengde arming og type armering som gir hardest sement. Han ønsker å prøve 4 forskjellige mengder med sand, 4 med vann og 4 med sement, 4 forskjellige mengder armering og 4 forskjellige typer armering. Dette gir totalt 1024 forskjellige alternativer som må testes. Ved bruk av Taguchi metoden vil det kun være nødvendig å teste 16 forskjellige alternativer. Ved hjelp av Taguchi metoden vil man da få det ønskede resultatet ved bruk av færrest mulig tester. Metoden vil også gi svar på hvordan de forskjellige metodene påvirker hverandre[5].

Måten metoden fungerer på er å bruke ortogonale matriser. Matrisene forteller hvilke kombinasjoner av parameter man skal bruke i de forskjellige testene. Når testene utføres måles avviket fra ønsket resultat. Måleresultatene brukes til å regne ut standardavvik og signal over noise som er kjent som S/N. Signal over noise er ønsket resultat over støyen som støyen som senker dette resultatet. Taguchi metoden består har formler for utregning av S/N. Formålet er at dette signalet skal være størst mulig. Standardavviket brukes til å analysere hvor stabil de forskjellige testene er. Signal over noise brukes til å finne de forskjellige testparametrene sine innvirkninger på testprosessen. Signal over noise og standardavvikene brukes til å finne det beste oppsettet av testparametrene.

2. Konsepter

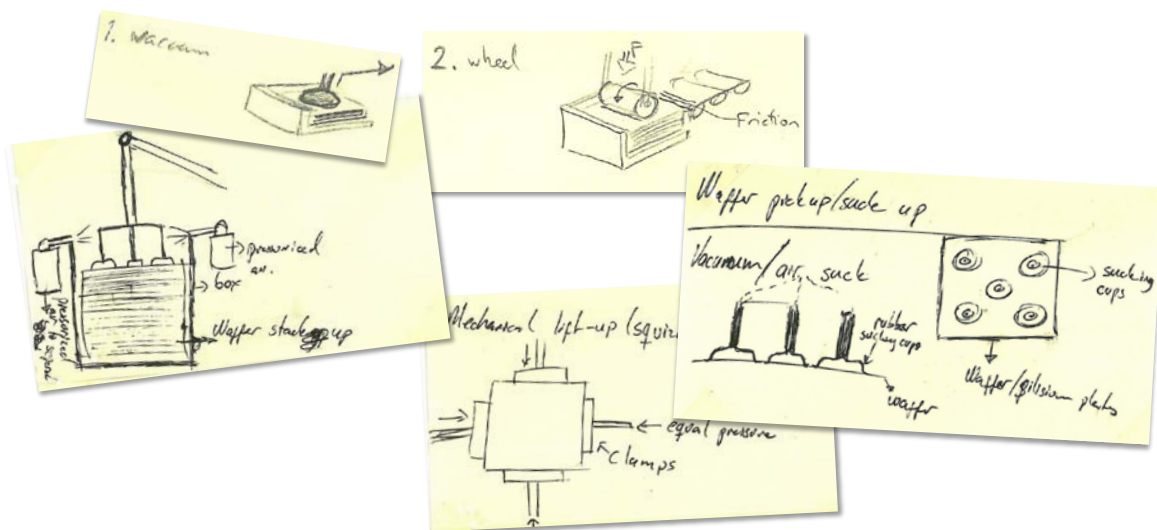


Figur 3, CAFCR modellen konseptutvikling er fremtredende

For å løse oppgaven de hadde fått fra TE måtte TV komme opp med konsepter som hadde potensial til å oppfylle kravene i kravspesifikasjonen. Fra TE var ønsket at TV skulle få frie tøyler for å oppnå en prosess som var mest mulig kreativ. TE kom til å jobbe med singuleringsproblematikken parallelt med TV. Det ble ikke utvekslet informasjon om hvilken type løsning eller løsninger de jobbet med. Selv om TE hadde gitt hovedprosjektet frie tøyler ønsket de å være med på beslutningspunkter om vei valg underveis. TV var veldig fornøyd med at fått begrensede føringer fra sin oppgavegiver. Dette gjorde at hovedprosjektet kunne kjøres som et fullverdig utviklingsprosjekt, fra ide til resultat. For å få en kreativ prosess, ble det bestemt at alle gruppemedlemmene skulle komme med mulige løsninger på singuleringsproblemet. Måten dette ble gjort på var at alle medlemmene skulle individuelt prøve å komme med så mange løsninger som mulig. De individuelle ideene skulle legges frem på et gruppemøte hvor alle medlemmene skulle være tilstede. Målet var å kjøre en idémyldring på dette møtet, slik at gruppa kunne få samlet de forskjellige ideene for å kunne jobbe videre med dem.

2.1. Idémyldringsmøte

Idémyldringsmøtet ble holdt i samarbeid med en annen hovedprosjektgruppe fra HiBu, i samarbeid med felles intern veileder Jamal Safi og Gerit Muller. Gerit Muller er professor i System Engineering. Han skulle bistå gruppene med sin erfaring på dette møtet. TV sine medlemmer fikk komme med sine alternativer til mulige konsepter. Konseptene ble systematisert og delt inn i grupper. Hovedgruppene ble som følger, vakuum, mekanisk klype, luftputeprinsippet og friksjonshjulet.



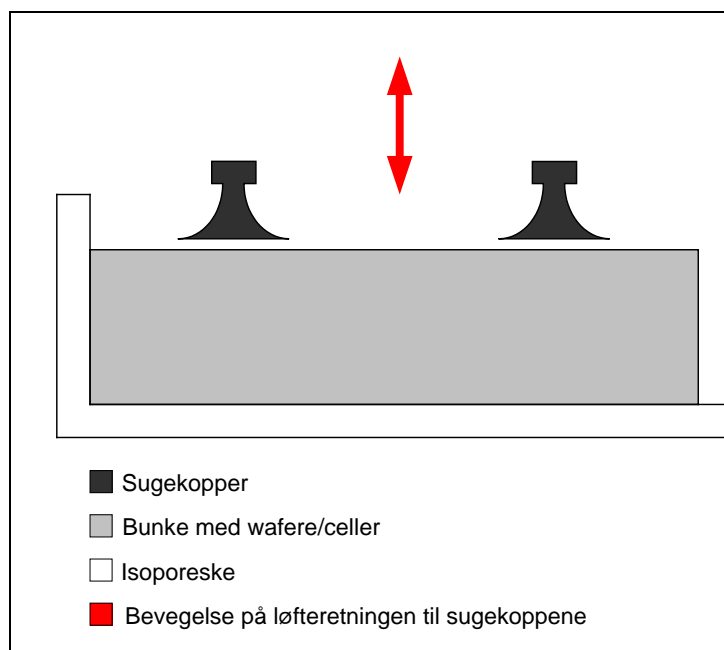
Figur 4, Postitlapper med tegninger av alternativer til løsninger fra idémyldringsmøte

2.2. Vakuum

Hovedgruppen som brukte vakuum som et element i konseptet, inneholdt to alternativer. Felles for begge var å bruke vakuum for å løfte waferne/cellene ut av isoporesken. Ingen av alternativene hadde noen løsning for separasjon av waferne/cellene.

2.2.1. Sugekopper

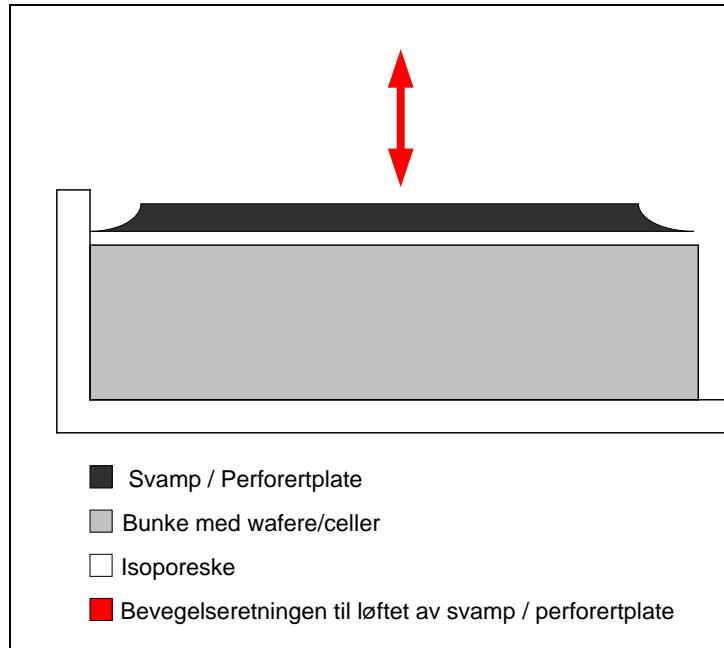
Prinsippet med sugekopper gikk ut på at et sett med sugekopper skulle feste seg på overflaten av den øverste waferen/cellen i isoporesken for så å løfte den ut av esken. Siden dette ikke ville løse utfordringen med singulering ble det foreslått å bruke luftdyser til å skille waferne/cellene.



Figur 5, Illustrasjon som viser sugekopp prinsippet.

2.2.2. Undertrykk

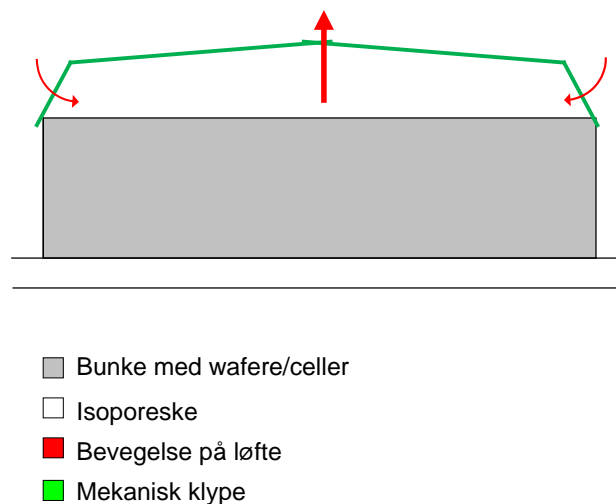
Prinsippet med undertrykk gikk ut på å danne et undertrykk på oversiden av den øverste waferen/cellen for løfte waferne/cellene ut av esken. Dette kunne gjøres ved å lage vakuum i en svamp eller perforert plate. Som sugekoppprinsippet ville ikke lavtrykkløfte hjelpe til å singulere waferne/cellene. Det ble derfor også her foreslått å bruke luftdyser til å skille waferne/cellene.



Figur 6, Illustrasjon som viser konseptet med undertrykk.

2.3. Mekanisk klype

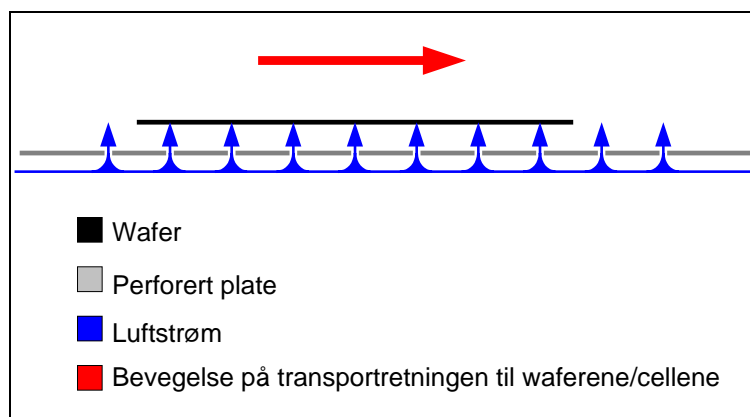
Bruk av mekanisk klype til å singuleringen waferne/cellene var et enkelt prinsipp. Her var tanken at waferene/ cellene skulle løftes ut av isoporesken ved hjelp av en mekanisk klype. Klypen skulle hente en og en wafer/celle ut av isoporesken, for så å flytte den ut av isoporesken.



Figur 7, Illustrasjon som viser konseptet med friskjønshjul.

2.4. Luftpute

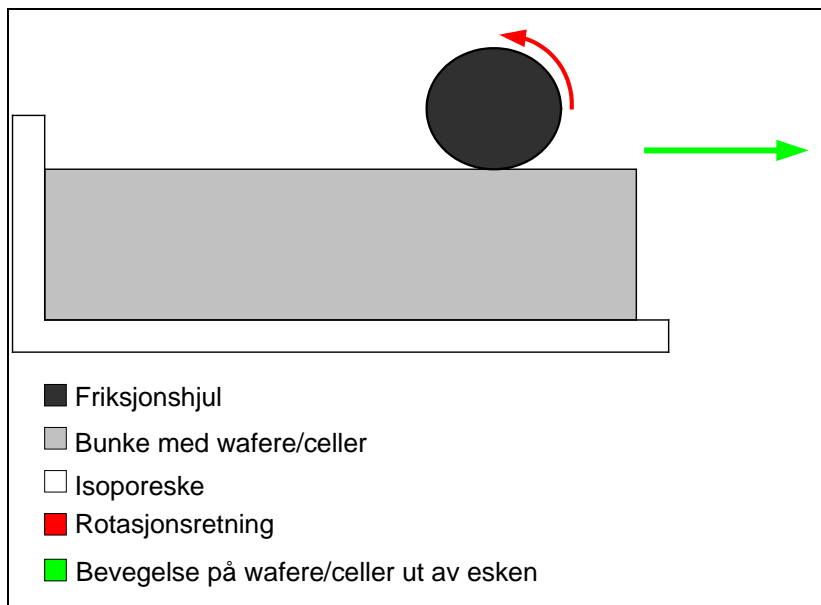
Tanken bak konseptet som brukte et luftputeprinsipp, var å bruke å bruke en plate med hull til å frakte waferne/cellene med. Prinsippet gikk ut på å kjøre luft gjennom hullene i platen, slik at det ble dannet en luftstrøm opp fra platen. Prinsippet var det samme som ble brukt i Air Hockey bord. Luftstrømmen skulle sørge for å få waferne/cellene til å sveve på oversiden av platen.



Figur 8, Illustrasjon som viser konseptet med luftpute.

2.5. Friksjonshjul

Det siste konsept som ble foreslått var å bruke et friksjonshjul til å singulere waferne/cellene. Ideen gikk ut på å ha et roterende hjul som skulle senkes ned på den øverste waferen/cellen. Når hjulet traff den øverste waferen/cellen, skulle hjulet dra den over på et transportbånd. Det ble foreslått å bruke en gummistopper på siden av isoporesken. Denne skulle hindre at det ble dratt med flere enn en wafer ut av bunken.



Figur 9, Illustrasjon som viser konseptet med friksjonshjul

2.6. Diskusjon

De forskjellige konseptene ble vurdert, det ble prøvd å finne fordeler og ulemper med de forskjellige alternativene. TV hadde ingen erfaringer innenfor problematikken med singulering fra før. Det ble derimot funnet noe informasjon om singulering på internett. Informasjonen som ble funnet var stort sett i form av filmklipp av eksisterende singuleringsmaskiner. Filmene som ble funnet viste i hovedsak transport av wafere og celler som var betydelig tykkere enn de som oppgaven omfattet. Når platene er tykkere blir problematikken med singulering enklere å løse, siden platene da tåler høyere påkjenninger. Det ble derfor i første omgang brukt fornuft til å vurdere de alternativene gruppa hadde på dette tidspunktet.

2.7. Vakuum

2.7.1. Sugekopper

Fordeler

Det ble ansett til å være to fordeler med bruk av sugekopper. Den viktigste var at dette var et enkelt og velprøvd prinsipp som det ble funnet flere kilder til på internett, bl.a. fra leverandører av utstyr. Ingen av disse filmene viste transport eller singulering av wafere eller celler, med liknende tykkelse som den oppgaven omfavnet. Den andre fordelen var at ved bruk av sugekopper belastningen på waferne/cellene fordeles. Dette kunne gjøres ved å variere plassering av, størrelse på og antallet sugekopper.

Ulemper

Det ble ansett å være flere ulemper med bruk av sugekopper. Den ene var at for mye vakuum kunne påføre waferene/cellene for store belastninger, og føre til brekkasje. Dette ble sett på som et mindre problem. Dette ble begrunnet med muligheten til å regulere vakuomet i sugekoppene og antall sugekopper. Mindre vakuum og flere sugekopper ville redusere belastningen på platene. Forurensning av overflaten på waferne/cellene kunne også bli et problem. Dette fordi sugekopper setter avtrykk på waferne, noe som senker kvaliteten på de ferdige cellene. Størrelsen på problemet med forurensning ved bruk av sugekopper, hadde TV ikke grunnlag for å vurdere. Denne problemstillingen skulle tas opp og drøftes med TE. Selve singuleringen ble ansett som en utfordring ved bruk av sugekopper. På grunn av vakuum mellom waferplatene som ligger i isoporeskene, ble det antatt at når øverste wafer ble løftet ut av bunken med sugekopper ville flere bli hengende på undersiden av denne. Bruke av vakuum kunne skape treghet i systemet og at lekkasjer kunne bli en utfordring.

2.7.2. Lavtrykk

Fordeler

Den største fordelen med å bruke lavtrykk var det at den utsatte waferne/cellene for lite belastning. Dette fordi kraften blir fordelt over hele waferen/cellen ved bruk av lavtrykk.

Ulemper

Bruk av lavtrykk ville føre til de samme ulempene som ved bruk av sugekopper. I tillegg hadde lavtrykk alternativet en annen ulempe. For mens bruk av sugekopper var et prinsipp som det var mulig å finne dokumentasjon på at fungerte, ble det ikke funnet noe informasjon om singulering med undertrykk på internett. Det var derfor usikkert om det kunne fungere. Det ble ansett at det også kunne bli vanskelig å få høy presisjon på når waferne/cellene skulle avleveres på transportbåndet ved bruk av undertrykk.

2.8. Mekanisk klype

Fordel

Den eneste fordelen med å bruke alternativet med mekanisk klype ble ansett å være at dette ville være et enkelt design. Det finnes mange mekaniske klyper på markedet i dag. Det ville derfor ikke være nødvendig å designe en klype, TV kunne i stedet skaffe en som kunne brukes direkte i prototypen.

Ulemper

Det ble ansett å være to store ulemper ved å bruke alternativet med den mekaniske klypa. Det ville påføres store konsentrasjoner med stress i waferne/cellene i form av den belastninga klypa ville påføre. Den andre var at det ville være vanskelig å få en mekanisk klype til å løfte opp kun en wafer/celle av gangen. Det ville også være vanskelig å få en mekanisk klype til å komme ned i isoporesken. Selv om det ikke var noe krav fra TE sin side at singuleringen skulle skje fra isporesken, så anså TV at det ville være en fordel om dette skjedde fra esken. Ut ifra disse argumentene ble det ansett at prinsippet med en mekanisk klype kanskje ville være vanskelig å realisere.

2.9. Luftpute

Fordel

Fordelen med å bruke luftputealternativet var at waferene/cellene blir utsatt for minimalt med belastning. Dette fordi kreftene som virker, kun er så store som det som trengs for å holde waferne/cellene svevende.

Ulemper

Den største ulempen med å bruke luftputealternativet var at det vil være vanskelig å konstruere slik at man fikk presisjon i avleveringen og transporten av waferne/cellene. Dette ville medføre at systemet ble komplisert å konstruere og vanskelig å styre.

2.10. Friksjonshjul

Fordeler

Alternativet med bruk av friksjonshjul ble ansett for å kunne gi et raskt og effektivt system. Begrunnelsen for dette var at et slikt system kunne settes sammen av enkle komponenter. Det var også tiltro til at systemet ville kunne gi en lav syklusetid. Systemet kunne også bruke elementer som vakuum eller trykkluft.

Ulemper

Det var usikkerhet om friksjonshjulet ville påføre waferne/cellene for store belastninger som ville kunne føre til brekkasje. Dette måtte de derfor forhøre seg med TE om. Et annet element som kunne føre til brekkasje var friksjonen mellom waferne/cellene når den øverste ble dratt ut av bunken. En annen ulempe var usikkerheten om friksjonshjulet ville kunne separere waferne/cellene, slik at man fikk en vellykket singulering.

2.11. Presentasjon

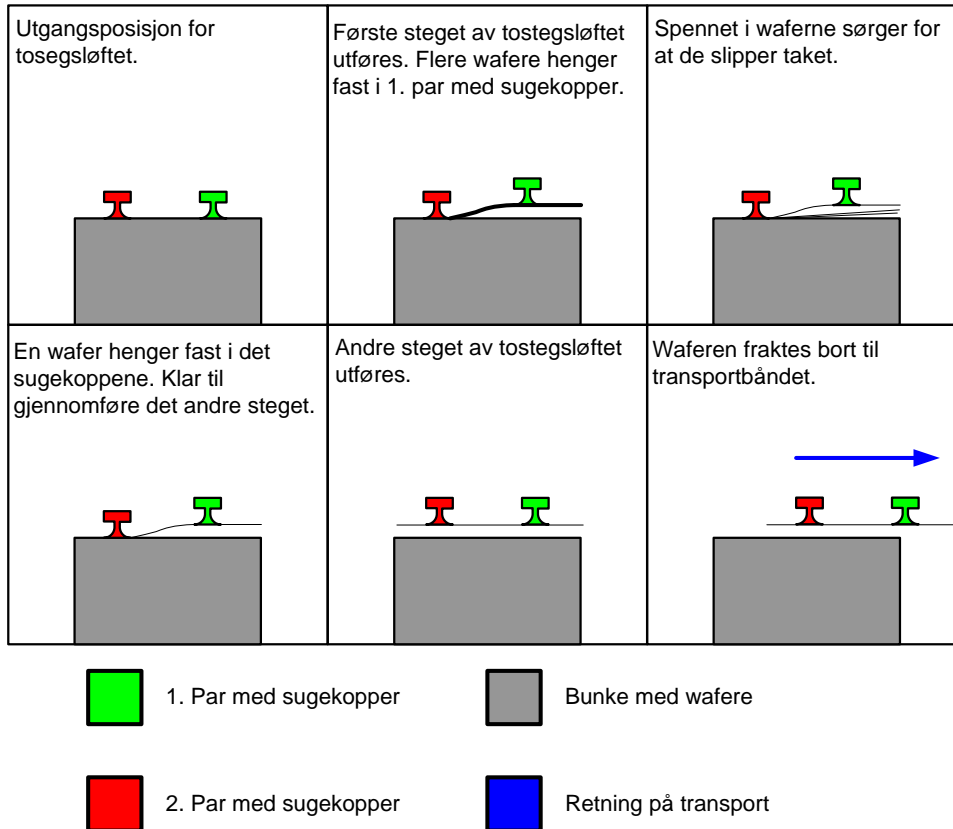
Disse løsningene ble presentert for intern veileder, intern sensor og TE representert med Morten Nordengen, på prosjektets første presentasjon. Etter presentasjonen ble det holdt et møte hvor hele TV, intern veileder Jamal Safi og Morten Nordengen var til stede. Morten fremmet da ønske om at det skulle jobbes videre med de alternativene som var presentert, for å kunne presentere dem på et møte hos TE i Hønefoss hvor noen av deres ingeniører som hadde tilknytning til waferlinjene til REC skulle være tilstede.

2.12. Videre utvikling

Det ble arbeidet videre med løsningene frem mot møtet med TE. Det ble i dette arbeidet forsøkt å lage et tilstrekkelig lavtrykk i en svamp, for å løfte waferer ut av en bunke med waferer. Dette viste seg mulig, men det ble klart at vakuemet mellom waferene seg i mellom var større en først antatt. Dette førte til at når man prøvde å løfte øverste wafer ut av bunken, ville det automatisk følge med flere waferer. Antallet waferer som fulgte med kunne variere, men det ble ved alle forsøk, løftet flere enn en. En mulig løsning på dette problemet kunne være å la en luftstrøm treffe de øverste waferne i bunken, og at dette kunne hjelpe til å skille waferne fra hverandre. Ideen med å bruke en luftstrøm til å hjelpe til med singuleringen kunne også implementeres i de andre alternativene. Det ble også generert et nytt alternativ til løsning på singuleringsutfordringen i tillegg til de 5 som allerede var generert. Det nye alternativet var et tostegsløft. Dette alternativet ble vurdert på samme måte som de fem andre alternativene.

2.13. Tostegsløft

Tostegsløft alternativet gikk ut på å bøye waferene/cellene som et ledd i singuleringprosessen. Det hadde blitt prøvd å manuelt bøye waferne med fingrene. Overraskelsen var stor over hvor mye det var mulig å bøye waferne før de sprakk. Med tanke på at waferne består av tilnærmet lik 100 prosent ren silisium, og det faktumet at silisium er et sprøtt materiale. Tostegsløftet kunne sammenliknes med alternativet med vakuumpopper. Forskjellen var at i stedet for å løfte waferne/cellene rett opp av isoporesken, skulle løfteprosessen deles opp i to. Første steget var at en modul med to sugekopper skulle løftes opp, dette skulle gjøres for å bøye waferene/cellene som hang sammen. Dette ville føre til et spenn i disse waferene. Dette spennet skulle sørge for at waferne som hang på undersiden av den som hadde direkte kontakt med den øverste waferen, ville slippe taket. Det var usikkert om denne belastningen ville føre til mye brekkasje.



Figur 10, Illustrasjonsserie av hvordan TV så for seg tostegsløftet.

Fordeler

Fordelen med tostegsløftet kontra sugekoppalternativet var at her ville man ha enda en faktor som kunne bidra til separasjon av waferne/cellene.

Ulemper

Sammenliknet med alternativet hvor man kun skal bruke vakuumpopper ville tostegsløftet føre til at waferne/cellene ville bli utsatt for større belastning. Noe som kunne føre til mer brekkasje.

2.13.1. Vurdering

Dette var et alternativ som TV hadde tro på. Grunnen til dette var at det kunne kombineres med bruk av luft til å singulere waferne/celle. Da ville TV ha to bidrag til singuleringen.

3. Diskusjonsmøte med TE

Alle alternativene som er beskrevet i teksten over, ble presentert i et møte med et utvalg av TE sine ingeniører som hadde tilknytning til REC sine solcellelinjer. Denne presentasjonen ledet til en drøfting av alternativene.

To alternativer som det ikke hadde arbeidet med ble også diskutert. Det ene var singulering ved bruk av bernoulli griper. En bernoulli griper bruker luft til å holde en gjenstand i en posisjon. Ved bruk av en slik griper ville man få liten belastning av waferne/cellene. Bruk av en slik griper ville derimot ikke løse problematikken rundt singulering. Det ble av denne grunn enighet om at det ikke skulle arbeides med et slikt alternativ. Det andre alternativet som det ikke hadde blitt jobbet med var bruk av pizo elektrisk motor eller ultralyd til transport av waferplatene/cellene. Hovedprosjektet hadde et meget begrenset tidsaspekt. På grunn av at TV hadde måtte tilegnet seg mye kunnskap for å kunne realisert et slikt alternativ, ble det også her enighet om å ikke jobbe videre med et slikt alternativ. Det ble også diskutert om det var mulighet til å magnetisere waferne, slik at man kunne transportere waferne ved hjelp av en magnet. En ingeniør hos TE hadde så vidt sett på et slikt alternativ, men han mente dette ikke var et godt alternativ.

3.1. Vakuum

3.1.1. Sugekopper

TE sine ingeniører var enige med punktene på listen over fordeler og ulemper med bruk av sugekopper til å singulere waferer/celler. De spesifiserte at det var bruken av en luftstrøm på waferne/cellene som ville føre til en vellykket separasjon. Dette var noe TV var klar over. Grunnen til å navngi denne metoden for sugekopper i stedet for luftstrøm, var at luftstrøm prinsippet kunne brukes på flere av de andre alternativene.

3.1.2. Lavtrykk

TE viste interesse for alternativet som omhandlet bruk av lavtrykk til å singulere waferer/celler. De stilte likevel spørsmål om man kunne oppnå høy nok presisjon ved bruk av en slik løsning. Valg av dette konseptet, medførte at det måtte testes før et eventuelt design ble utviklet.

3.2. Mekanisk klype

Alternativet ble avskrevet ganske fort. TE var enig med antagelsen at dette ville være vanskelig å realisere.

3.3. Luftpute

Det ble påpekt av TE at arbeid med et slikt alternativ ville kreve dype kunnskaper om aerodynamikk. Eventuelt en del prøving og feiling. Dette alternativet ble derfor ansett som lite realistisk med tanke på TV sine ressurser og det begrensede tidsaspektet hovedprosjektet hadde.

3.4. Friksjonshjul

Det hadde vært usikkerhet om friksjonshjulet ville påføre waferne for store belastninger. TE bekreftet at et slikt alternativ ville påføre waferne uakseptabelt høye belastninger.

3.5. Tostegsløft

TE mente at bøyning av wafere/celler ville føre til sprekkdannelse som igjen ville føre til brekkasje. Det ble vist til at det hadde blitt bøyd en del wafere og at de hadde blitt overrasket over hvor mye de kunne bøyes uten å sprekke. Det ble også bøyd noen wafere på møtet og det ble enighet om at waferne kunne tåle å bli bøyd til en viss grad. Av denne grunn ble TE nysgjerrige på dette alternativet.

3.6. Generelt

Det ble diskutert brekkasje i isoporeskene. TV hadde erfart at det kunne forekomme sprukne wafere i eskene med wafere som de hadde fått utlevert av TE. De spurte derfor TE om dette var et problem som kunne forekomme i eskene som ble brukt av REC i industrien. TE forklarte at brekkasje i eskene i produksjonen kunne forekomme, De sa også at det ikke var nødvendig å lage et system som tok høyde for dette. Det var separasjonen av wafere/celler som var det essensielle i oppgaven. Det ble også drøftet om forurensingen av overflaten ved bruk av sugekopper ble uakseptabelt stor. TE forklarte at det var mest ønskelig å unngå all form for forurensning. De sa derimot at det vanskelig å singulere og transportere en wafer uten å forurense waferne på noen måte. Selv om noen av alternativene som ble diskutert forurenset mer enn andre, ville waferne bli litt forurenset uansett. Det var selvfølgelig et poeng å utsette waferne for så lite forurensning som mulig.

3.7. Konklusjon

Siden TV hadde tro på tostegsløftet og dette var et alternativ som TE viste nysgjerrighet for, ble partene enige om at det kunne jobbes videre med dette alternativet. TE sa at lavtrykk alternativet også var et alternativ som kunne jobbes med. De presiserte at det kunne være lurt å velge et alternativ. Dette ble hovedsakelig begrunnet med prosjektets korte varighet. Planen for TV ble derfor å komme opp med og gjennomføre tester som kunne gi grunnlag for om tostegsløftet var et konsept som kunne videreutvikles. Det ble utlevert en del luft utstyr i form av sugekopper, slanger, vakuumejektor og lignende, slik at testing av prisnippet med et tostegsløft kunne gjennomføres.

4. Testing av tostegsløftet

Konklusjonen fra møtet med TE var å jobbe videre med tostegsløftet. TV hadde på denne tiden ingen vitenskapelig begrunnelse for at tostegsløfte kunne fungere. Det ble derfor besluttet at konseptet med et tostegsløft først måtte testes, før det eventuelt kunne designes. Det målet med å gjennomføre testene var å finne ut av om et tostegsløft ville separere waferne/cellene fra hverandre. Det var særlig waferne som skulle testes, siden waferer er tynnere, skjørere og vanskeligere å separere enn cellene. Det måtte også testes om tostegsløftet ville påføre waferne/cellene belastninger av en slik størrelsesorden at det ville føre til brekkasje.

TV hadde tilgang til en del lufttrykk utstyr på prosjektrummet på HiBu, i tillegg til det utstyret de hadde fått lånt av TE. Det var derimot en mangel på utstyr til å bygge en testrigg. Det ble derfor besluttet å bruke LEGO™. Fordelen ved å bruke LEGO™ var at det raskt kunne bygges en testrigg, som gav mye fleksibilitet med tanke på forandringer som måtte gjøres på riggen mellom de forskjellige testene.

For å få testresultat med nok tyngde til å ta en avgjørelse på om tostegsløftet var et prinsipp som kunne realiseres, ble det besluttet å bruke Taguchi metoden til den første testen. Ved bruk av Taguchi metoden ville testresultatene gi svar på hvilken innvirkning de forskjellige parametere hadde på singuleringen. Dette ville gjøre det lettere å lage flere tester hvis dette kom til å bli nødvendig. Det ville også gjøre det enklere å analysere resultatene.

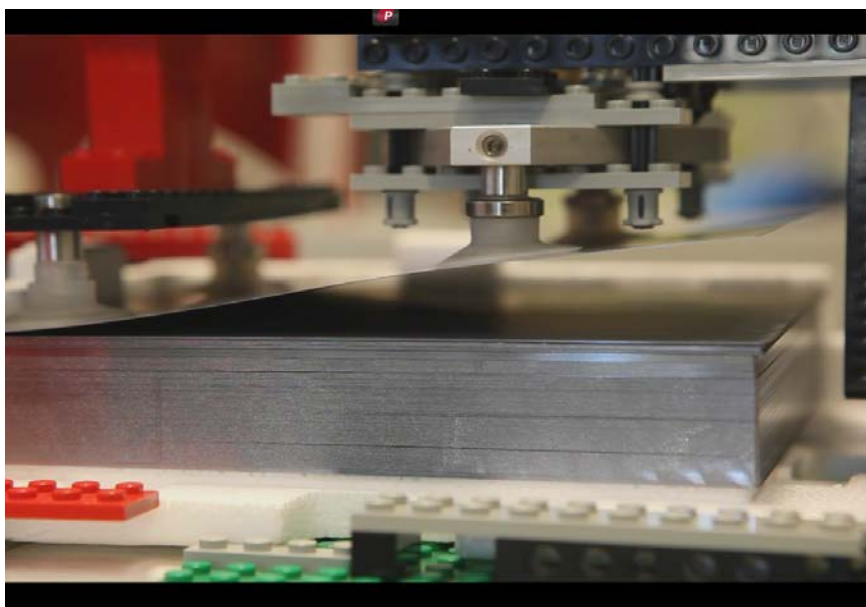
4.1. Test av prinsipp

4.1.1. Bakgrunn

Den første testen som ble lagd og gjennomført hadde som formål å få svar på om tostegsløftet hadde potensial til å separere waferer uten brekkasje. Det ble bygde en rigg av LEGO™. I front av isoporesken som waferne ble løftet ut av hadde de innblåsning fra en luftdyse med et hull. De simulerte tostegsløftet ved hjelp av to sugekoppmoduler som de løftet med manuelt. Modulene var festet i riggen slik at løftene skulle bli like. Formålet med testen var å se om man ved hjelp av et tostegsløft kunne få separert de øverste waferne.

4.1.2. Resultater

Resultatene fra den første testen sa at det var fullt mulig å separere wafere med hjelp av et tostegsløft med assistanse fra en luftdyse. Når parameterens innvirkning på separasjonen ble analysert, ble det konkludert med at luften hadde liten innvirkning. Dette sett i forhold til innvirkningen av parameterne som var direkte knyttet til tostegsløftet. Den første testen ble også filmet. Analysen av filmen gjorde det ønskelig å øke innvirkningen luftstrømmen hadde på separasjonen. Grunnen til dette var at waferne ble påført uønsket store belastninger som følge av luftdysens lave bidrag til separasjon.



Figur 11, Bildet viser Singulering ved hjelp av tostegsløftet. Bilde er tatt fra testen: *Konsepttest - Tostegsløft - Test av prinsipp*

4.1.3. Konklusjon

Konklusjonen fra testen ble derfor å gjennomføre en ny test. Målsetningen med denne testen var å se om det var mulig finne en ny luftdyse og plassering av denne, som gav et høyere bidrag til separasjon.

Rapporten til denne testen finnes i sin helhet i vedlegg *III Konsepttester*

4.2. Plassering av dyser

4.2.1. Bakgrunn

Det ble derfor gjennomført en ny test med en ny luftdyse hvor formålet var å finne en ny plassering av denne luftdysen, som hadde større innvirkning på separasjon av waferene. I denne testen ble det ikke brukt noen rigg. Isoporesken med waferer sto flatt på et bord, hvor den nye luftdysen og flere plasseringer av denne ble prøvd.

4.2.2. Resultater

Denne testen ga det svaret at en dyse med flere hull og blåseretning inn mellom de to løftemodulene virket å separere waferne bedre enn den som ble testet i *Konsepttest – Tostegsløft – Test av prinsipp*. Det dukket opp en ny utfordring ved den nye plasseringen av dysen. Når luftdysen ble plassert slik luftstrømmen traff mellom de to løftemodulene, begynte de øverste waferne å sveve fritt på toppen av bunken når løftemodulene var i hevet posisjon. Dette førte til at waferne hadde en tendens til å sveve ut av isoporesken.

Rapporten av denne finnes i sin helhet i vedlegg III *Konsepttester*.

4.2.3. Konklusjon

Resultatet fra testen fortalte at en ny luftdyse og en ny plassering av denne, ville gi et større bidrag til singulering enn den som ble testet *Test av prinsipp*. Problemet med at waferne svevde kunne antageligvis løses ved å vinkle isoporesken. Det ble besluttet derfor å gjennomføre to nye tester.

4.3. Vinkel på isoporeske

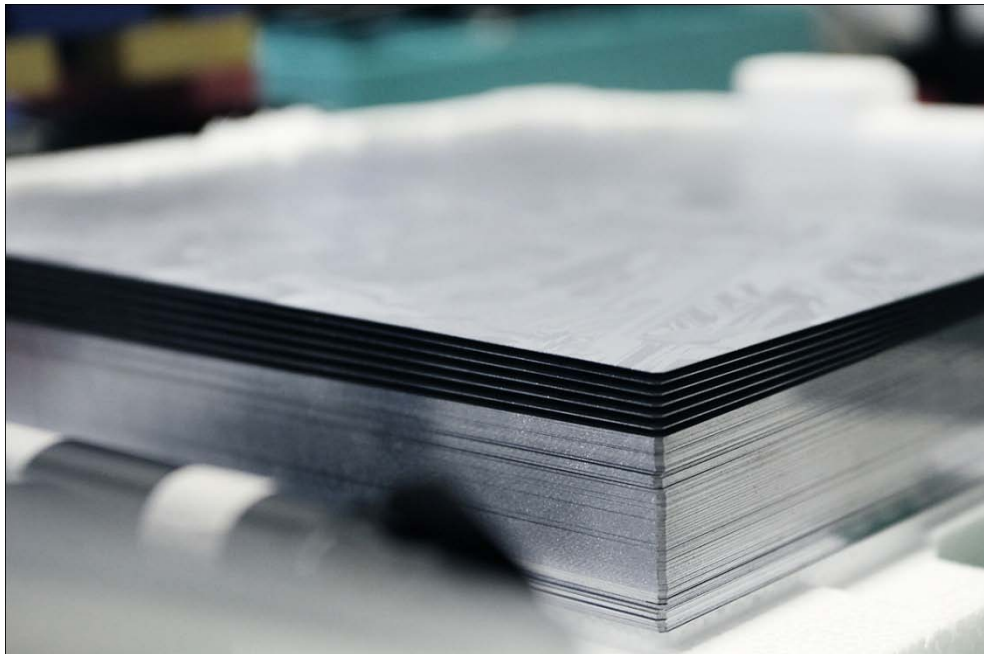
4.3.1. Bakgrunn

Den første skulle finne ut hvor mye isoporesken måtte vinkles for at waferne ikke skulle sveve ut av bunken.

4.3.2. Resultat og konklusjon

Resultatet og konklusjonen fra denne testen var at hvis isoporesken med waferer ble vinklet 1,6 grader. Eller med andre ord løftet 6mm i det ene hjørnet ville ikke waferne sveve ut av esken når det ble brukt en luftdyse.

Rapporten til denne testen finnes i sin helhet i vedlegg III *konsepttester*.



Figur 12, Bildet viser en isoporeske med bunke waferer. Man kan se at de 6 øverste waferne har separert seg. Nederst til venstre kan man se luftdysen som sørger for denne separasjonen. Isoporesken er hevet 6 mm opp fra underlaget i det nærmeste hjørnet.

4.4. Test av prinsipp 2

4.4.1. Bakgrunn

Resultatet fra testen; *Vinkel på isoporeske* ble brukt til å gjennomføre den andre testen som måtte gjennomføres ifølge konklusjonen i testen; *Plassering av dyser*. Denne testen hadde likt oppsett som *Konsepttest – Tostegsløft – Test av prinsipp*, men ble gjennomført med den nye luftdysen og den nye plassering av denne. Taguchi metoden ble igjen brukt for å analysere resultatene fra denne testen. Rapporten til denne testen som finnes i sin helhet i vedlegg III *Konsepttester*.

4.4.2. Resultat og konklusjon

Med den nye dysen og den nye plasseringa av den måtte det mindre bøyning av waferer til for å få en vellykket singulering. Det ble besluttet med begrunnelse i testresultatene for å designe en prototype hvor de kunne teste prinsippet fullt ut. Da med tanke på parametere som de på dette tidspunktet ikke hadde mulighet til å teste. For eksempel med tanke på hastigheten på singuleringen og om waferne kom til å oppføre seg likt ettersom man singulerte seg igjennom en full eske med waferer. Det skulle også gjøres en ny test. Denne testen skulle analysere hvor mye man kunne bøye waferne før de knakk og ble ødelagt.

4.5. Bøyingstest av multikrystalinske wafere

4.5.1. Bakgrunn

Bakgrunnen for denne testen var at ønsket om å finne ut hvor mye det gikk an å bøye en wafer før den knakk. Dette skulle gjøres på en slik måte at den maksimale høyden som det første steget av tostegsløftet kunne løftes kunne estimeres.

4.5.2. Resultater og konklusjon

Testen ble utført på flere wafere slik at det var mulig å danne seg et bedre bilde av hvor høyt det første steget i tostegsløftet kunne løftes. Resultatet fra testen viste at den laveste løftehøyden som førte til brudd var 11 mm. Dette var noe TV måtte ta hensyn til i den videre utviklingen av tostegsløftet som konsept.



Figur 13, Bildet viser en wafer i bøyingstesten. Waferen er her løftet 33 mm.

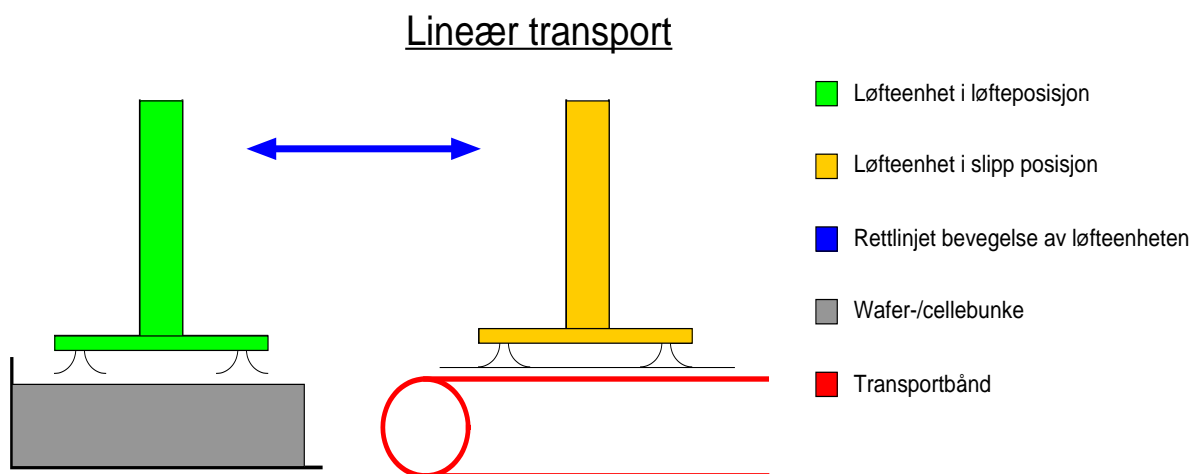
Rapporten til denne testen finnes i sin helhet i vedlegg *IV Styrkeberegninger*.

4.6. Transportløsning

Parallelt med testingen av tostegsløftet, ble det jobbet med å finne løsninger for transport. Med transport menes her bevegelsen som flytter waferen etter den er løftet opp fra bunken, og bort til transportbåndet. Det ble holdt en idémyldring hvor det kom frem flere alternativer. Det ble ansett at tre av disse alternativene hadde potensial til å utvikles videre. Alternativene fikk arbeidsnavnene *Lineær transport*, *Transportrobot med 3 armer* og *Transport med beltedrift*. De tre alternativene ble analysert slik at de kunne måles dem opp mot hverandre, og lettere bli presentert for TE.

4.6.1. Lineær transport

Prinsippet til det lineær transport alternativet besto av et enkelt prinsipp. En arm skulle bevege løfteenheten i en rettlinjert bevegelse fra løfteposisjonen over isoporesken bort til slippunktet over transportbåndet.



Figur 14, Illustrerer konseptet med lineær transport.

Fordeler

Dette alternativet ville være lett å realisere fordi det ikke trengte å inneholde mange komponenter. Det ville være relativt lett å lage et styringssystem fordi bevegelsen kun i en akse, og fordi alternativet tar utgangspunkt i at det kun skal brukes en løfteenhet.

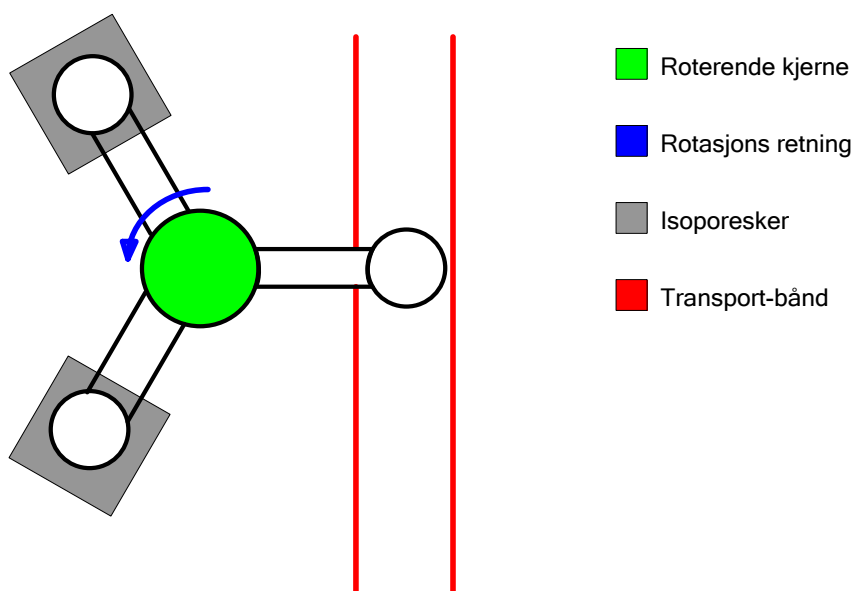
Ulemper

Den store ulemper med dette alternativet ble ansett til å være at det kunne bli en treg syklustid. Dette fordi etter en wafer/celle har blitt transportert til båndet, må løfteheten flyttes tilbake til utgangsposisjonen over isoporesken, før det kan utføres et nytt løft.

4.6.2. Transportrobot med 3 armer

Prinsippet med en transportrobot med 3 armer besto av en roterende kjerne med tre armer i samme høyde. På hver av armene skulle det være en løfteenhet. I utgangsposisjonen skulle to av armene stå over transportbåndet, mens de to siste skulle stå plassert over hver sin isoporeske. Det skulle i utgangspunktet singuleres ut ifra en isoporeske av gangen. Når en løfteenhet hadde hentet opp en wafer/celle fra isoporesken skulle kjernes roteres slik at neste arm sto over den samme isoporesken. Løfteheten på denne armen skulle da hente opp en wafer/celle. Når en løfteenhet som inneholdt enten wafer eller celle sto i posisjon over transportbåndet, skulle waferen/cellen slippes ned. Når den isoporesken som det hadde blitt singulert ut ifra var tom, eller inneholdt ødelagte wafere kunne transportroboten begynne å singulere ut i fra den andre isoporesken.

Transportrobot med 3 armer



Figur 15, Illustrerer konseptet med transportroboten med tre armer.

Fordeler

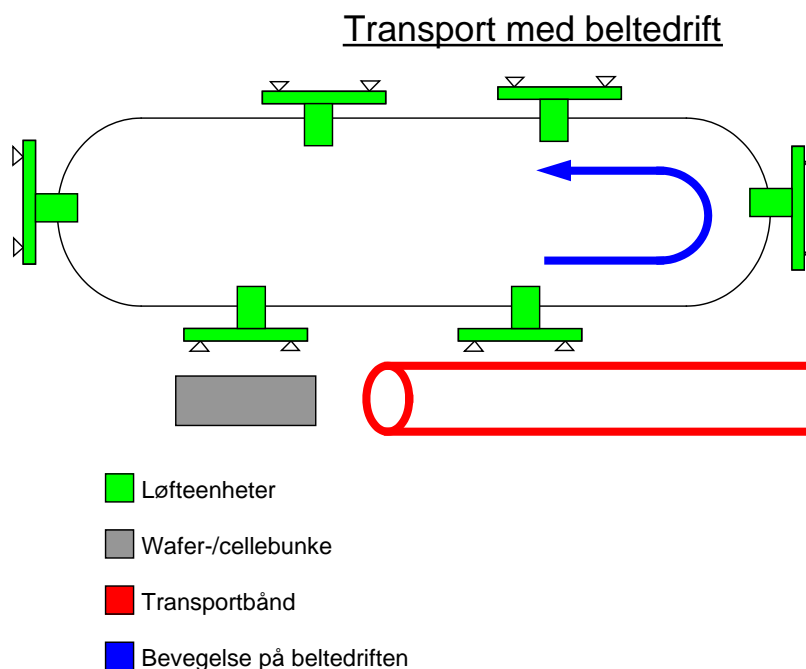
Transportrobot med 3 armer sin største fordel var at den tillot singulering ut fra to isoporesker. Dette ville føre til en lavere syklustid. Både fordi armene kunne gå kontinuerlig i en rotasjonsretning, og fordi man ikke behøvde å stoppe singuleringen for å bytte isoporeske. For mens en isoporeske ble byttet kunne transportroboten singulere ut ifra den andre. Roboten trengte heller ikke stoppes hvis det var ødelagte wafere i en isoporeske. Selv om TE hadde presisert at TV ikke skulle legge stor vekt på problematikken med ødelagte wafere/ celler som kunne forekomme i isoporeskene.

Ulemper

Slik TV så det ville et system med en 3 armet robot føre til et mer komplisert design. Det kunne bli komplisert å lage et styringssystem til en slik robot.

4.6.3. Transport med beltedrift

Dette alternativet var inspirert av et våsinguleringssystem som ble brukt i produksjonslinjen til REC, som TV hadde fått sett. Prinsippet her gikk ut på å ha en skinnegang med flere løfteenheter som var drevet av beltedrift. Skinnegangen skulle gå over isoporesken og transportbåndet, slik at e skulle passere over isoporesken for så bevege seg bort til transportbåndet. Tanken var at når en løfteenhet var over isoporesken skulle den løfte opp en wafer/celle, for så å slippe den når den var over transportbåndet.



Figur 16, Illustrerer konseptet med transport med beltedrift.

Fordeler

Den store fordelen med dette alternativet ble ansett til å være at man hadde en kontinuerlig prosess. Dette fordi beltedriften kunne gå kontinuerlig, og hele tiden sørge for at det kom en løfteenhet uten wafer/celle over isoporesken. En kontinuerlig drift ville gi lav syklustid.

Ulemper

Den største ulempen med et slikt system var det ville bestå av mange komponenter. Da særlig med tanke på antall løfteenheter et slikt system ville bestå av. Det ble også vist noe usikkerhet til om hvor presist et slikt system ville bli.

4.6.4. Diskusjon

Det ble ansett at de tre alternativene som ble analysert var mulig å realisere. Selv om alle de tre alternativene kunne realiseres, fantes det fordeler og ulemper hvis man veide alternativene opp mot hverandre. De mente at alternativet med lineær transport ville bli det alternativet som var det enkleste å realisere. De to andre alternativene anså de som alternativer som kom til å ta lengre tid og bli mer resurskrevende å realisere. Både med tanke på det fysiske designet, og med tanke på styringssystemet. Disse ville derimot gi lavere syklustid. TV hadde kun hadde et medlem med bakgrunn i mekatronikk, det var derfor viktig å velge et alternativ som ikke bød på for store utfordringer med styringssystemet. Disse to systemene ville også føre til at TE måtte gjøre en større investering i utstyr for at alternativet skulle kunne realisere dem. Alternativet som brukte roterende robotarmer hadde en fordel kontra de to andre, dette var fordelen med at denne kunne singulere fra to isoporesker. Dette kunne hjelpe til med å holde driftstiden oppe, fordi man ikke trengte å stoppe singuleringen når en isoporeske innholdt brekkasje eller var tom. Dette var derimot problematisk som lå på siden av oppgaven. Det ble ytret ønske om å få noen tilbakemeldinger fra TE, dette fordi de ikke ønsket å velge et alternativ som førte til at de endte opp med å designe en løsning som det allerede fantes enkle løsninger på. En annen grunn til at dette ønske ble ytret var at TE hadde gitt uttrykk for at de ville være delaktige i slike avgjørelser. Alternativene og vurderingene av dem ble presentert for TE.

4.6.5. Drøfting med TE

Etter at de tre alternativene var presentert for TE, ble alternativene drøftet i plenum. TE la vekt på at enkelheten av systemet var viktig. Dette fordi det var selve singuleringsprinsippet som skulle testes. Det var viktig å ha et transportsystem som hadde gode justeringsmuligheter. Et annet kriterium som var viktig var at prosjektet hadde et veldig begrenset tidsperspektiv. Det kunne derfor være viktig å velge et enkelt system. TE hadde også en horisontal servoakse liggende som kunne benyttes i prosjektet. Denne kunne brukes i alternativet med lineær transport. Servoaksen hadde gode justeringsmuligheter som definerbare start og stoppunkter, akslerasjon, retardasjon og hastighet. En slik servoakse var også lett å implementere i et styringssystem.

4.6.6. Konklusjon

Alternativene ble diskutert etter møtet med TE. Det ble enighet om å gå for alternativet med lineær transport. Det var flere grunner til det var dette alternativet som ble valgt til videre utvikling. Bruk av lineær transport ved hjelp av en servoakse gjorde jobben med å lage et styringssystem enklere. Dette var viktig fordi TV kun hadde et medlem med bakgrunn fra mekatronikk. En annen tungtveiende grunn var at syklustiden ikke var en kritisk faktor i oppgaven, og justeringsmulighetene til alternativet som skulle velges var viktigere. Hovedgrunnen var uansett at valget av lineær transport gjorde jobben med designet enklere. Dette var viktig fordi prosjektet gikk over en ganske begrenset tidsperiode. TV mente også det var viktig at TE hadde en servoakse tilgjengelig. Dette medførte at TE ikke trengte å bestille en spesifikt til dette prosjektet. Det var to grunner til at dette ble ansett som positivt. Det ene var at TV ikke behøvde å vente på å få en slik akse bestilt og levert. Den andre grunnen var økonomisk. TE hadde ikke gitt noen indikasjoner på at de ikke ville finansiere et de to mer omfattende alternativene. Derimot var det ingen grunn til å gjøre utviklingen av systemet dyrere enn nødvendig.

4.7. Detaljert løfteenhet - og singuleringsdesign

Resultatene fra *Konsepttest – Tostegsløft – Prinsipp-test 2* hadde gitt TV nok tyngde til å beslutte at dette prinsippet kunne testes videre med en prototype. Ut fra valget av transportløsning, ble det utviklet flere forslag til en enhet til å utføre tostegsløftet. Kriteriene for å utvikle disse forslagene var plassering av sugekoppene over isoporesken, løftehøyde for tostegsløftet, bruk av luftdyse fra siden og bruk av horisontal servoakse til transport.

Løft- og singuleringsdesignet var todelt:

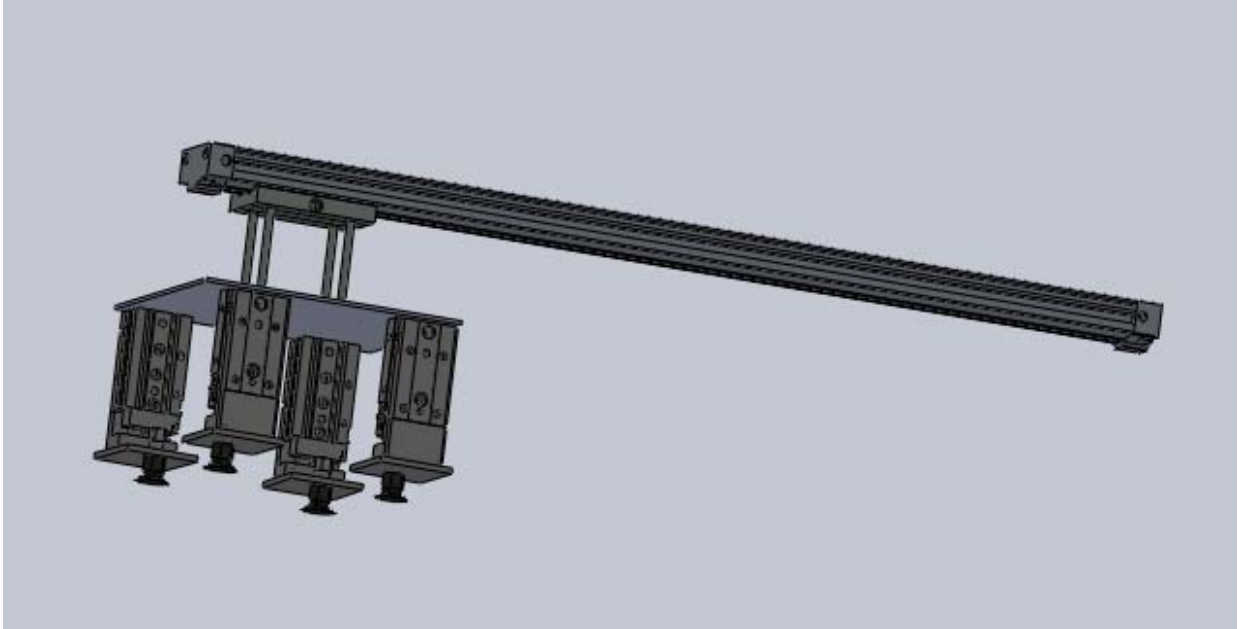
- Løfteenheten som skulle festes på servoaksen.
- Luftdysene som skulle bedre singuleringen.

4.8. Løfteenheten

Løfteenheten skulle ha til oppgave å gjennomføre tostegsløftet og bevege sugekoppene vertikalt i forhold til isoporesken. TV hadde fått låne ulike luftsylindere fra TE, og det ble valgt å bruke noen av disse som utgangspunkt for å utvikling av forslag til løfteenhet. Det ble tegnet tre ulike alternativer til en mulig løfteenhet.

4.8.1. Løfteenhet med fire luftsylindere

Dette alternativet hadde et oppsett med fire like luftsylindere som skulle styre hver sin sugekopp. Selv om alternativet besto av fire individuelle luftsylindere, skulle de fire luftsylindrene styres som to par med sylindere. Slik at hvert av de to parene sto for hvert sitt steg av tostegsløftet. Tostegsløftet skulle styres med en tidsforsinkelse i tilførselen av luft til de to luftsylinderparene. For å få luftsylinderparene til å utføre tostegsløftet skulle det først kjøres luft inn i det ene luftsylinderparet, slik at dette paret startet løftebevegelsen av et av parene med sugekopper. Det andre luftsylinderparet skulle få lufttilførsel med en liten tidsforsinkelse.



Figur 17, 3D tegning av alternativet: *Løfteenhet med fire sylindere.*

Fordeler

Et enkelt design, som ville føre til få komponenter som måtte maskineres ut av TE.

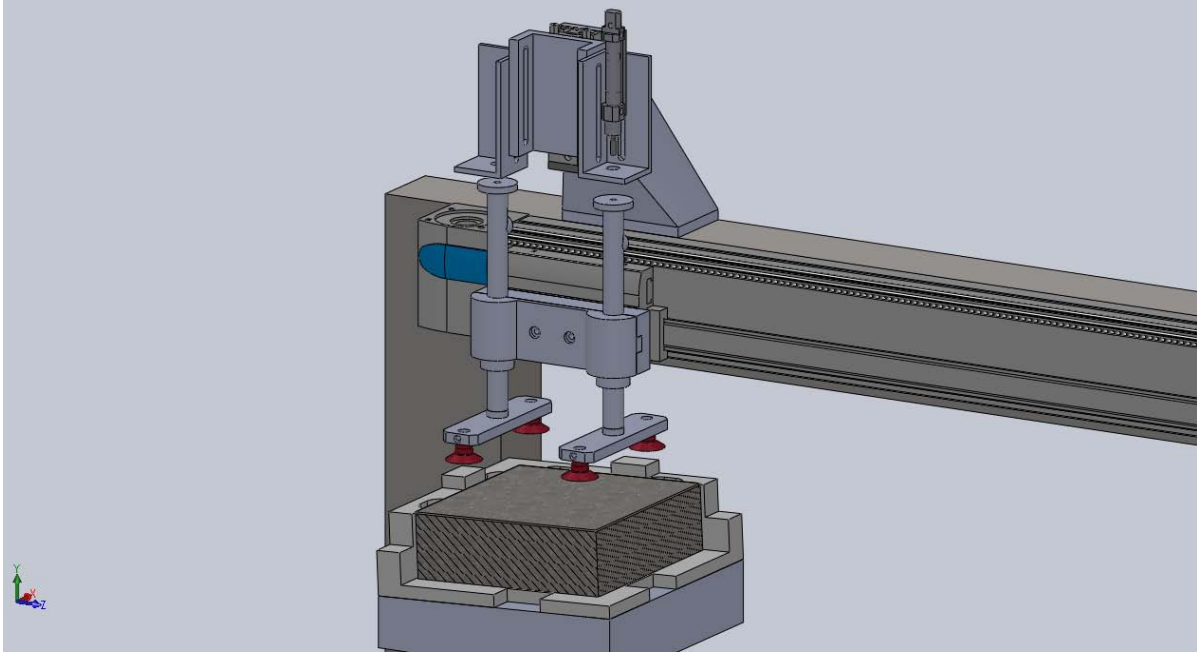
Ulemper

Det var en ulempe med dette designet, det var at designet ville inneholde mange bevegelige deler i form av de fire luftsyndere.

4.8.2. Løfteenhet med stag

Denne løsningen fokuserte på liten bevegelsesmengde. Tostegsløft med stag hadde luftsyndere stående fast over waferbunken, mens sugekoppene er festet til fjærbelastede stag på servoaksen. Her skulle de fjærbelastede stagene sørge for at sugekoppene var i hevet posisjon under transport av wafere/celler bort fra isoporesken, mens luftsyndere skulle sørge for at stagene med sugekoppene ble presset ned til isoporesken. Luftsyndere skulle ha en tidsforsinkelse som skulle sørge for tostegsløftet.

Gruppe 2010-3
Tørresingulering av Multikrystallinske -Si waferes/solceller



Figur 18, 3D tegning av alternativet: Løfteenhet med stag.

Fordeler

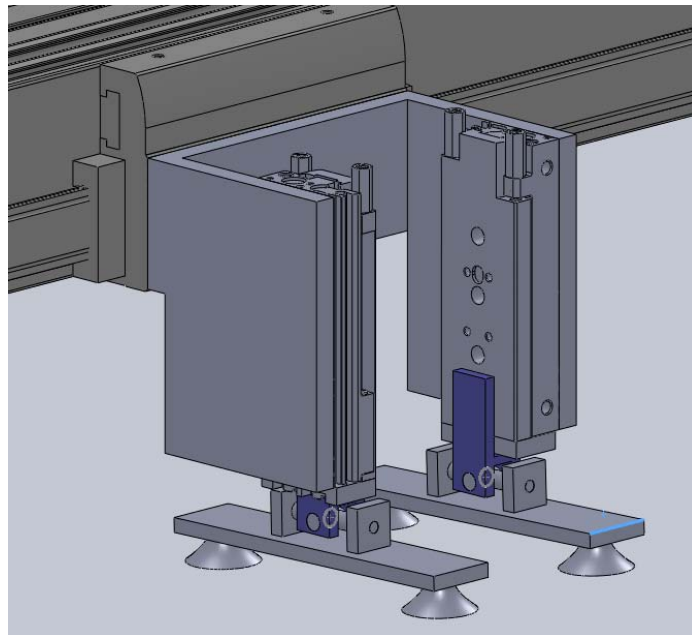
Et slikt alternativ ville føre til relativt lav bevegelsesmengde. Dette fordi luftsylindrene som skulle sørge for tostegsløftet var statisk plassert over isoporesken.

Ulemper

Dette var det mest kompliserte av design alternativene som ble utviklet. Det ble satt et lite spørsmålstegn til hvor lett det ville være å lage et styringssystem til denne løsningen.

4.8.3. Løfteenhet med to sugekoppmoduler

Det siste alternativet var en brakett festet til servoaksen. Braketten er utstyrt med to luftsylindere som styrer hvert sitt par med sugekopper. Hver luftsylinder hadde da til oppgave å utføre hvert sitt steg av tostegsløftet. Dette skulle som i de to andre to alternativene gjøres med en tidsforsinkelse i luftinnblåsing til luftsylindere.



Figur 19, 3D tegning av alternativet: Løfteenhet med to sugekoppmoduler.

Fordeler

Fordelene med denne løsningen var at den hadde et enkelt design og at den var uavhengig av horisontal bevegelse. Disse fordelene gjorde den enkel å implementere i et større system.

Ulemper

Ulempen med dette oppsettet var at den totale løftehøyden begrenset seg til løftehøyden til første steget.

4.8.4. Drøfting med TE

Alternativene ble presentert i et online møte. Det hadde på forhånd blitt laget noen simuleringer av de forskjellige alternativene, slik at prinsippene lettere kunne illustreres. Tilbakemeldingen var at alternativet med 4 luftsylindere ville være vanskelig å få til å kjøre synkront. Dette fordi det skulle lite til for å få forskjeller i luftstrømmen til sylindrene. For eksempel ville en bøy på en slange som sørget for lufttilførselen til en sylinder føre til at denne ikke ville oppføre seg som ønsket. Ved å bruke 4 sylindere som skulle jobbe synkront, økte sannsynligheten for at et slikt senario kunne inntreffe. Tilbakemeldingen på de to andre alternativene var at det var å bruke en servoakse istedenfor den ene luftsynderen. Grunnen til dette var at en tidsforsinkelse av lufttilførsel til luftsyndere ikke ville være nøyaktige nok. TE hadde en servoakse liggende som kunne benyttes i prosjektet.

4.8.5. Diskusjon

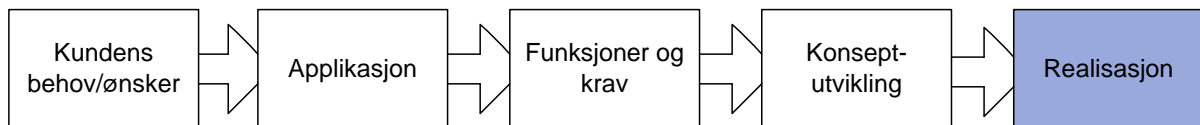
Alternativet med 4 luftsylindere ble forkastet, siden tilbakemeldingene fra TE var at det kunne være vanskelig å få luftsyndere til dette alternativet til å samhandle synkront. Det ble ansett at samhandlingen til komponentene til løfteenheten var kritiske, siden tykkelsen på wafere var liten, og at de i tillegg var veldig skjøre. De to andre forslagene ble ansett som realiserbare. Forslaget med to sugekoppmoduler ville være enklere å realisere med tanke på komponenter som skulle designes, mens alternativet med en løfteenhet med stag hadde fordelene av mindre bevegelsemengde. Siden det ikke ville være mulig å benytte seg av en tidsforsinkelse i lufttilførselen til å utføre tostegsløftet måtte alternativene forbedres slik at de benyttet seg av en servoakse til å utføre hovedløftet. Med hovedløftet menes den bevegelsen som løfte løfteenheten opp fra isoporesken.

4.8.6. Konklusjon

Valget falt på alternativet med to sugekoppmoduler. Hovedårsaken til dette var at den ville være enklere å designe, og besto av færre komponenter enn alternativet med en løfteenhet med to stag. Dette ville føre til at designprosessen ville bli mindre tidkrevende. Med tanke på tidsaspektet til prosjektet viktig. Nå som konseptet til løfteenhet og transport var valgt kunne det videre arbeidet konsentreres rundt realiseringen av dette konseptet. I tillegg kunne det jobbes mer aktivt med de avhengige funksjonene som singuleringssystemet skulle bestå av. Disse er nevnt i analyse dokumentet.

5. Realisering

Med konseptene for løft og transport kunne TV begynne å realisere disse. Det måtte også designes hjelpefunksjonene som systemet kom til trenge. Disse funksjonene ble bygd rundt konseptene til tostegsløftet og transporten av løfteenheten.



Figur 20, CAFCR-modellen, realisasjon er fremtredende

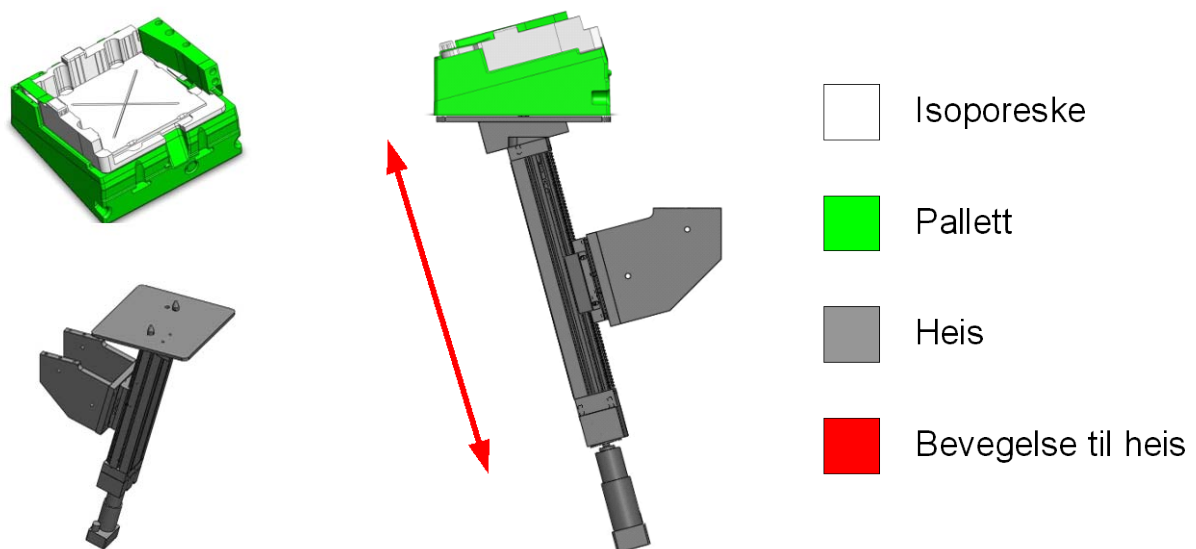
5.1. Transportbånd

Siden en del av oppgaven gikk ut på at waferne/cellene skulle avleveres på et transportbånd, måtte systemet inneholde et transportbånd. TV ønsket å benytte seg av et transportbånd som var helt likt som de TE allerede benyttet seg av i sine produksjonslinjer. TE var enig i dette og ga tilgang på et slikt transportbånd.

5.2. Nivåjustering av løft eller isoporeske

For å kontinuerlig kunne hente opp nye wafere/celler fra isoporeskene som disse skulle singuleres ut av, måtte systemet ha en nivåregulering. Grunnen til dette var at når en wafer/celle hadde blitt singulert og løftet ut av esken ville neste wafer/celle ligge på et lavere nivå enn den første. Systemet ville derfor være avhengig av å kunne justere seg etter hvert som wafer/celler hadde blitt singulert og løftet ut av isoporesken. Dette kunne løses på to alternative måter. Den ene alternativet var at løfteenheten for hver wafer/celle som ble singulert og løftet ut av isoporesken ble senket en wafer-/celletykkelse lengre ned i isoporesken. Slik at løfteenheten til en hver tid hadde muligheten til å nå ned til den øverste waferen/cellen i esken. Alternativt kunne isoporesken nivåreguleres en wafer-/celletykkelse opp for hver wafer/celle som ble løftet ut av isoporesken. Det letteste ville være å nivåregulere isoporesken. Dette fordi de mente at nivåregulering av løfteenheten ville føre til et mer komplisert system. Dette var basert på vurderingen at hvis løfteenheten skulle nivåreguleres, så måtte også posisjonen til luftdysen nivåreguleres. Dette fordi luftdysen alltid skulle blåse på de øverste waferne/cellene i isoporesken. Hvis det da ble fjernet wafer/celler fra isoporesken, og denne ikke var nivåregulert, ville luftdysen etter hvert som wafer/celler ble fjernet fra isoporesken blåse over de resterende waferne/cellene.

TV hadde på besøk hos TE sett at de benyttet seg av en heis til høyderegulering av isoporeskene i produksjonslinjen de hadde utviklet. Det ble spurt om til å benytte seg av denne heisen i designet av system. Det ble ansett som uproblematisk å benytte seg av denne heisen. Grunnen til dette var at nivåreguleringen var en avhengig funksjon i systemet. Altså en funksjon som ikke gikk direkte på problematikken i oppgaven.



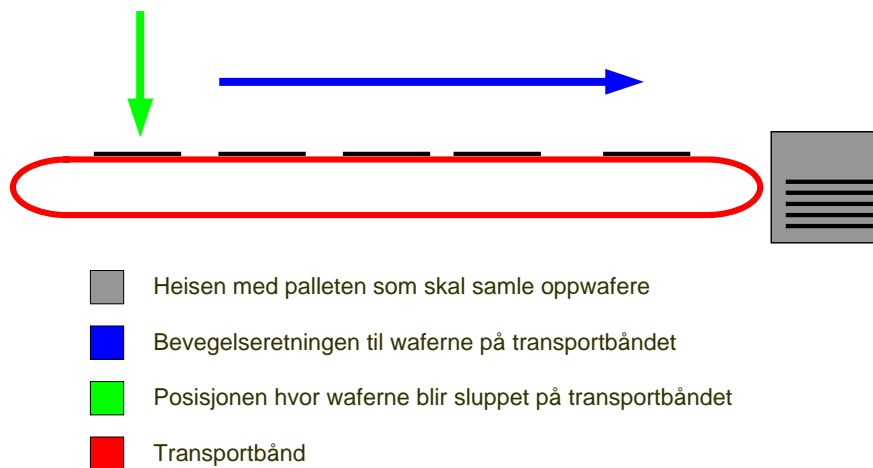
Figur 21, Bildet viser standardisoporeske, fra REC. Heisen og palletten er fra TE

TV mente det derfor ville være unødvendig å bruke ressurser på å utarbeide en løsning på en utfordring det allerede eksisterte en løsning for. Heisen som TE hadde designet kunne deles opp i to hovedkomponenter. Den ene var selve heisen, med motor og monteringsbraketter. Den andre hoveddelen var en pallett som holdt isoporeske på plass. Oppsamling av ferdigsingulerte wafere

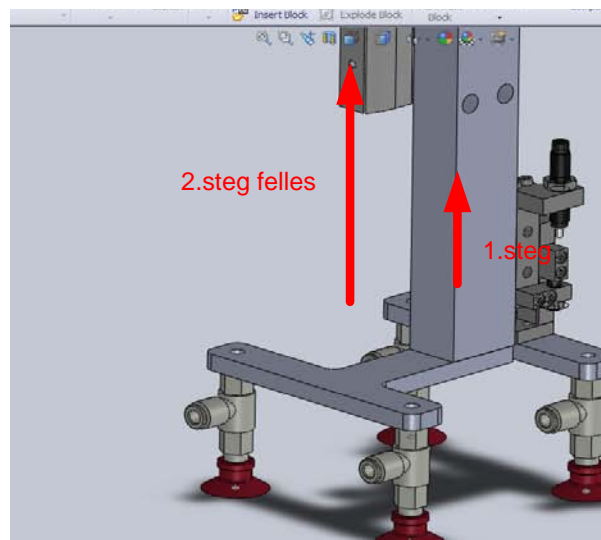
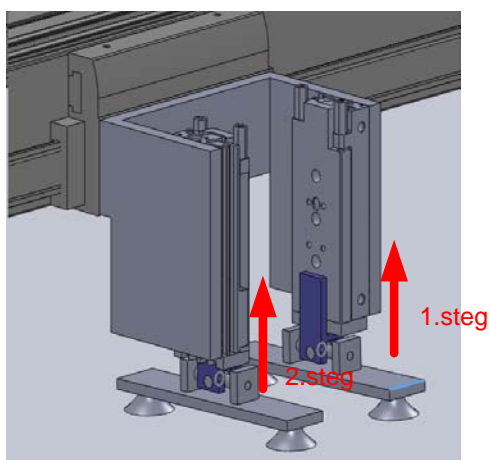
Systemet som ble utviklet hadde som oppgave å singulere wafere/celler og deretter løfte og transportere disse bort til et transportbånd. Siden TV ønsket at dette systemet skulle kjøre 2400 slike singuleringer og løft i løpet av timen, var det ønskelig å ha en oppsamlingsenhet for ferdigsingulerte wafere/celler i systemet. Dette for å unngå å måtte samle opp waferne/cellene manuelt etter at de har blitt lagt på transportbåndet når systemet kjørte. Å samle opp waferne/cellene manuelt ville bli resurskrevende. I tillegg kunne manuell oppsamling føre til brekkasje. De spurte TE om de kunne benytte seg av en TE sine nivåregulerte heiser til dette. Ønsket var at denne skulle være plassert i motsatt ende av transportbåndet enn der waferene/cellene ble sluppet ned på.

5.3. Realisering av løfteenhet med to steg

Designet av løfteenheten kunne nå fullføres. Den største endringen ble å bruke en liten luftsylinder til første steget, og en servoakse som både tok seg av det andre steget og løftet hele løfteenheten opp fra isoporesken. Siden servoaksen kunne programmeres slik at start- og stoppunkt på løftet kunne fritt bestemmes, ville denne endringen gjøre at total løftehøyde på løfteenheten enkelt kunne justeres.

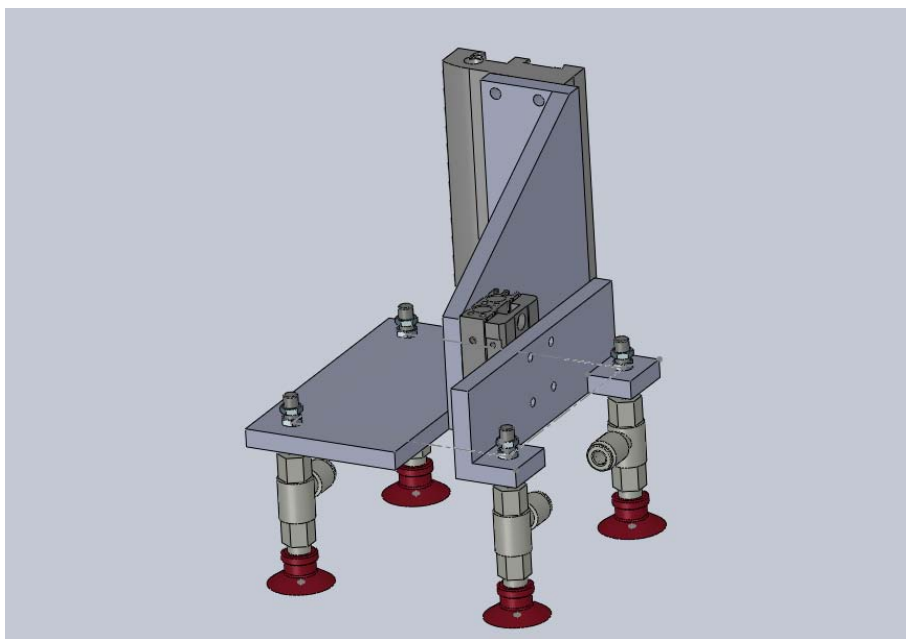


Figur 22, Illustrasjon av bruk av oppsamlingsheis.



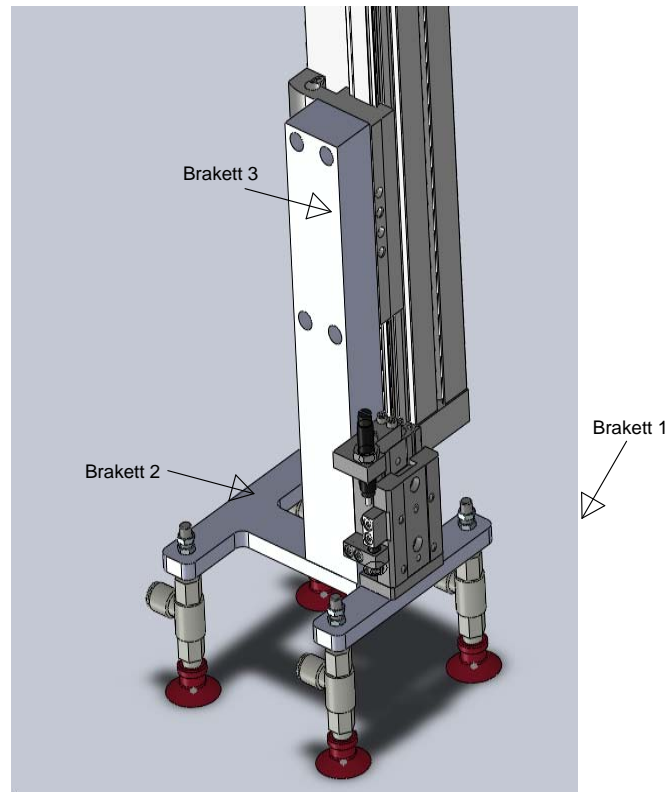
Figur 23, Bildet til venstre viser første utkast til designet av tostegsløftet. Bildet til venstre viser 3D tegningen av tostegsløftet, ved bruk av ny plassering av luftsylindrene.

I prosessen med å utvikle denne, ble det også jobbet med å velge sugekopper og å finne en passende luftsylander som skulle utføre tostegsløftet. Sugekoppene var av identisk størrelse og avstanden mellom første- og andrestegsløftet var lik som i LEGO™-testtriggeren. Luftsylandrene ble valgt ut fra krav om løftehøyde, og av ønsket om en så liten sylinder som mulig. Samtidig var det ønskelig å bruke en sylinder med mekanisk demping på sammentrekningsbevegelsen, for å minske vibrasjoner i waferne/cellene.



Figur 24, 3D tegning av et forslag til design på tostegsløftet.

Førsteutkast for bruk av vertikal servoakse og en luftsylander ble tegnet, og det ble fra TE informert om hvilke materialer, materialtykkelser og maskineringsmetoder som var tilgjengelige. En del endringer ble gjort av hensyn til dette. Ferdig design av løftemekanisme besto av tre braketter sammen med fire sugekopper og en luftsylander fra *SMC*.



Figur 25, Bildet viser 3D tegningen av det endelige designet på tostegsløftet.

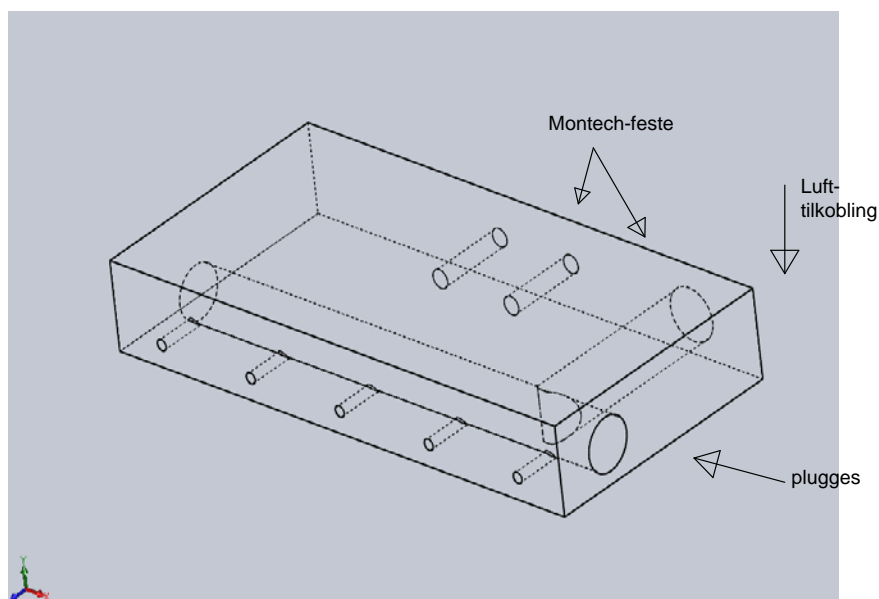
Dette designet ble godkjent av TE. Det ble derfor laget 2D-tegninger av brakettene. Brakettene 1 og 2, som hver holder 2 sugekopper, ble laget i vannskjærer av 8mm aluminium. Hovedbraketten 3, som holder de andre komponentene til servoaksen, ble maskinert fra 25mm aluminium. Luftsylinderen som ble valgt, var den minste modellen med utslagsstopper og demper på sammentrekning. Sugekoppene som ble valgt hadde innvendige gjenger for innfesting. Ønsket hadde i utgangspunktet vært utvendige gjenger, for å lettere kunne stille høyden på sugekoppene individuelt. Disse var derimot ikke tilgjengelige hos leverandør, og høydejusteringen kunne eventuelt løses med shimsing.

5.4. Luft

5.4.1. Luftdyseboks

Konsepttest – Tostegsløft – Prinsipp-test 2 konkluderte med at luften fra luftdysen var en medvirkende årsak til den vellykkede singuleringen i den testen. Det måtte derfor designes en dyse som skulle brukes i singuleringssystemet. I designet av dysen ble det fokusert på at luftdysen måtte komme minst mulig i konflikt med de andre komponentene som palletten eller isoporesken. Luftdyseboksen ble konstruert med flere dysehull enn antall dysehull som ble testet i *Konsepttest – Tostegsløft – Prinsipp-test 2*. Det ble også lagt vekt på at dyseboksen skulle være enkel å maskinere. Det ble ikke lagt vekt på at dyseboksen skulle ha estetisk fint design.

Maskinering jobben av dysehullene ga noen føringer for designet av dyseboksen. Ønsket var å bruke hull med diameter 2 mm. Diameteren på hullene som ble brukt i *Konsepttest – Tostegsløft – Prinsipp-test 2* var 2,5 mm. Fordelen med å bruke 2 mm istedenfor 2,5 mm, var at de kunne bores opp til større diameter senere, hvis 2 mm ikke gav gode resultater under senere testing. TE kunne derimot ikke maskinere ut lengre hull enn 5x diameter på hull med diameter 2mm. Siden dysene skulle plasseres nær waferbunken som mulig, ble det designet som vist nedenfor. Det store hullet på siden skulle plugges, grunnen til dette var at dette hullet var kun et hjelpehull for å kunne fordele luft til dysehullene. På baksiden sitter to hull med gjenger for å feste luftdyseboksen i en profil på ramma som måtte lages.



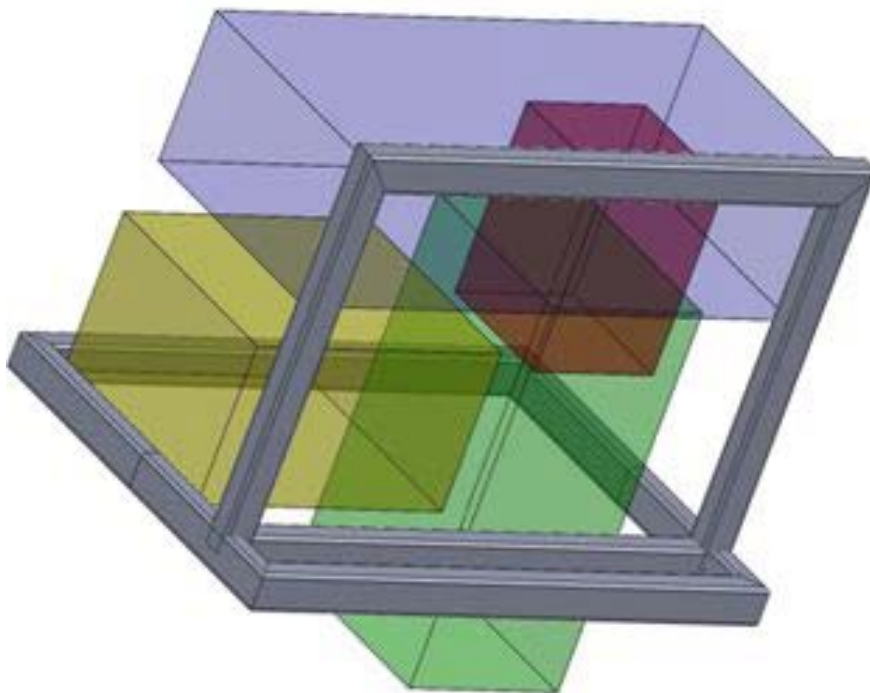
Figur 26, Illustrasjon av designet på dyseboksen.

5.4.2. Trykklufttilførsel

Systemet trengte også en form for tilførsel av trykkluft. Dette var nødvendig for å kunne føre luft til luftdyseboksen, og eventuelle stempler som ble brukt i det ferdige designet av løfteenheten. I tillegg trengtes det trykkluft til lufterjektoren for å lage vakuum til sugeskoppene. TV hadde tilgang til en lufttrykkfordeler på skolen som kunne brukes. TE sa at de hadde en luftventilboks som kunne styres ved hjelp av et styringssystem. Siden systemet uansett skulle automatiseres falt valget denne ventilboksen.

5.5. Ramme

Noen av hjelpefunksjonene var nå klare og det var mulig å lage et bindeverk for å holde disse sammen. Valget falt derfor på å designe en enkel ramme for å gjøre dette. Hovedkomponentene som skulle festes til rammen var horisontal servoakse med løftmekanisme, luftdyse, transportbånd og heisen som skulle holde isoporesken med wafere/celler. Det ble igjen gjennomførte en idémyldring. Denne gangen gikk idémyldring på hvordan designet av rammen skulle bli. Det ble lagd en skisse med komponenter som skulle på rammen deretter ble det tegnet en enkel rammemodell. Rammemodellen ble tegnet i en slik størrelsesorden at den lett kunne flyttes.

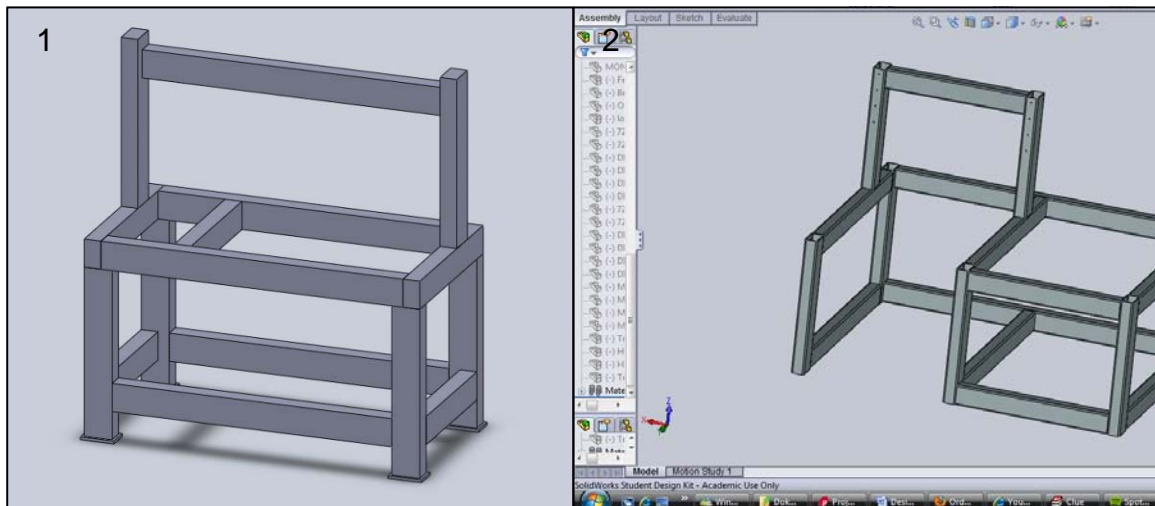


Figur 27, Figur 28, Illustrasjon av hvordan TV ønsket de forskjellige komponentene plassert i forhold til hverandre. Den blå boksen illustrerer plasseringen av servoaksen. Den røde boksen illustrerer plasseringen av løfteenheten. Den grønne boksen illustrerer plassering av heisen. Den gule boksen illustrerer plassering av transportbåndet.

5.5.1. Drøfting med TE

TE syntes det så greit ut, men foreslo å tegne rammen med fullt understell, av to grunner. Heisen som skulle brukes, ville komme til å stikke 30-40cm under rammen på det foreslåtte designet. Med fullt understell, kunne også rammen fungere som feste for elektroskapet. Understell ville også gjøre rammen mye mer stødig.

En ny modell av rammen ble tegnet etter veiledningen fra TE. Det ble også fokusert på å holde størrelsen på rammen nede, dette for å kunne få rammen gjennom dørene på skolen. Tegninger av ny modell ble sendt til TE.



Figur 29, 1. Bildet viser en 3D tegning av rammen som TV utviklet.
2. Bildet viser en 3D tegning av testrammen til TE.

Modellen viste seg å ha store likhetstrekk med en testramme TE hadde laget til egne utviklingsprosjekter. TE kom med forslag om at TV kunne overta denne rammen. Denne hadde elektroskap, en del ledningsnett, og fester for servoakse og heis som tilsvarte løsningen til det foreløpige designet.

5.5.2. Konklusjon

Etter diskusjon internt i gruppa, ble det enighet om å takke ja til overta testrammen til TE. Denne beslutningen ble gjort på bakgrunn av flere faktorer.

- Det satte ingen begrensninger for plassering av de komponentene TV ønsket å montere på rammen.
- Siden TV hadde gjennomført utvikling av en egen ramme før de fikk tilbud om å bruke TE sin ramme og likheten mellom rammene var stor, kunne TV fortsatt ha uforminsket eierforhold til prosessen og den ferdige løsningen.
- Designet av testrammen satte ingen begrensninger på justeringer og tester som TV ønsket å gjennomføre.
- TE sin ramme var for stor til å komme gjennom standard dørene på HiBu, men det ble klargjort at TV kunne plassere rammen på Brukersenteret på HiBu, som hadde stor port og nødvendige strøm og lufttilkoblinger.
- Ved å overta ramma fra TE, ville TV slippe å koble opp et eget elektroskap til systemet sitt. Dette var en arbeidsoppgave som lå utenfor oppgaven til TV. Dette var i tillegg arbeid som TV hadde forespeilet TE at de trengte assistanse for å fullføre. Dette fordi TV kun hadde et medlem med bakgrunn fra elektro.

5.6. Software

Siden singuleringssystemet skulle utføre en sekvens av handlinger. Skulle hver av servoaksene og ventilene ha bestemte signaler for å utføre sine bevegelser og funksjoner. Hvert av disse signalene kunne, i teorien, styres manuelt ved hjelp av et bryterpanel eller lignende, med tilhørende kretskort. Alle krav og betingelser for at en handling skulle kunne utføres, kunne også observeres manuelt. TV ville da endt opp med svært mange brytere og et behov for en svært observant person for styring av enheten. Dette ville vært et brudd på kravspesifikasjon ettersom enheten skulle være automatisert, og derfor uaktuelt. For å løse automasjonsutfordringen ble det derfor tatt i bruk et PLS-system fra Siemens; Simatic Integrated Automation. Tronrud bruker dette i deres automasjonssystemer, og det var derfor naturlig og benytte dette. Bruk av PLS var i utgangspunktet ønsket av TV, tross i at ingen i gruppa hadde noen som helst erfaring på dette feltet, da skolen har gitt opplæring i bruk/programmering av kretskort. Bruk av kretskort ville gitt flere vanskeligheter, ettersom det er tungvint å håndtere mange inputs og outputs, samt at programmeringen er langt mer krevende. Et annet argument for bruk av dette PLS-systemet var det faktum at Tronrud hadde et tilgjengelig og ønsket bruk av dette.

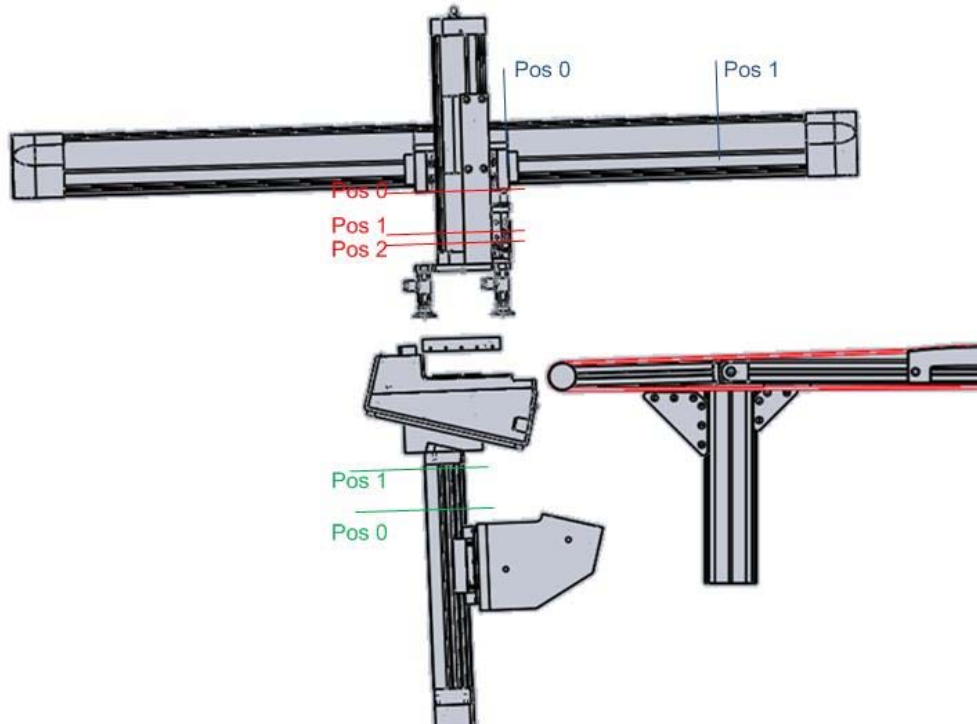
5.6.1. PLS

En PLS (Programmerbar Logisk Styring) er en liten datamaskin, oftest med prosessor, digitale/analoge inn- og utganger og kommunikasjonsmoduler. PLSen brukes til å styre automatiserte systemer, og er en erstatning for mangfoldige releer. PLSen opererer syklisk og begynner med å lese innganger, utganger og eventuelle lagrede minner. Med utgangspunkt i de verdiene den leser blir nye verdier beregnet og utgangene satt med de nye verdiene. Når utgangene er satt, starter PLSen en ny syklus.

Man programmerer et program på en PC og laster det inn på PLSens minne. PLSen leser gjennom programmet og gjør forskjellige logiske beregninger, setter utganger osv, på bakgrunn av hva programmet tilsier og hvilke verdier den leser på inn- og utganger og lagrede minner. PLSen TV fikk benytte var av typen Siemens 1212c, og programmet ble konstruert i Simatics tilhørende software; *Simatic Step 7 Basic* for 1200-PLS-serien.

Programmet ble konstruert i språket *LAD*, som er en type stigediagram. Softwaren ble konstruert med sju funksjonsblokker, som gjennomleses kontinuerlig, eller ved oppkall; *Main*, *Singulation_sequens*, *Vert_servo*, *Horizontal_servo*, *Reset*, *Auto_Pallett_1_deliver* og *Auto_Pallett_2_deliver*. *Vert_servo* og *Horizontal_servo* styrer henholdsvis vertikal- og horisontal servoakse. *Auto_Pallett_1_deliver* og *Auto_Pallett_2_deliver* styrer heis1 og heis2 som holder isoporesken med wafere/solceller. *Reset*-blokka kjører en reset-funksjon ved oppstart, eller kvittering av nødstop.

Før reset-funksjonen blir kjørt, har ikke aksene noe referansepunkt, og kjører derfor "i blinde". Under kjøring av reset-funksjonen kjører servoaksene og heisene sakte, i en bestemt retning til den treffer en mekanisk hindring, eller endebryteren. Endebryteren er sensorer som gir ut signaler når noe passerer/treffer sensoren. Når aksene treffer endebryteren/mechanisk stopp lagres dette punktet som nullpunkt/referansepunkt. Det punktet ble brukt som referanse for posisjonering ved kjøring av *Singulation_sequens*-blokka.



Figur 30, Grafisk fremstilling av posisjoner for servoakser og heis1

Singulation_sequens er den funksjonsblokk som tar for seg selve sekvensen for systemet. Denne kjøres kontinuerlig, så sant alle inputs, outputs og lagrede minner er som programmet krever. Sekvensen var selve grunntanken for hvordan systemet skulle fungere. Tabellen viser sekvensens handlinger, uten betingelser. Detaljert sekvensskjema ligger vedlagt.

Nr	Sekvens
0	Vertikal servoakse kjører ned til posisjon2. Vakuumpå.
10	Ledig.
20	Sjekker etter vakuumpå i sugekoppene. For
30	Luftsylinder kjøres opp.
40	Vertikal servoakse opp til posisjon1. Luftsylinder kjøres ned.
50	Horisontal servoakse kjører til posisjon1. Step heis1 og -2
60	Vakuumpå. Avblåst på.
70	Horisontal servoakse kjører til posisjon0.

Tabell 1, Forenklet versjon av sekvensskjema, sekvens til venstre og funksjon til høyre

5.7. Sekvensskjema

Sekvensskjemaet er et skjema som tar for seg sekvenssyklusen til singuleringsenheten. Det er satt opp som beskrevet i boksen under. Sekvens nr. XX med betingelsene for at en handling skal utføres øverst og deretter selve handlingen under.

**XX – Betingelse
+ Handling**

Figur 31, Illustrasjon av sekvensforløpet

**0 – Auto_Sequens = 0 * Vertikal servo i pos0 eller pos1 * Horisontal servo i pos0
* Luftsylinder nede * Pallett klar**
+ Vertikal akse ned til posisjon2
+ Vakuum på
+ Hopp til sekvens 10

10 – Auto_Sequens = 10 * Luftsylinder nede
+ Hopp til sekvens 20

20 – Auto_Sequens = 20 * Vakuum OK
+ Set Pop_off_timer_bit
+ Hopp til sekvens 30

**30 – Auto_Sequens = 30 * Vakuum OK * Luftsylinder oppe(timer som forsinket
sekvens 40)**
+ Luftsylinder opp
+ Hopp til sekvens 40

40 – Auto_Sequens = 40 * Vakuum OK
+ Vertikal servo til posisjon1
+ Luftsylinder ned
+ Hopp til sekvens 50

50 – Auto_Sequens = 50 * Vakuum OK * Vertikal servo i pos1
+ Horisontal akse til pos1
+ Set blow off-forsinkelse(forsinker sekvens 60, hvor blow off kjøres)
+ Hopp til sekvens 60
+ Step heis1
+ Step heis2

60 – Auto_Sequens = 60 * Horizontal servo i pos1

- + Vakuum av
- + Blow off
 - + Hopp til sekvens 70

70 – Auto_Sequens = 70

- + Horizontal akse tilbake
- + Hopp til sekvens 0

- Luftsylinderen er oppe i Auto_Sequens = 30 og 40.
- Vakuum er på f.o.m. Auto_Sequens = 0 t.o.m. Auto_Sequens = 60.
- Dysen på side står på gjennom hele sekvensen.
- Blow off kjøres i sekvens 60

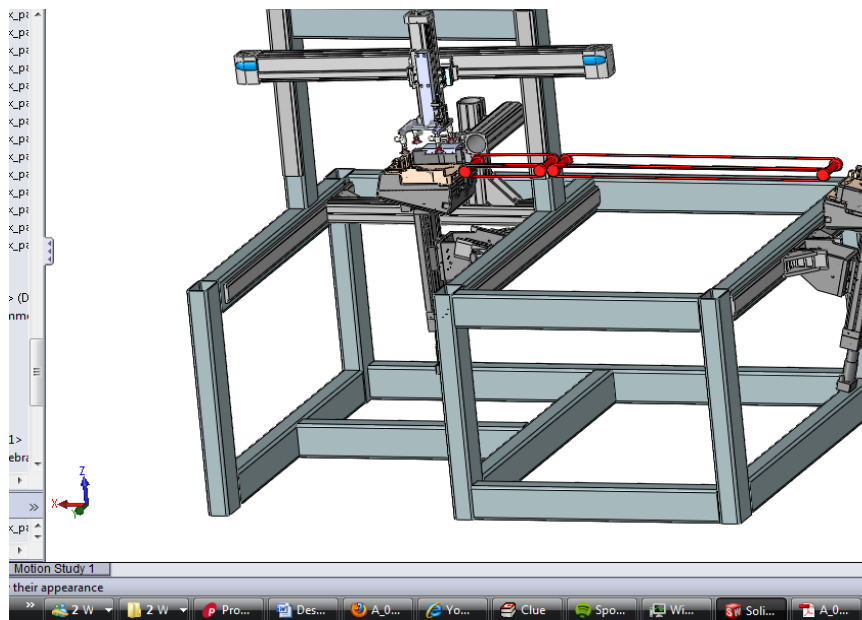
5.8. Sammenstilling

Siden TV nå hadde fått godkjent tegningene av løfteenhet, luftdyse av TE og i tillegg hadde tilgang på de andre nødvendige komponentene som trengtes for å lage en sammenstilling, kunne jobben med å sette dette sammen begynne. For å kunne binde de forselige komponentene sammen til rammen, ble TV anbefalt og bruke ferdige profiler, feste- og justeringsbraketter fra Montech sitt *QUICK SET-MOUNTING SYSTEM*. Montech er en leverandør som TE benytter seg av, og de ville bestille de nødvendige profilene, feste- og justeringsbrakettene som var nødvendige til å designe systemet. Det viktigste var å finne braketter som kunne feste luftdyseboksen og justeringsbraketter som kunne brukes på heisen som skulle holde isoporesken det skulle singuleres ut av.



Figur 32, eksempel på en sammenstilling med braketter og profiler fra Montech

Arbeidet med å finne de nødvendige Montech profilene var enkel. TV hadde allerede skisser på hvor komponentene skulle på rammen. Så var det kun å finne profiler og braketter som sørget for dette. Når de ønskede delene var funnet ble det lagd en hel modell av prototypen i SW.



Figur 33, Bildet viser 3D tegningen av monteringsanvisningen til singuleringssystemet til TV.

Ut ifra denne modellen ble det lagd en monteringsanvisning som skulle brukes når systemet skulle monteres. I denne monteringsanvisningen fulgte tegninger som forklarte plasseringen av de fleste komponentene som skulle brukes. Det var et komponent som ikke var tegnet inn, dette var laseren som systemet skulle bruke til å justere heisen etter. Det ble bestemt å sette den inn i ettertid, siden dette ville være lettere når man hadde prototypen ferdigmontert.

5.9. Implementering og bygging

Implementeringen av software og bygging av prototypen foregikk i TE sine lokaler på Hønefoss. Dette ble gjort fordi da der var det tilgang til TE sine verktøy og mulighet til å maskinere ut deler mens byggingen pågikk. Det var også mulighet til å motta hjelp fra en av TE sine ingeniører med implementeringen av softwaren som var utviklet. Dette viste seg spesielt nyttig fordi implementeringen viste seg problematisk. Dette arbeidet ble tidkrevende og det ble bruk for assistanse fra TE sine ingeniører. Monteringen av de fysiske komponentene som skulle monteres på rammen gikk relativt raske. Mye takket være monteringsanvisningen TV hadde laget av systemet. Monteringsanvisningen inneholdt ikke tegninger av oppsett av luftslanger. TV viste hvilke inn og utganger luften skulle ha i forhold til softwaren, så dette bød ikke på problemer. Rammen hadde på hadde allerede et kabelbelte som ble brukt til luftslangene som skulle brukes på løfteenheten. Det ble også montert et K-rør for å holde luftslangene samlet. Dette ble gjort for å hindre at slangene som gikk til de bevegelige delene skulle henge fritt, og potensielt utgjøre en trussel for personer som skulle bruke systemet.

Noen utfordringer ble det likevel. Noen bestillingsdeler ble forsinket på grunn av transportstansen, som kom som følge av vulkanutbruddet på Island. Det var også et par problemer med en av brakettene som ble maskinert ut til løfteenheten. Skrue hullene som var maskinert ut var ikke koniske, noe som var spesifisert i 2D tegningene av braketten. Dette ble rask fikset av en av TE sine maskineringsoperatører. Det ble også boret ut et ekstra hull i denne braketten. Dette ble gjort for å lettere kunne justere høydejusteringsskruen på luftsynderen på løfteenheten.

5.10. Diskusjon

Da prototypen var montert og softwaren var implementert ble det maskinen testet for å se om alle komponentene fungerte individuelt som forventet. Det ble ikke tatt noen hensyn til disse skulle ha samhandling med hverandre. Da dette var gjort ønsket TV å frakte systemet til brukersenteret på HiBu Kongsberg. Grunnen til dette var at TV ikke ønsket å bruke mye ressurser på å reise til Hønefoss for å teste prototypen. Hvis testingen skulle foregå på Hønefoss ville TV tape 3 timer med ressurser per person som måtte reise til Hønefoss hver dag. Siden det var forespeilet å bruke minimum to til tre personer på testingen, var dette et viktig argument for å få transportert systemet til HiBu. Motargumentet for transporten var at TV ville miste muligheten til å få assistanse av ingeniøren som hadde bistått med software utviklingen og implementeringen.

5.11. Transport

Det ble derfor besluttet å transportere systemet til HiBu da all implementeringen av softwaren var gjennomført. TV sto selv for transporten, ved hjelp av en henger. De fikk assistanse fra TE til å laste systemet på hengeren de brukte til transporten. De fikk også assistanse fra vaktmesteren på HiBu Kongsberg til å løfte systemet av hengeren.



Figur 34, Henting av prototype hos Tronrud

6. Testing og tuning

Etter at prototypen ble flyttet til Kongsberg ble det utført en rekke tester og mye tuning på den. Dette ble gjort for å få systemet til å oppfylle kravene fra kravspesifikasjonen. Med tuning menes det her små forandringer på systemet som påvirket robustheten til systemet. Dette arbeidet ble gjort i rekkefølgen at først ble det gjort tester. Testene ble analysert og deretter ble det gjort tuning og forandringer basert på resultatene fra testene. Etter tuning ble det igjen utført nye tester, og ny tuning. Det ble i dette arbeidet brukt hjelpemidler som Taguchi og høyhastighetskamera, for lettere kunne analysere resultatene. Denne prosessen fortsatte til systemet var klart til å kjøre test av testspesifikasjonen. Det ble kjørt en test med wafere og en test med celler.

Rapporten til testene finnes i sin helhet i vedlegg *IV Systemtester*

6.1. Modulintegrasjonstest 1 med Taguchi

6.1.1. Hensikt

Hensikten med denne testen var å finne ut hvilke parametre som hadde størst innvirkning på systemet. Det er tidkrevende med eksperimenter for å finne den mest korrekte innstillingen for hver komponent i singuleringssystemet. For å lettere kunne analysere resultatene

6.1.2. Konklusjon

Noen av parameterinnstillingene som ble testet hadde uønsket innvirkning på målingene. Men alle eksperimenter måtte kjøres for å få riktig resultat fra utregningene. Selv om resultatene ikke var veldig gode, så var dette en god begynnelse. Taguchis metode ga svar på hva som måtte testes videre. Det kom tydelig frem hva som hadde størst utslag på testresultatene.

6.2. Modulintegrasjonstest 2 med Taguchi

6.2.1. Hensikt

Hensikten med denne testen var å bruke Taguchi metoden til videre å justere de parametrene som man som hadde størst innvirkning på singuleringen i forrige test. Parametere som skulle justeres i denne testen var: Dysetrykk, vakuum i sugekoppene, høyde på tostegsløft og høyde på tostegsløft. Siden det var fire parametere med tre verdier hver, ble L9 matrisen benyttet til å gjøre beregningene.

6.2.2. Konklusjon

Justeringene som ble gjort ut ifra beregningene fra Taguchi metoden, hadde positiv innvirkning på vellykket singulering. En utfordring videre ble å justere steppinga til heisen med waferbunken og justere hastigheten på tostegsløftet og transporten.

6.3. Modulintegrasjonstest 3 med Taguchi

6.3.1. Hensikt

Hensikten med denne testen var å finne ut hvilke parametre som har størst innvirkning på systemet. Særlig med tanke på singulering ved hjelp luftdysen. Fra *Modulintegrasjonstest 1* kunne man observere at ved bruk av tre dysehull ga best resultat. Dette ble brukt som standard i "modulintegrasjonstest 2". For denne testen ble det utviklet en ny luftdyse med 2 nye hull med en diameter på 3 mm. Grunnen til at det skulle testes to nye hull, var ønsket om å se om større hull ville gi en bedre singulering. Diameteren på de nye hullene var 0,5 mm større enn de som ble brukt som standard. Siden vi hadde tre parametre med to variabler ble L4 matrisen valgt ut til å gjøre beregningene.

6.3.2. Konklusjon

I denne testen var fokuset rettet spesielt mot luftdysen, siden det har kommet fram at det var denne komponenten som hadde størst innvirkning på singuleringen. Ut fra resultatene så man at den nye luftdyseblokken med større dysehull ga et bedre resultat, enn den gamle luftdysen med tre litt mindre hull. Ved bruk av den nye dyseblokken ble det også registrert at det var mindre turbulens i waferbunken. Dette var positivt. Mye turbulens fører til at de waferne som svever på toppen blafrer kraftig. Dette er uønsket. I tillegg ble det registrert at avstand fra dysehull til waferbunke ikke hadde så stor innvirkning på singuleringen.

6.4. Fintuning av prototype

6.4.1. Hensikt

Fram til dette trinnet var tre tester utført med etter Taguchis metoden. Under testperioden viste det seg at selv den minste endring av komponentene ga kunne gi store utslag på singuleringen. For å oppnå gode resultater som tilfredsstillende kravspesifikasjonen ble det besluttet om å kjøre separat finjustering av hver enkelt komponent som hadde innvirkning på hele systemet.

6.4.2. Heis 1

Dette var heis 1 som sørget for at paletten med wafere holder seg på konstant høyde. For hver gang en wafer/solcelle ble plukket opp stepper heisen opp tilsvarende wafers tykkelse. Dermed blir henteposisjonen for løfteenheten den samme for hver syklus.

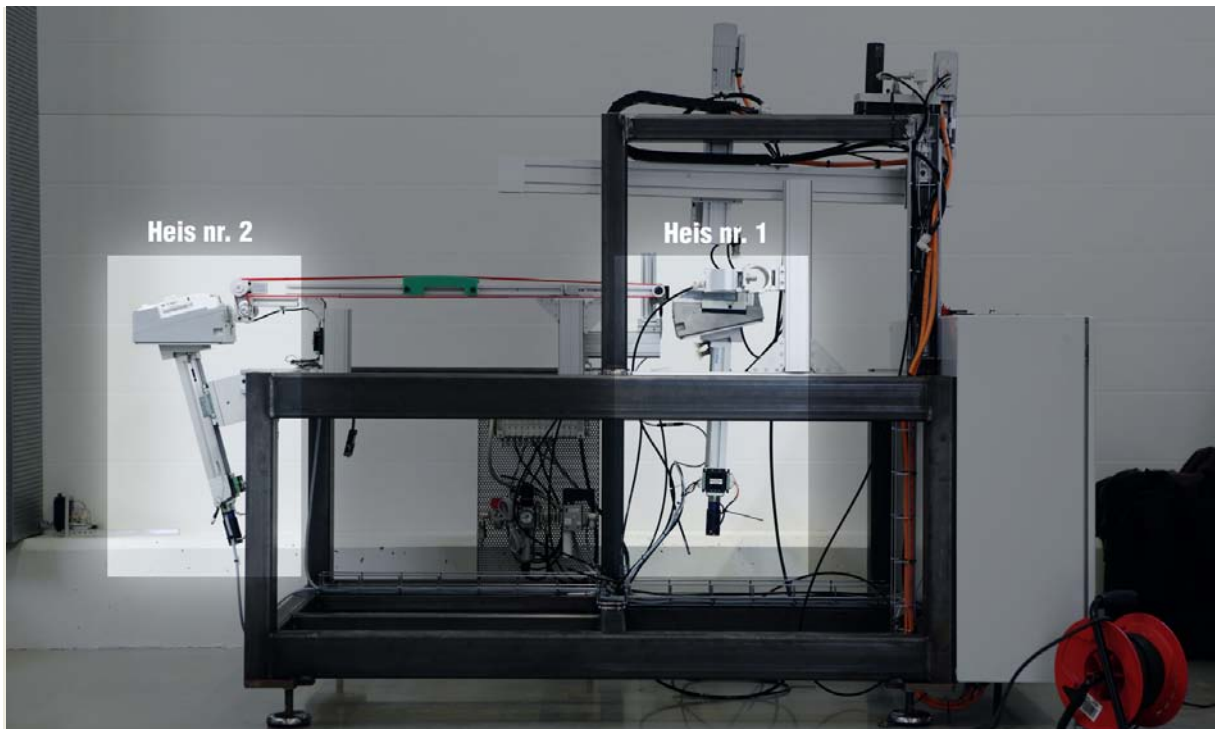


Figur 35, Bilde av heis nr 1 som sørger for at wafere holder seg i konstant høyde under opplasting.

I første fase ved finjustering av heisen hadde ble det brukt wafere i ulike tykkelser. Wafertykkelsen varierte fra 160 μm til 240 μm . Dette førte til unøyaktigheter i hele systemet siden for mye eller for lite stepping av heisen ga direkte utslag på singuleringen og tilgjengeligheten til systemet. Ved for mye stepping ble det observert at løfteenheten hadde en tendens til å ta med seg mer enn bare en wafer, dette førte til mye feilsingulering. Ved for lite stepping ble det observert at løfteenheten etter hvert ikke fikk tak i den øverste wafere. Dette var et resultat av at avstanden fra øverste wafer til løfteenheten var for stor. Dette førte til økt antall med reset og opplasting av palett, noe som hadde en negativ virkning på syklustid og oppetid.

Prototypen skulle ha en tilgjengelighet på 95 % av kjøretiden. Den skulle samtidig ha syklustid på maks 1.5 sekund. For å oppfylle kravspesifikasjonen var man avhengig av å ha en stabil stepping for å eliminere feilsingulering og øke tilgjengelighet.

etter hvert fikk TV tilgang til helt nye 160 μm wafere og 180 μm solceller. Dette ble brukt i siste fase av finjusteringen av heis1. Etter å ha kjørt flere runder med 200stk. wafere fikk vi bekreftet at stepping på 192 pulser ga optimal stepping for 160 μm wafere.



Figur 36, Oversikt over heisplassering på prototype.

6.4.3. Heis 2

Heis 2 var i utgangspunktet utenfor prosjektets oppgave. Den ble i utgangspunktet programmert til en fast posisjon uten stepping. Den eneste funksjonen denne hadde var å ta imot waferene/cellene som hadde blitt lagt på transportbåndet. Siden det ble kjørt opp til 200 wafere i løpet av en testrunde kom det fram ny en problemstilling. Første wafer som la seg i isoporesken hadde for stor fallhøyde, siden paletten måtte stå så langt ned at øverste siste wafer i bunken også kunne gli rett oppi. Det fallet påførte store belastninger på waferne. utfordringen ble løst ved å aktivere steppefunksjonen på denne heisen også, og i tillegg starte heisen i en høyere posisjon.

6.4.4. Laser

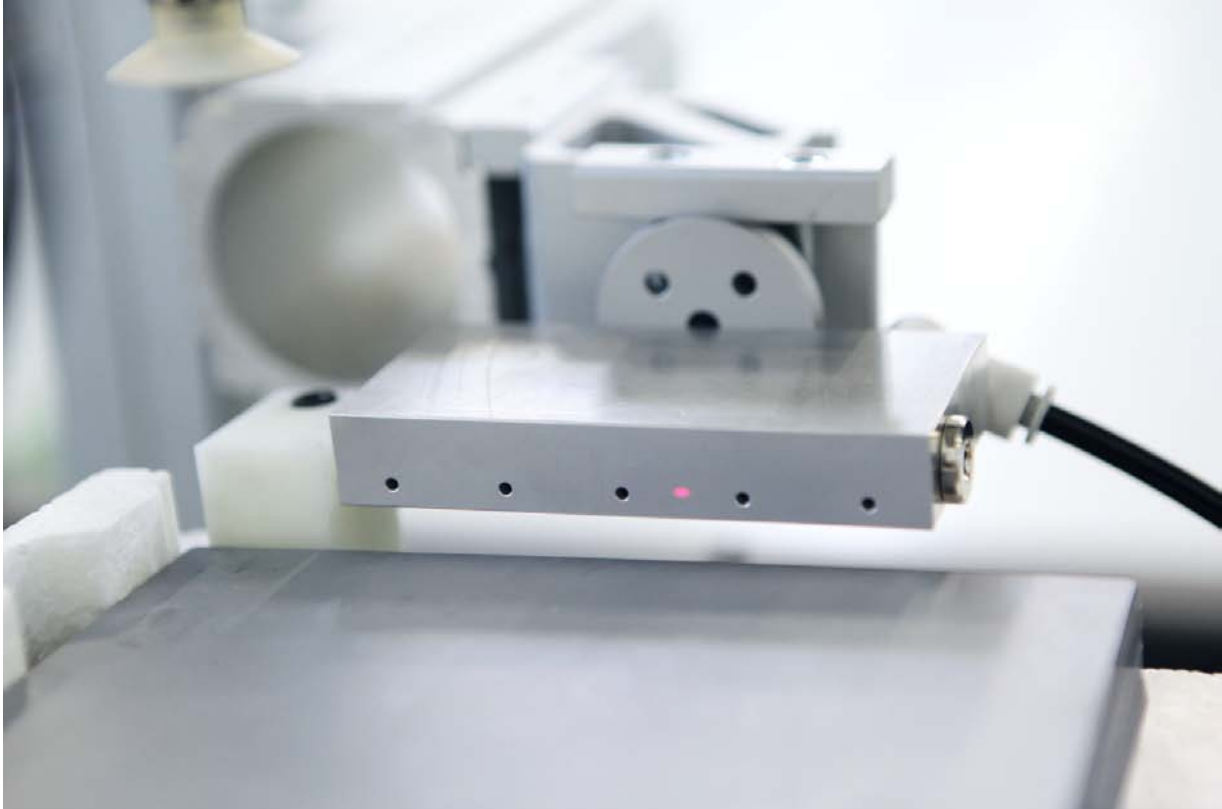
Ved opplastning av ny palett ble heis nr. 1 kjørt helt til den fikk stoppsignal. Dette signalet kommer fra en lasersensor. Denne lasersensoren sender en laserstråle i veibanen til heisen. I det heisen bryter laserstrålen sendes stoppsignalet til heisen, som stopper. Posisjonen til ble justert så lite som mulig, ettersom en endring krever endring av høyden på transportbåndet, startposisjon på heis2. I stedet ble posisjon2 på vertikalaksen endret, da dette ikke krevde andre justeringer i etterkant, men ga samme utslag som endring av laserposisjonen.



Figur 37, Nærbilde av laser som brukes i kalibreringen av heisen.

6.4.5. Luftdyseblokk

I singlueringsprosessen var luftstrømmen fra luftdyseboksen en av de viktigste faktorene som påvirket singuleringen. Dette ble også bekreftet ved testing med hjelp av Taguchis metoder. Fra disse testene kom det fram at dyseblokk med tre åpne dyser fra høyre side ga best resultat. Videre ble det kjørt enkle tester med forskjellige dyseåpninger. Kort oppsummert kan man si at hvis det er flere enn tre dyser som brukes så er muligheten for turbulens større. Turbulens er uønsket fordi det fører til mye blafring og vibrasjon i waferbunken. Ved bruk av bare en åpen dyse, ble luftstrålen kraftig, og det var heller ikke stabilt nok til å gi feilfri singulering.



Figur 38, Bilde av dyseblokk med alle dysehull åpne. Den røde prikken er laseren.

Ut fra disse observasjoner ble det laget en to nye dysehull på dyseblokken som er 0,5 mm større enn standardhull. Resten av dysehullene ble tettet med isoleringsteip. Etter testing med den nye dyseblokken kom det fram at det var den beste løsningen så langt. Det var en stor svakhet med bruk av isoleringsteip til å tette dysehull. Siden det var så høyt trykk på systemet holdt ikke teipen lenger tett etter en stund. Dette ble observert rett før test mot kravspesifikasjon. Da hadde vi allerede brukt minst 80 timer på feilsøking og finjustering. Prototypen fungerte ikke som forventet og det hele skyltes bare en isoleringsteip som ikke klarte å holde tett rundt dysehullene.

6.4.6. Sugekopper

En annen viktig faktor for singulering er valg av sugeskopper. I finjusteringsperioden ble det valgt å gå bort fra 28mm sugeskopper til fordel for 35mm. Disse har større flate og fleksibilitet. De nye sugeskoppene var bedre egnet til å feste seg i waferene. I tillegg måtte noen av sugeskoppene shimmes ned for å få dem i riktig posisjon.

6.4.7. Servoakser

Til finjustering av servoaksene ble det endret parametre i softwaren. Ved hjelp av et høyhastighets kamera kunne man se nøyaktig hver eneste bevegelse. Dette kameraet ble brukt til å finne optimale verdier i justering av servoakser.



Figur 39, Høyhastighetskamera som ble brukt til den mest detaljerte og presise finstyring.

7. Test av Kravspesifikasjon

7.1. Hensikt

Hensikten med denne testen var å sjekke prototypen opp mot kravene gitt i kravspesifikasjonen. Det skulle ikke endres på parametre i løpet av testen, denne testen var ment som en avsluttende test med de mest optimale parametre som vi hadde kommet fram til i løpet av testing og fintuning av prototype.

7.2. Konklusjon av test med waferer

Tilgjengelighet, automatiseringskravet og støynivået var de eneste kravene som ikke ble tilfredstilt av kravene fra kravspesifikasjonen. Automatiseringskravet ble ikke tilfredstilt fordi rammebraketten som ble brukt for å forhindre at waferne svedde over kanten på isoporesken ble fjernet manuelt i hver kjøring i testen. Dette ble gjort for å forhindre brekkasje. En ny og forbedret brakett ville fjerne behovet for at denne ble fjernet. Støynivået var 0,3 Db over kravet. Disse anses likevel ikke som kritiske overtredelser.

7.3. Konklusjon av test med solceller

Resultatene fra denne testen oppfylte ikke kravene fra kravspesifikasjonen. Av denne grunn var ikke resultatene tilfredsstillende. Hovedgrunnen til at testen ikke oppfylte kravene var det store antallet med stopp. De fleste av disse var resultat av at løfteenheten ikke klarte å løfte opp de to tre siste cellene i isoporesken. Dette førte til den lave oppetiden. Nede tiden som kom som et følge av at løfteenheten ikke klarte å ta tak i de 2-3 nederste waferne lå på ca 19 sekunder. På denne tiden måtte systemet stoppes, heisen og løfteenheten måtte resetes, heisen måtte så kalibreres på nytt, før systemet kunne starte igjen. En funksjon i softwaren som automatisk gjorde dette, ville redusert nede tiden betraktelig. Det ble også 44 dobbeltsinguleringer og 2 trippelsinguleringer. Disse singuleringene var antagelig et resultat av at luftdyseboksen ble justert før testen. Justeringen ble gjort fordi det virket til å være ujevn stepping på heisen, som viste forskjellige høyder etter sluttkjørt bunke. Luftboksen ble derfor justert slik at luftstrømmen separerte mange celler i isoporesken. Det er grunnlag til å tro at ved videre finjustering av luftdyseboksen vil det være mulig å redusere antallet doble og tredoble singuleringer. Det bør også gjøres funksjonstest på heisen. Dette var det ikke tid til på dette tidspunktet. Det var få brekkasjer i testen. Syklustiden på singuleringen i denne testen var innefor kravene til kravspesifikasjonen. Tatt i betraktning den relativt lave oppetiden er dette et godt resultat.

8. Videreutvikling

8.1. Innledning

Resultatet fra testen som testet kravspesifikasjonen vurderes til å være et godt bevis på at prinsippet med tostegsløft og luftdyser fungerer. Likevel har det gjennom prosjektet blitt observert at det er muligheter for flere forbedringer. Disse forbedringene kan deles opp i to hovedgrupper. Forbedringer som går på forbedringer som går på å gjøre singuleringssystemet mer robust, og forbedringer som går på å klargjøre prototypen slik at den kan brukes i industrien med tanke på design.

8.2. Forslag til videreutvikling av robusthet

Det ansees til å være flere faktorer som påvirker robustheten til systemet. Med tanke på tykkelsen til waferne som systemet er designet for. Bli en del av videreutviklingen å velge komponenter som kan justeres mer presist enn de som har blitt brukt på prototypen som er en del av systemet slik det er nå. Det kan også gjøres forbedringer på softwaren slik at systemet blir mer robust.

8.2.1. Innlastingsheis

Heisen hvor waferer og celler lastes inn i, utgjør en viss usikkerhet i systemet. Dette er basert på observasjoner som er gjort under testene og den tuningen som har blitt gjennomført. Da test mot kravspesifikasjonen på celler ble kjørt, ble det observert at avstanden fra undersiden av sugekoppene til oversiden av isoporesken var varierende, etter de forskjellige gjennomkjøringene. Det bør merkes at det var samme bunke med celler og samme antall celler som ble kjørt gjentatte ganger gjennom denne testen. På det meste ble det målt en høydeforskjell på 4 mm. Altså en høyde som tilsvarer over 20 celler. Denne høyden kan ikke forklares med det at løfteenheten tok med seg flere celler i et løft. Dette fordi at på det meste ikke ble registrert mer enn fem dobbeltsinguleringer på en og samme kjøring i denne testen. Problemet som oppstår som følge av dette er at heisen kan være for lav i forhold til henteposisjonen til løfteenheten og luftdyseboksen. Dette medfører at løfteenheten ikke får tak i waferne/cellene. Det er også gjort observasjoner under tuning av systemet som indikerer at heisen ikke stepper nøyaktig. Ved gjennomkjøring av en og samme bunke med enten waferer eller celler, har det blitt observert at løftehøyden til heisen har variert. Med løftehøyden på heisen menes høyde plasseringen av waferen/cellen som skal løftes ut av isoporesken. TV har ingen fasist svar på hvorfor det fenomenet inntreffer. Det er derimot tre teorier. Fenomenet kan være forårsaket av laseren som kalibrerer løftehøyden til heisen før singuleringen starter. En unøyaktig kalibrering vil gi et unøyaktig utgangspunkt på løftehøyden på heisen.

Fenomenet kan også skyldes softwaren eller en unøyaktighet i motoren som kjører heisen.

8.2.2. Laseren

Laseren som brukes til kalibreringen, er pekt horisontalt mot luftdyseboksen. Når heisen kalibreres, kjøres opp til waferbunken bryter laserstrålen. Laseren har en repeat accuracy $<0,1\text{mm}$. Dette kan føre til en unøyaktighet $0,0\text{--}0,2\text{mm}$, som tilsvarer ca en wafertykkelse. Samtidig er TV usikre på om sidekanten av bunken kan være en faktor som gjør laseren unøyaktig. Med dette menes hvor nøyaktig waferene ligger i bunken, som vil bestemme hvor flat sidekanten er. Hastigheten på heisen i kalibreringsprosessen kan også påvirke kalibreringen.

8.2.3. Softwaren

Årsaken til at gjennomkjøringer av en og samme bunke med waferer/celler gir utslag på løftehøyden til heisen kan være ustabilitet i softwaren. En mulighet kan være at det ikke blir kjørt stepping av heisen i hver syklus. Det er derimot ikke funnet noen indikasjon på at dette er tilfelle. Muligheten kan uansett ikke avskrives.

8.2.4. Motoren som kjører heisen

Fenomenet med forskjell på høyden til heisen ved identiske gjennomkjøringer kan også forklares med problemer med motoren eller motorkontrolleren til heisen. Det anses som usannsynlig, men det kan være årsaken til fenomenet.

8.3. Forbedringer

8.3.1. Laser

Det finnes flere forskjellige forbedringer som kan løse fenomenet med at stappehøyden til heisen varierer ved identiske kjøring. En mer nøyaktig laser, kan være redusere omfanget på fenomenet. Det kan aleine ikke forklare hele fenomenet siden det aldri har vært observert høydeforskjeller på 4 mm ved kalibreringen av heisen.

8.3.2. Software

En grundig analyse av softwaren kan være en enkel måte å få bort fenomenet. Det er ikke sikkert softwaren er årsaken. Er det derimot det, vil en analyse av denne kunne gi grunnlag til mulige forbedrer.

Det kan også legges inn en ekstra stappe funksjon i softwaren som trigges av at sugekoppene ikke får vakuu når løfteheten er i løfteposisjonen. Hvis det ikke dannes vakuu kan da heisen kjøres et bestem antall stepp opp. Dette antallet bør

være lavt. Siden manko på vakuum kan være et resultat av et waferen/cellen har en sprekk som går under en eller flere av sugekoppene. Hvis det utføres ubegrenset antall stepp vil da heisen med waferer/celler kjøres opp i løfteenheten. Dette vil føre til brekkasje

Det kan også legges inn en funksjon som kalibrerer heisen når singuleringen kjøres. Trykket til luftdyseboksen må da skrues av, før heisen kalibreres. Siden feilmarginen ved kalibrering av heisen ansees til å være mindre enn feilmarginen som er tilstede når en kjøring er kjørt, vil dette minimere problemet.

8.3.3. Motoren til heisen

Heisen med motor og motorkontroller kan byttes med en identisk for å sjekke om det feil med heisen som ble brukt.

8.3.4. Styring av trykk til luftdysen

Problemen som kom av fenomenet med høydevariasjonene etter en gjennomkjøring, kan reduseres med styring av trykket i luftdyseboksen.

Mulighet for trykkøkning på dysene ved manglende utslag på vakuumvakt, kan forhindre en stopp hvis noen sugekoppene ikke får tak i waferene/celle.

8.4. Tuningsforbedringer

Testene og tuningen som har blitt gjennomført på prototypen har gitt det svaret at hårfine justeringer kan gjøre store utslag. Skal systemet testes videre anbefales det derfor å bruke justeringsutstyr som gjør det mulig å gjøre små nøyaktige justeringer.

8.4.1. Høydejustering av høyde på luftdysen

En mulighet til justering av plasseringen til og vinkelen til luftdysen nøyaktig bør implementeres. Foreksempel ved hjelp av justeringsskrue kan justere høyden nøyaktig ned til 0,02mm. Dette kan gjøres ved hjelp av Montech sitt justeringselement, ADJUSTING ELEMENT EE-40. Denne nøyaktigheten bør sees i sammenheng med tykkelsen på waferne som har blitt testet.

8.4.2. Trykk i luftdysen

Det kan være fordelaktig å bruke en mer nøyaktig trykkregulator/manometer på dysetrykket. Trykkregulatoren som har blitt brukt i prototypen er vanskelig å justere nøyaktig.

Trykkluften til dysene kan også forbedres med softstart. Med softstart menes sakte økende trykk ved oppstarten av systemet. Dette vil føre til mer skånsom singulering av de øverste waferne i bunken

8.5. Isoporeske

En annen faktor som har påvirkning på singuleringen, er isoporesken waferne/cellene ligger i. Oppgaven har blitt løst med waferne liggende i disse eskene. Kravspesifikasjonen sier at waferne skal ligge i isoporesken ved innlasting i systemet, men systemet kunne vært bygd med en funksjon som tok waferbunken ut av transportboksen før singulering. Et forslag kan være å ha en annen form for innlasting, som fjerner waferne og cellene fra isoporesken og legger dem i en annen beholder før singulering. Dette åpner for nye muligheter for plassering av luftdyser, og materialer som er i kontakt med waferne.

8.5.1. Ramme til isoporeske

Bruken av luft til å separere waferne i isoporesken førte til en utfordring når isoporesken var full av waferer. Det som skjedde da var at waferne som ble separert og løftet som følge luftstrømmen fra dysene, svedde over kanten på isoporesken. Dette førte til at waferne ikke lå rett under løfteenheten. Dette ble i prosjektet løst med å lage en ramme som ble festet på toppen av isoporesken som skulle inn i systemet. Denne rammen løste problemet, denne rammen kan ha ført til brekkasje som følge av at waferne ble dratt langs sidene på rammen. Et annet problem var at de fire festepinnene på innsiden av rammen ikke gikk ned til bunnen av isoporesken. Dette gjorde at waferene som ble løftet opp traff kanten på disse festepinnene. I testen av testspesifikasjonen valgte, derfor ble rammen fjernet når systemet hadde singulert ut tilstrekkelig med waferer fra isoporesken, slik at systemet ikke lengre hadde bruk for rammen.

Det anbefales derfor utvikling av en ramme som er glattere overflate slik at waferne glir lettere opp langs rammen. Det anbefales også å lage festepinnene på innsiden slik at de går helt ned til bunnen av isoporesken.

8.5.2. Løft/transportbevegelser

Under testene som har blitt gjennomført er det forsøkt å variere hastigheten på servoaksene. Dette viste at det er en fin balansegang i forhold til stabiliteten i systemet. For høy fart, enten horisontalt eller vertikalt, førte til at flere wafere fulgte med løftemodulen på grunn av dragsug. Dette kom frem av analyse av høyhastighetsfilmene som ble tatt.

En ide som har vært diskutert er å øke vinkelen på waferbunken og servoaksen som holder løfteenheten. Dette vil kanskje holde waferne bedre på plass i bunken, men er samtidig usikre på om det kan forverre singuleringen, siden waferne da ligger tyngre mot bakveggen.

8.6. Forslag til videreutvikling av ferdig design

Prototypen som singuleringssystemet er bygd opp rundt, er bygd med tanke på gode justeringsmuligheter slik at prinsippet med et tostegsløft kunne testes. Skal systemet lages for å brukes i industrien anbefales det noen forandringer. I et system som skal brukes i industrien trengs ikke alle justeringsmulighetene har blitt benyttet i testene som er gjennomført. En del av disse justeringsmulighetene kan derfor fjernes. Slik at systemet blir enklere og dermed mer robust.

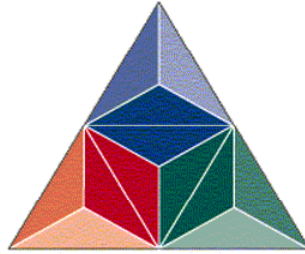
- Dyseboksen er laget med tanke på testing, og i et ferdig design bør dyseboksen ha et enklere design og innfestingene til boksen bør være færre og mer robuste justeringsmulighetene og dyseboksen bør forenkles med fjerning av ekstra dysehull. Dette vil føre til at paletten trenger mindre modifisering enn i prototypen.
- HMS. Prototypen har nødstop, men en ferdig utgave av systemet må ha deksler og skjerming for å møte støykrav og for å hindre at operatør kan bli truffet av bevegelige deler.
- Systemet må tilpasses standard produksjonslinjeskap.
- Det anbefales å bruke to singuleringssystem satt serie hvor hver ha lavere syklusetid for å oppnå en mer stabil prosess.

9. Konklusjon

Med de resultatene som er oppnådd med prototypen, mener TV at konseptet med tostegsløft har potensial til å løse problemstillingen med tørrsingulering av wafere/solceller. TV mener at resultatene som er oppnådd er representativt for prototypen med de komponentene, softwaren og syklustiden den er satt opp med.

Samtidig er det klart at det er en fintfølende prosess, og testingen viser at små endringer og variabler gir store utslag på resultatene. En viktig egenskap for et godt singuleringssystem er at det er stabilt og robust. Prototypen viser at det vil kreve videreutvikling av systemet for å oppnå disse målene, i form av de forslagene nevnt i videreutvikling.

Dersom det er ønske om en løsning som skal fungerer med ulike wafere/solceller uten å måtte gjøre justeringer, er ikke systemet presentert i prototypen god nok. Skal systemet brukes til en forhåndsbestemt wafer/solcelle-tykkelse, skal det mindre forbedringer til for å få systemet til å tilfredsstille kravspesifikasjonen.



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi

Evaluering av hovedoppgave

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller
TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFH03200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid,
Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven

Jamal Safi

Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi

Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Innholdsfortegnelse

1.	Evaluering av hovedoppgaven	1
1.1.	Tronrud Engineering	1
1.2.	Intern veileder	1
1.3.	Ekstern veileder	2
1.4.	Evaluering av TopValg som gruppe.....	3
1.5.	Faget	4
1.6.	Evaluering av oppgaven	4
1.7.	Generelt.....	6
2.	Evaluering av tid og ressursbruk	7
2.1.	Tidsplan.....	7
2.2.	Ressursfordeling.....	8
2.3.	Økonomi.....	8
3.	Personlig evaluering av hovedoppgaven.....	9
3.1.	Gunbjørn Kjernaas.....	9
3.2.	Lars Ola Birger Rimmereid	10
3.3.	Andreas Budak.....	11
3.4.	Viggo Røneid.....	12
3.5.	Tor Olav Sviggum.....	13
3.6.	Per Sveinung Norendal.....	14

1. Evaluering av hovedoppgaven

1.1. Tronrud Engineering

Ved valg av hovedoppgave for oss i TopValg var ønsket å kunne jobbe for en bedrift med god kompetanse, ettersom det gjør de små utfordringene enklere å forsere. Det gir muligheten til å sette større fokus på hovedutfordringen, samt komme i mål med oppgaven. Det var et av argumentene for å kontakte Tronrud Engineering i søknadsprosessen. Et klart motargument var avstanden mellom HiBu Kongsberg og Eggemoen, Ringerike. Avstanden tilsvarer i underkant av halvannen time kjøring hver vei, og ved hyppige besøk vil dette utgjøre mye tid og en del drivstoffutgifter. Motargumentet ble degradert da Tronrud ga beskjed om at de ville betale faktiske drivstoffutgifter. I tillegg var utfordringen rundt kommunikasjon et argument som hellet mot den negative siden i dette tilfellet.

Selv med dagens kommunikasjonsverktøy, som telefon og e-post, er det et faktum at kommunikasjon ofte blir bedre dersom bedriften befinner seg i nærområdet, slik at det kan holdes ukentlige møter eller lignende. Vi har holdt en jevn dialog med både ekstern sensor og ekstern veileder, og har i tillegg sendt ut ukentlige oppfølgingsdokumenter. Oppfølgingsdokumentene har inneholdt neste ukes arbeidsoppgaver og mål, samt en kort oppsummering av hvordan siste uke har gått. Detaljerte timerapporter har også vært vedlagt.

Å gjennomføre prosjektet hos Tronrud er noe gruppemedlemmene har verdsatt høyt, de har bidratt med kompetanse og løsningsforslag til våre små og store problem. Ved bygging av prototypen på Hønefoss har gruppen benyttet seg av deres verksted, vi fikk tildelt gulvplass og anledning til å bruke deres verktøy og maskiner. Prosessen med bygging på verkstedgulvet gav innblikk i hvor ryddig og strukturert bedriften er.

1.2. Intern veileder

Intern veileder for gruppa har vært Jamal Safi. Samarbeidet med han har stort sett vært bra. Det var noen misforståelser i starten, både om hva oppgaven vår handlet om og om innholdet i 1. presentasjon. Men dialogen med veileder og oppdragsgiver ble bedre etter hvert, og samarbeidet med Jamal har blitt bedre og bedre. Etter at han var med til TE på et møte, fikk han godt innblikk i deres drift og oppgaven.

Gruppa har opplevd at Jamal liker å presse og provosere litt for å få "vekke oss" til å bli engasjert og jobbe hardere. Noen ganger kan dette være et greit virkemiddel for å få i gang diskusjoner og bli utfordret litt, men til tider har det nok også slått andre veien, og ført at noen av gruppemedlemmene mister litt troen på arbeidet vi har gjort. Alt i alt føler vi likevel at dialogen vi har på møter har vært god. Jamal virket til

å være spesielt interessert i produktutviklingen og dokumentasjonen av denne, og har gitt oss inntrykk av at prosessen vår rundt dette har vært bra. At Jamal, etter ønske fra oss, fikk i stand samarbeid med Gerrit Muller, har vært viktig for vår prosjektgjennomføring. Vi hadde tidlig bestemt oss for aktivt å bruke hjelpemidler fra faget system design, blant annet utviklingsmodellen CAFCR, som Gerrit Muller har stor kompetanse på.

Når det gjelder prosjektstyring og oppgaveskriving synes vi det har vært noen utfordringer, for Jamal og oss, i forhold til at dette er første året med felles opplegg for data/elektro/maskin. Mange endringer i gjennomføringen av hovedoppgaven betyr selvsagt at prosessen blir til dels ny for veileder, og for oss i gruppa ser vi også at vi får mindre hjelp av å lese tidligere års hovedoppgaver.

Vi håper likevel at dokumentasjonen vår bærer preg av å være gjennomført og har en "egen vri" vist gjennom CAFCR-tankegangen, som har vært bakgrunn for oppgaveskrivingen vår. Denne tankegangen har vært tilrettelagt av, og oppmuntret av veileder.

1.3. Ekstern veileder

Morten Nordengen har vært ekstern veileder, men flere andre i Tronrud har også hatt veiledningsfunksjoner for gruppen. Jørgen haugen, ingeniør ved TE var veileder for oss frem til påske, da han gikk ut i pappapermisjon. Etter påske har vi hatt Kjell Ivar Vesleenga som kontaktperson. I forbindelse med utvikling av software har Sigurd Dahl vært en viktig støtteperson, andre ansatte i TE har vært involvert innenfor ulike fagfelt. Felles for dem alle, er at de har vært behjelpelige med å gi svar på våre spørsmål, bidratt med konstruktive tilbakemeldinger, eller referert til andre kontaktpersoner innad i bedriften.

En utfordring med veiledningen fra TE har vært avstanden til Hønefoss. På enkelte tema har vi nok brukt mer tid på interne diskusjoner og deretter forberedt samtaler med TE enn vi ville gjort hvis de lå i nærheten, og vi kunne kommet med skisser og problemstillinger hyppigere. Vi har gjennomført onlinemøter på ProjectPlace, og dette har fungert bra, men krever en del forberedelser og skaper ikke samme klima for diskusjon. Dette kan ha ført til at fremgangen i prosjektet, for TE, kan ha virket noe dårlig, samtidig som vi i gruppa tror vi har fått utfordret oss selv på problemstillinger som TE kanskje ville ha hatt enkle løsninger på. Ett eksempel på dette er valg av transportløsning, hvor vi brukte en del tid på å jobbe frem løsningsforslag ved å gjøre research og ha interne diskusjoner. Dette er en funksjon som det virker som det er ganske standard løsninger for i industrien, og i en prototype kommer prioriteringer som gjør at man velger løsninger som er enkle å justere.

1.4. Evaluering av TopValg som gruppe

TopValg er ei gruppe satt sammen av fem studenter fra produktutvikling og en student fra mekatronikk. Gruppen er derfor ved første øyekast skjevt lastet, men ser en nærmere på de forskjellige studentene er det en god sammensetning. I en Bacheloroppgave er det viktig å ha personer som hver for seg er flinke på enkelte områder. TopValg har en person som er spesielt god på dokumenthåndtering, en person som er flink med fotografering og grafisk design, en person med kunnskaper innen elektro, flere med gode evner innen 3D-tegning osv. Det gjør at vår plattform er stabil og et godt utgangspunkt.

Vi gjorde i tillegg Tronrud oppmerksomme på at gruppa kun hadde en student fra elektrolinja, og at det derfor var behov for hjelp, enten i form av design av elektrisk system og/eller konstruksjon av software, fra dem på den biten. Nå utartet situasjonen seg til at vi fikk el. konstruksjonen med ramma, og det var derfor naturlig at vår elektrostudent tok seg av software i form av program til PLS, oppsett av servoakser, innstilling av heis1 og -2 og funksjoner på touch-panelet.

På forhånd antok vi at det ville vært en fordel og være to ansvarlige på utvikling og tuning av software, men gikk bort i fra det pga behov for ressurser ellers. I ettertid ser vi at vi med fordel kunne fulgt planen om å lære opp et annet gruppemedlem til å i alle fall kunne gjøre endringer i parametre i software.

Gruppen har gjennom prosjektiden samarbeidet godt, og hatt en god dialog. Det har blitt holdt idemyldringer, diskusjoner og avstemninger om uenigheter. Alle i gruppa har taklet det profesjonelt og har opptrådt på en fin måte. Vi har og fordelt oppgaver og ansvarsområder både etter behov og kompetanse og hver enkelt har tatt sine ansvarsområder dypt seriøst. Vi har prøvd å ha en struktur der hver enkelt har et ansvarsområde, og har det helhetlige ansvaret for det området. Det vil si at den personen er ansvarlig for å delegere ut oppgaver og sørge for at de blir gjort innen fristen.

Underveis har det blitt gjort korrigeringer med bytte av ansvarsområde, grunnet kompetanse og visjoner om bedre resultat. Vi har og gitt hverandre konstruktiv kritikk og råd underveis, noe alle har forøkt å etterfølge. Prosjektlederens ansvarsområde har vært å ha et helhetlig overblikk over prosjektet og påpasse at hver person, ansvarlig for et område, gjør den jobben det kreves. I tillegg brukte vi prosjektleder som kontaktperson utad i innledende periode av prosjektet. Det for at bedriften skulle slippe å forholde seg til flere ukjente personer.

1.5. Faget

Faget prosjektarbeid, har vært fordelt med 5 studiepoeng høst 2009 og 15 studiepoeng vår 2010. Starten av faget inneholdt inndeling i prosjektgrupper, søke etter prosjektoppgaver og undervisning i prosjektarbeid. Hovedsensor informerte tidlig om at gruppene selv skulle samarbeide om søking etter oppgaver. Dette ble dessverre ikke gjennomført tilfredsstillende. Vi mener at gruppen vår hadde god struktur på å legge ut nødvendig informasjon på samarbeidsområdet, og fikk godkjent brevet vi sendte til bedrifter av hovedsensor. Likevel er det manglende samarbeidet mellom gruppene et felles ansvar for oss alle. Skal vi komme med forslag om endringer må det være noe mer styring av den tidlige prosessen, spesielt siden gruppene på dette tidspunktet ikke var ferdig etablerte. Det ble også undervist i prosjektgjennomføring i starten av faget, som gav en del gode tips om valg av fremdriftsmodell, fokusområder i et prosjekt og lignende. Generelt vil vi si at hovedtanken til faget hovedprosjekt hos Atek, Hibu er spennende. Kombinasjonen av å jobbe i en større gruppe og være i direkte kontakt med næringslivet, gir oss som studenter mange utfordringer som vil bli verdifulle ute i arbeidslivet.

1.6. Evaluering av oppgaven

En klar problemstilling og et klart mål. Waferne/cellene skal singuleres og hentes ut av bunken, en og en, for så å fraktes bort på et transportbånd. Alt skal være automatisert, hvilket er hele grunntanken bak oppgaven. Vårt system skal stå i front av en større sorteringslinje, denne også automatisert. Oppgaven har vært svært relevant i forhold til våre utdanninger, med mye maskin- og elektrorelaterte produkter, løsninger, framgangsmåter, tester osv. Som gruppe med ressurser fra to forskjellige fagfelt, har systems engineering også vært en sentral del av oppgaven. Vi har brukt det vi kan fra hver våres felt og samarbeidet om en prototype med klare innslag fra begge kunnskapsområder.

Utgangspunktet vårt før oppgaven var kunnskaper innen mekatronikk og produktutvikling. Vi hadde lite/ingen kunnskap rundt solcelleindustrien og automatiserte produksjonslinjer for solceller ved oppstart av prosjekt. Vi startet derfor med blanke ark. Tronrud var helt klare på at vi ikke skulle få noen føringer gjennom prosjektet, og at alle løsninger vi ender opp med, skal baseres på tanker og arbeid vi selv har gjort. Vi har framstilt vårt konsept på bakgrunn av vår egen fagkunnskap, konsepttesting (med utstyr tilgjengelig på HiBu) og utveksling av ideer internt i gruppa.

I analysedokumentet ble det først beskrevet at vi skulle benytte FMEA (Failure Mode & Effect Analysis), dette er en modell som brukes for å kartlegge feil som kan oppstå, vurdere alvorlighetsgraden og sannsynligheten for feilen. For deretter å utvikle produktet videre. Det ble vurdert i gruppen at, siden vi skulle utvikle en prototyp, og med all sannsynlighet skulle det ferdige produktet gjennomgå store endringer. Vi anså det derfor til at modellen ikke ville bidra til et bedre produkt og var derfor unødvendig.

I analysedokumentet er godkjenning av design beskrevet som en enkelthendelse, det har derimot vært en kontinuerlig samarbeidsprosess med oppdragsgiver, mot å utvikle designet til singuleringssystemet slik det foreligger i dag. Gruppen har benyttet nettmøter, elektronisk post, møter og telefonsamtaler for å bli enige om design og fatte beslutninger sammen.

Konseptet har, sammen med andre mulige løsninger, blitt lagt fram for Tronrud underveis, for godkjenning. Denne prosessen har gitt oss mulighet til å jobbe mye selvstendig, som var viktig for oss siden TE holder til på Hønefoss. I ettertid ser vi at dette har vært både positivt og negativt. Hadde vi lagt opp til enda tettere samarbeid med TE tidlig i designfasen, hadde vi kanskje kommet raskere frem til designdetaljer som ikke var direkte knyttet til singulerings- og løfteutfordringen. Eksempler på det er transportløsning, hvordan riggen skulle se ut, hvor de forskjellige komponentene skal være montert osv. Dette kunne ha ført til at vi kunne brukt mer tid på videreutvikling og testet flere alternative løsninger. På den andre siden kunne et tettere samarbeid, påvirket oss slik at vi som gruppe hadde blitt mer påvirket av TE i utviklingsfasen. Dette kunne ført til at vi som gruppe hadde mistet en del av eierskapet til oppgaven.

Gruppen setter pris på at TE har vært villige til å tilpasse oppgaven så den blir passe omfattende. Spesielt har mengden av elektro-/styringssystem, vært et kritisk område, siden TV kun har en person fra mekatronikk. Vi ser at ved å velge å bruke rammen til TE, etter å ha designet vår egen, og dermed sluppet en del arbeid med tegning og montering av elektroskap på rammen har gjort oppgaven gjennomførbar.

En givende faktor ved oppgaven, er at det selvstendige arbeidet har utfordret oss i å bruke vår egen tilegnede kunnskap, i for eksempel *Systems Engineering*. Å se at de utviklings- og testmetodene vi har lært, faktisk fungerer i praksis, er tilfredsstillende og har gitt oss mer selvtillit på våre egne evner. Samtidig har vi utover i prosjektet, fått mer og mer innblikk i måten TE jobber på, og de krav som stilles i denne typen produktutvikling.

Det sees på som positivt at TE har vært villige til å tilpasse oppgaven så den blir passe omfattende for gruppen. Spesielt har mengden av elektro-/styringssystem Vært et kritisk område, siden TV kun har en person fra mekatronikk. TV ser at ved å velge å bruke rammen til TE, etter å ha designet vår egen, og dermed slippe en del arbeid med tegning og montering av elektroskap på rammen har gjort oppgaven gjennomførbar.

1.7. Generelt

Utover overtagelse av ramma og tilhørende følger, har oppgaven stort sett gått etter planen, foruten enkelte utfordringer. Under byggingen av prototypen bestilte vi monteringsbraketter fra Montech i Sveits. Her støtte vi på en aldri så liten utfordring, ettersom vår bestilling, ved en feiltagelse, ble sendt ned igjen til Sveits etter å ha ankommet Norge. Det i seg selv ga oss bare mindre forsinkelser, men da et vulkanutbrudd på Island stengte nærmest all flytrafikk i hele Europa ble det større forsinkelser. Vi måtte da, som nevnt ovenfor, finne på alternative løsninger for montering inntil vår leveranse ankom Norge for andre gang. Situasjonen var en lærerik tankevekker.

I tillegg til utfordringer med askefaste bestillinger, har kommunikasjonen med Tronrud hatt forbedringspotensiale. Enkelte ting kan vanskelig forklares i en muntlig dialog, og må dokumenteres skriftlig eller visuelt for å være sikker på at alle parter har 100 % forståelse. I enkelte situasjoner kunne vi hatt en bedre dialog med Tronrud, da noen ting vi anså som innlysende, ikke var fullt så enkle å forstå for en "utenforstående".

Alt i alt har oppgaven vært svært givende for samtlige i gruppa, og en fin ende på tre år ved HiBu Kongsberg. Vi er godt fornøyd med oppgaven, og framgangsmåten for å løse denne. Vi er dessuten stolte av å ha kommet med en løsning som vi mener har et stort potensial for videre utvikling. Vi som gruppe og enkeltindivider, har utviklet oss både personlig og faglig, og har samlet sett et bedre inntrykk av en ingeniørs arbeidsdag i bedriftssammenheng.

2. Evaluering av tid og ressursbruk

2.1. Tidsplan

Dette prosjektet har vært det mest omfattende prosjektet vi som studenter har hatt ansvaret for. Ingen av oss hadde særlig erfaring med tidsplanlegging i sammenheng med et slikt prosjekt. Noe teori om tidsplaner og bruk av disse hadde medlemmene fått opplæring i gjennom fagene *System Engineering 1 og 2*.

Det ble i prosjektplanen som ble utarbeidet i starten av prosjektet, lagd en tidsplan. Denne tidsplanen inneholdt aktiviteter og estimert tidsbruk. I denne planen ble ikke alle tidsressursene som var til rådighet i prosjektet fordelt. Dette ble gjort fordi vi anså at de ressursene som ikke var fordelt ville komme til nytte når vi så hvor krevende de enkelte aktivitetene kom til å være. Tidsplanen ble fulgt gjennom prosjektet. Det ble gjort endringer på planen underveis i prosjektet. Grunnen til at det ble gjort forandringer på tidsplanen var at prosjektet forløp seg annerledes, enn slik vi antok det ville forløpe seg på det tidspunktet hvor tidsplanen ble utarbeidet.

Et eksempel på dette var at vi antok at det ville bli klare tidskiller i utviklingsarbeidet. Først idemyldring, valg av konsept, så designing av konsept osv.. Slik utviklet derimot ikke arbeidet seg. Vi konsentrerte oss først om selve singuleringen, siden det var dette som var hovedutfordringen. Da designet til løftemekanismen var ferdig, jobbet vi videre med systemet rundt denne enheten. Siden utviklingsarbeidet ble delt opp i deler, kunne ikke aktivitetene som sto på tidsplanen avsluttes etter planen. Vi lot seg ikke stresse av dette, selv om aktivitetene ikke kunne avsluttes etter planen så fikk de gjort en del arbeid på aktiviteter som etter planen ikke skulle ha begynt på dette tidspunktet. Dette gjorde at vi i det store og hele lå etter planen.

Senere i prosjektet fikk tilbudet om å overta en ramme fra TE. Vi takket ja til dette tilbudet, siden dette ikke hadde noen innvirkning på utviklingsprosessen vi var inne i. I tillegg var ramma tilnærmet lik den ramma som vi hadde utviklet og tegnet. Fordelen med å overta ramma fra TE mente vi at vi kom til å spare 300 timer på montering av ramma. Timene som ble spart kom særlig på grunn av at vi ikke trengte å koble opp det elektriske skapet. En arbeidsoppgave som uansett lå på siden av oppgaven, og en arbeidsoppgave vi hadde opplyst TE om at de trengte en del assistanse til å gjennomføre.

Timene som ble spart ble fordelt på andre oppgaver. De fleste ble flyttet til testing og tuning av prototype, grunnen til dette var at vi hadde erfart at testing var mye mer tidkrevende enn antatt da tidsplanen først ble lagd. Dette viste seg i ettertid som fornuftig siden testinga og tuninga av prototypen viste seg veldig krevende. Timene som ikke ble fordelt i starten av prosjektet ble fordelt etter behov etter hvert som prosjektarbeidet gikk fremover. Disse timene viste seg veldig nyttig å ha mot slutten av prosjektet.

2.2. Ressursfordeling

Arbeidsoppgavene har blitt diplomatisk fordelt. Særlig i starten av prosjektet. Siden dette er et prosjekt som er ment til å gi oss tverrfaglige erfaringer. Vi har derfor fordelt oppgaver slik at alle har fått mulighet til å delta på forskjellige arbeidsoppgavene hvis dette har vært ønskelig. Etter hvert som prosjektet har utviklet seg har vi sett sterke sider hos oss har fordelingen av arbeid blitt litt mer spesifikk. En oppgave som har vært fordelt på en og samme person igjennom hele prosjektet er ansvaret for hjemmesiden til prosjektgruppa, dette fordi ansvarspersonen her hadde klart størst erfaring og kompetanse på dette feltet.

2.3. Økonomi

Når det gjelder budsjettet hadde vi estimert 8500 kr. Dette var et budsjett som var beregnet ut ifra kostnader vi som gruppemedlemmer kom til å betale. 4500 av disse var beregnet til kjøreutgifter fordelt på 3000 km med kjøring. TE opplyste om at de kom til å dekke de faktiske kjøreutgiftene, disse utgiftene ble derfor ikke ført som utgifter på budsjettet.

Da omfanget av softwareutviklingen ble klar og det ble klart at vi måtte sende softwareansvarlig på opplæring hos TE ved Hønefoss. Det ble klart at dette kom til å sørge for at km antallet kom til å overstige 3000 km. Dette ble ordnet med TE så fort som vi ble klar for det. Når det gjelder de andre kostnadene i budsjettet ligger prosjektet an til å komme under budsjett. Dette er mye fordi TE dekket utgiftene som var budsjettet til utskrift av hovedrapporten. En annen grunn var at vi fikk utskrift av plakaten til kostpris. Alle utgiftene er ennå ikke ført, siden vi ikke har fullstendig klarhet i alle utgiftene som kommer til siste presentasjonen er klare.

3. Personlig evaluering av hovedoppgaven

3.1. Gunbjørn Kjernaas

På forhånd av hovedoppgaven så jeg for meg at oppgaven skulle framtre som et oppsummerende sammendrag av studiet på HiBu, at vi skulle bruke det vi hadde lært og få oppleve hvordan slik kunnskap blir benyttet i bedriftssammenheng. I tillegg til det, forventet jeg en bratt lærecurve gjennom prosjektet. Det er utvilsomt gjennom praktisk bruk av teoretisk lærdom en virkelig kan se nytten av kunnskap fra forskjellige fag og emner.

I etterkant av oppgaven vil jeg si jeg har fått de fleste av mine krav og forventninger oppfylt. Jeg har i stor grad fått bruke min kunnskap fra HiBu i en reell setting, og har opplevd prosjektet som svært lærerikt. Jeg har blitt tryggere på meg selv, alt hva angår bruk av kunnskapen jeg sitter på, men i tillegg min evne til å tilegne meg en situasjon/et produkt jeg i utgangspunktet ikke har mye kunnskap om. Det oppleves som svært spennende å gå på en utfordring da dens tilhørende teknologi og industri er nærmest ukjent grunnet klassifisering.

Kritisk sett på prosjektfaget, mener jeg det er potensiale for forbedringer. Tatt i betraktning at dette er en ny måte å gjennomføre faget på, er det ikke til å komme bort i fra og anses derfor som selvfølgelig. Alt i alt synes jeg måten HiBu gjennomfører faget på er krevende, men desto mer givende for studentene. Vi har gjennom studiet fått opplæring i fagfelt som systems engineering, prosjektgjennomføring og system design, i tillegg til mer tekniske fag.

Det er derfor ekstra givende at vi får muligheten til å jobbe i forholdsvis store grupper med tverrfaglig grunnkompetanse. Dette gir et godt innblikk i hvilke utfordringer en bedrift står over. På en annen side gir det oss store muligheter til å lage større og mer omfattende produkter og prototyper, som i seg selv er svært motiverende.

3.2. Lars Ola Birger Rimmereid

Når prosjektgruppen fikk oppgaven utlevert, begynte prosjektgruppen og gå løs på oppgaven med iver og engasjement. Oppgaven begynte med et behov fra kunde(Tronrud Engineering) til en ferdig bygget prototype som har blitt testet. Konstruktive vurderinger og beslutninger har blitt gjort under veis gjennom denne prosessen, hvor forskjellige meninger og synspunkter har blitt prøvd opp mot hverandre.

Fordeling av ressurser på arbeidsoppgaver er en utfordrende oppgave. Det er viktig å bruke alle ressurser effektivt til en hver tid. Derfor har det vært viktig for gruppen og ha arbeidsoppgaver som prosjektdeltagere har muligheter til å gjøre hvis mangel på arbeid er tilstede eller hvis fremdriften på gjeldende arbeid stopper opp.

Det er en utfordring å oppfylle forventningene fra både HiBu og arbeidsgiver (Tronrud Engineering). Jeg mener gruppen har tillært seg viktigheten ved å tydeliggjøre og forstå alle parters forventninger, slik at prosjektets innhold er treffende.

Grupesammensetningen har skapt positive diskusjoner og synspunkter, sammensetningen har også bidratt i styrke i forskjellige fagdisipliner, som er nødvendig for et vellykket resultat.

Har lært mye av dette prosjektet, oppgaven var også rettet mot mitt fagfelt(maskin, produktutvikling).

Jeg har utviklet meg skriftlig, blant annet føler jeg at jeg har blitt bedre på å formulere meg korrekt i tekniske dokumenter og rapportskrivning

Arbeidet omfatter blant annet, design, 2d og 3d tegning, prosjektstyring og testing. I tillegg har jeg også vært innom styrkeberegning og materialegenskaper.

Har også opplevd at tidskrevende arbeid har ført til lite eller ingen resultater. F. eks brukte jeg flere dager med å skaffe formler og litteratur for beregning av nedbøying av silisium wafere, dette kan være frustrerende.

3.3. Andreas Budak

I utgangspunktet var jeg litt skeptisk til å ta et så stort prosjekt som dette. For å komme i mål ville det kreve god planlegging, gjennomføringsvilje og velvilje fra både oppdragsgiver Tronrud Engineering og TOPVALG Engineering. Å jobbe tett sammen med fem andre studenter i ett år uten noe særlig prosjekterfaring kunne også by på nye utfordringer.

I tillegg var det en usikkerhetsmoment med tanke på type oppgave. Første forslag ble avskrevet og dermed kunne gruppen miste noe av motivasjonen siden første oppgave var veldig spennende og utfordrende. Etter første møte med oppdragsgiver ble engasjementet tent igjen og vi begynte å tenke som et team som arbeidet sammen mot et felles mål.

Etterhvert som prosjektet modnet fikk vi veldig god samarbeid med Tronrud Engineering. Vi fikk tilgang til det meste av utstyr, komponenter, maskinering, testutstyr som høyhastighetskamera og verksted. Dette lettet mye av trykket på prosjektet som kunne bli problematisk som går ut på bestilling av nye komponenter og finansiering av dette. Må takke for velvilligheten og tilliten som ble vist til hele gruppen.

Samarbeidet internt i gruppen gikk også overraskende knirkefritt i løpet av prosjektet. Med så mange på gruppen kunne man støte på samarbeidsutfordringer. Selv om man kunne være uenig under møter og diskusjoner ble det alltid enighet takket være løsningsorientert holdning internt i gruppen. En ting som jeg kunne ønske var at beslutninger ble tatt raskere uten for mye diskusjon av små og ofte uviktige detaljer.

Evaluerings av min egen innsats kan beskrives med det at jeg hadde jeg mye å gjøre på jobben høsten 2009 og litt ut i vinteren 2010. Det gikk litt ut over min egen deltagelse av prosjektet i den tidsperioden. Men har tatt en del av det igjen på sluttenfasen av prosjektet.

I løpet at prosjektet har jeg fått brukt mye at det vi lærte i løpet av studietiden. Spesielt fag som system design har kommet til stor hjelp. I tillegg har jeg fått god innsikt i testing av prototyper. Det var spesielt artig å være med på hele prosessen fra idè til ferdig produkt som i dette tilfelle var en prototype for tørssingulering av Multi-crystalline -Si wafere/solceller.

3.4. Viggo Røneid

Forventningene til prosjektet på forhånd var at dette skulle være en læringsprosess. Hvor vi som studenter kunne få bruk for kunnskap som vi har tilegnet oss i løpet av de semestrene vi har studert her på HiBu. I tillegg håpet jeg på å få et innblikk i hvordan arbeid ble utført i bedrifter.

Dette prosjektet har vært en læringsprosess, på godt og vondt. Siden vi som studenter har hatt liten erfaring med slike prosjekter, tar arbeidsoppgaver av og til demoraliserende lang tid. For eksempel, brukte jeg flere dager på å finne en standardisert del på nettet. Dette føler man er bortkastet og unødvendig tidsbruk, men jeg skjønner at man kan ikke forvente at man får svar og løsninger servert på et fat.

Jeg føler også har fått et innblikk i utfordringene som finnes rundt det å lage og følge tidsplaner. Og når jeg ser på prosjektet i ettertid kunne det kanskje tidsplanen vært spesifisert bedre. På en annen side har det ikke vært lett å finne ut hvordan forskjellige de forskjellige arbeidsoppgavene kom til å utfolde seg, med den erfaringa vi hadde.

Når det gjelder bruk av kunnskap vi har tilegnet oss, så føler jeg at vi har brukt en del av det vi har lært. Selvfølgelig har vi ikke fått bruk for alt vi har lært, dette må sees i sammenheng med hvilken natur oppgaven vår var av. Fag som jeg mener har vært spesielt nyttige er Systemdesign og fagene som har gått på opplæring i SolidWorks og deres undersystemer.

3.5. Tor Olav Sviggum

Prosjektet har gitt meg mye erfaringer og utfordringer på flere områder. Jeg er nok en som naturlig tar en lederrolle i grupper, og har vært vant til det fra yrkeslivet, men hadde på forhånd bestemt meg for å la andre som ønsket å prøve lederrollene, gjøre det. Dette gjorde at jeg kunne ta større del i andre typer oppgaver og kunne ta verv med delansvar for prosessen. Dette har vært en annen rolle enn jeg er vant til, men jeg har funnet ansvaret og oppgavene givende.

Jeg byttet verv i gruppa underveis, fra dokumentansvarlig til designansvarlig. Selv føler jeg at det passet meg godt, og det gav meg faglige utfordringer som jeg har hatt stor glede av. Fagene med SolidWorks i studiet har i stor grad fokusert på modelleringsteknikker, mens mye av utfordringene i prosjektet har gått på å lage gode tekniske 2D-tegninger, arbeid med import og eksport av ulike filformater, samtidig som prototypen vår har vært det desidert største sammenstillingen noen av oss har jobbet med. Jeg har til tider følt det utfordrende å tilrettelegge designarbeidet så flere kunne jobbe med det samtidig, men føler selv jeg har blitt bedre på dette utover i prosjektet, og at veiledningen med Tronrud rundt designarbeidet har vært svært givende.

Jeg vil si at samarbeidsklimaet i gruppa har holdt seg bedre gjennom prosjektet enn jeg kanskje hadde fryktet. Noen utfordringer og diskusjoner har det vært, men ikke mer enn det bør være i et utviklingsprosjekt med seks engasjerte gruppemedlemmer som alle ønsker å bli hørt. Gruppa har hatt en ganske flat gruppestruktur, og det har vært naturlig å være støttespiller for hverandre på tvers av ansvarsområder.

3.6. Per Sveinung Norendal

Hadde store forhåpninger om at dette skulle bli et morsomt og kvalitetspreget prosjekt. Gruppemedlemmene, slik som jeg kjente de fra før, var selvstendige, kvalitetsorienterte og omgjengelige, noe de også har demonstrert gjennom hele prosjektperioden.

Som dokumentansvarlig i gruppen, har jeg hatt stor nytte av vår interne veileder, han har hjulpet til med å utvikle struktur til rapporten, samt belyst hvilke områder som er viktige å ha med i dokumentasjonen. Veileder har bidratt til med å implementere den systematiske tankegangen bak CAFCR, gjennom hele prosessen til endelig resultat forelå.

Ved å gjennomføre prosjektet i samarbeid med Tronrud Engineering A/S, fikk gruppen anledning til å se hvordan en produktutviklingsbedrift fungerer i praksis, noe som var nyttig lærdom. Oppgaven var spennende, den hadde utfordringer på flere nivå og fagfelt. Vi har også fått mye konstruktiv kritikk fra deres veileder/sensor på dokumentasjonen, som var betydningsfull for endelig design.

Ser i ettertid at gruppen helst skulle hatt mer tid til å utvikle metoden for å singulere, da videreutvikling av valgt løsning, samt forsøkt å finne alternative løsninger for singulering innenfor det løfte-/transportoppsettet som det er nå.

Tidsknapphet er en faktor som har preget prosjektet fra begynnelsen, det ble spesielt merkbart under eksperimentell- og kravtesting av systemet. Gjennomføringen av testene tok merkbart mer tid enn planlagt.



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi

Vedlegg I.A - Kravspesifikasjon

Fag(nr./navn):

Bachelor oppgave

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Faglærer:

Olaf Hallan Graven

Jamal Safi

Dato: 28.mai.2010

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

Kravspesifikasjon

Innholdsfortegnelse

1.	Versjons Historikk	3
1.	Introduksjon	4
2.	Generelt	4
3.	Produktene	5
4.	Operasjoner	6
4.1.	Manuell	6
4.2.	Automatiske	6
5.	Generelle krav	7
5.1.	Miljø	7
5.2.	CE-merking	7
5.3.	Støy	7
5.4.	Levetid	7
5.5.	Pris	7
5.6.	Størrelse	7
5.7.	Tilførsel strøm og luft	7
6.	Dokumentasjon	8
7.	Krav	8
7.1.	Singulering	8
7.2.	Nøyaktighet	8
7.3.	Syklustid	8
7.4.	Tilgjengelighet	8
7.5.	Brekkasje	8
8.	Testing	8

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

1. Versjons Historikk

Versjon	Dato	Endret av	Beskrivelse av endringen
3.0	28.Mai	Viggo Røneid	Lagt inn logo
2.6	20 Mai	Rimmereid, Lars	Justerte topptekst, endret syklustid og dokumentasjon.
2.5	22 Apr	Rimmereid, Lars	Endret skrifttype på innholdsfortegnelsen
2.4	22 Apr	Rimmereid, Lars	Lagt til versjons historikk og forside. Kravspesifikasjon godkjent av Morten Norengen.
2.3	12 Apr	Norendal, Per sveinung	Litt småplukk, rettskriving
2.2	12 Apr	Rimmereid, Lars	Satt inn innholdsfortegnelse pluss noen små endringer
2.1	25 Mar	Sviggum, Tor Olav	Nytt oppsett, flere kapitler og subkapitler.
2.0	22 Mar	Sviggum, Tor Olav	Fra føringer fra TE, nytt oppsett.
1.1	22 Mar	Sviggum, Tor Olav	
1.0	14 Jan	Kjernaas, Gunbjørn	Endret "justeringsenhet" til "avretterenhet" i avsnittet om plassering.
0.9	12 Jan	Norendal, Per Sveinung	Fikset på plassering av den nederste formelen
0.8	12 Jan	Norendal, Per Sveinung	Fikset på bildene, crop og bildetekst
0.7	12 Jan	Rimmereid, Lars	La med et vedlegg.
0.6	12 Jan	Kjernaas, Gunbjørn	Lagt til innledning og endret syklustid til kapasitet.
0.5	6 Jan	Kjernaas, Gunbjørn	—
0.4	6 Jan	Kjernaas, Gunbjørn	—
0.3	5 Jan	Rimmereid, Lars	—
0.2	5 Jan	Kjernaas, Gunbjørn	—
0.1	17 Dec 2009	Rimmereid, Lars	—

1. Introduksjon

I solcelleindustrien brukes silisium til å framstille solcelleplater, disse platene består først av bare silisium og kalles wafere. Disse gjennomgår en rekke prosesser, hvor de blant annet får den karakteristiske blåfargen og et sett med elektriske ledere på, før de er ferdige solceller. De ferdige solcellene sendes deretter til modulproduksjon, hvor cellene settes inn i rammer og kobles sammen til moduler. Det ferdige produktet er da solcellepaneler.



Fig 1.1 Solcellemodulinstallasjon i tyskland.

2. Generelt

I dette dokumentet står kundens krav beskrevet. Etter å ha lest gjennom det, skal man ha skaffet seg en forståelse for hva kundens behov er. Prosjektgruppen designer prototypen ut ifra kravene og begrensningene som finnes her.

Prosjektgruppen TOPVALG Engineering har fått i oppgave fra TE og lage en singuleringsmaskin som skal løfte og skille solcelleplater og wafere ut ifra en isoporboks. Utfordringen ligger i å få skilt disse platene, få en og en plate av gangen. Platene er tynne og har lett for å henge sammen. Singuleringen må skje på en skånsom måte siden platene tåler lite påkjenning og har lett for å få indre spenninger. For å gjøre produksjonen kostnadseffektiv, er en lav brekkasjeprosent viktig både for wafere og ferdige solceller.

Prosjektgruppen skal bygge en fungerende prototype som skal oppfylle kravene som er nevnt i dette dokumentet. Kunden har ønske om en full automatisert singuleringsmaskin.

3. Produktene

Her beskrives produktene som er gitt fra kunde og som ikke kan endres. Disse produktene må passe inn i prototypen.

Singuleringsmaskinen skal håndtere både wafere og solcelleplater.

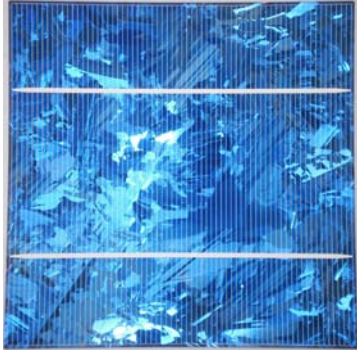


Fig 3.1 Solcelleplate

Det finnes to typer wafere, multikrystallinske og monokrystallinske. Platene har mål 156x156mm.



Fig 3.2 Monokrystallinsk.



Fig 3.3 Multikrystallinsk.

Wafere og solcelleplater ligger i en isoporboks, det er et krav fra kunden at denne boksen brukes.



Fig 3.4 Isoporboks.

Transportbåndet har en bredde på 90mm, det er dette båndet platene skal legges på.

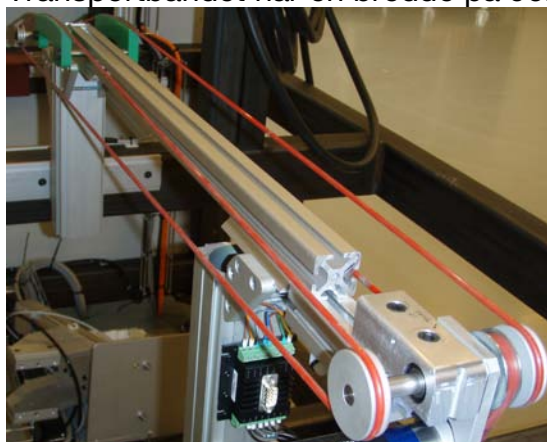


Fig 3.5 Transportbånd.

4. Operasjoner

4.1. Manuell

Plassering av boks med produkter inn i maskin.

Fjerning av tom boks fra maskin. Dette gjøres for hånd av en operatør.

4.2. Automatiske

Det skal løftes wafere/celler ut av isoporesken. Disse skal skilles, en og en, for så å legges ned på transportbåndet.

5. Generelle krav

5.1. Miljø

Maskinen skal arbeide innendørs med romtemperatur ($20^{\circ}\pm 5^{\circ}$).

5.2. CE-merking

Prototypen trenger ikke merkes i forhold til CE-direktivet. Fordi dette anses som test/lab utstyr. CE- direktivet er forskrifter/bestemmelser i forhold til bygging av maskiner, hovedsakelig forhold til sikkerhetskrav og HMS (Helse, Miljø og Sikkerhet). Maskinen skal uansett ikke være til skade for menneskers sikkerhet og helse, eller for miljøet.

Siden prototypen lages for å teste et konsept, er det som nevnt ikke krav til CE-merking. Det skal allikevel lages et styringsdokument som skal følges av de som skal gjennomføre testingen, siden prototypen vil inneholde bevegelige komponenter og elektrisitet. Det bygges ingen deksling av bevegelige komponenter, kun nødstoppbryter.

5.3. Støy

Max 75db. Hvis dette viser seg ikke mulig å oppnå uten deksling, kan deksling/støydemping bygges på senere.

5.4. Levetid

Levetiden på maskinen er ikke gitt. Et minstekrav er å gjennomføre flere tester i test perioden uten at komponenter må byttes ut. Det samme gjelder vedlikehold, det stilles et minimumskrav om at det ikke skal være noe vedlikehold gjennom testperioden. Det benyttes standardkomponenter til bygging av prototypen som er gitt med normal levetid > 10 millioner slag på sine bevegelser.

5.5. Pris

Prisen av prototypen som bygges er ikke gitt som noe krav. Grunnen til dette er at det først og fremst er konseptet som skal testes og at det ikke skal selges til en kunde.

5.6. Størrelse

Det er ikke gitt noe krav om størrelse på prototypen, men den skal være mobil nok til å kunne flyttes og transporteres.

5.7. Tilførsel strøm og luft

Strømtilførsel: 3x400v 50Hz (vanlig 3-fase industri).
Luft: 6bar, 400l/min

6. Dokumentasjon

Dokumentasjonen som leveres med prototypen skal inneholde:

- Fulldefinerte cad-tegninger
- Product Spesifikasjon Dokument (PSD)

7. Krav

7.1. Singulering

Det skal hentes kun en og en wafer/celle fra boks. Hele denne prosessen skal være automatisert.

7.2. Nøyaktighet

Wafer/celle skal plasseres innenfor ± 5 mm på transportband.

7.3. Syklustid

Syklustiden skal være maks 1,5 sekunder (2400 wafere/solceller per time). Det vil si fra en plate har blitt lagt ned på båndet til neste plate er lagt ned. Kravet til syklustid er ikke kritisk, en god separering og liten brekkasje er viktigere å oppfylle. For å oppnå ønsket syklustid kan eventuelt flere singuleringsenheter benyttes.

7.4. Tilgjengelighet

Minimum 95 %.

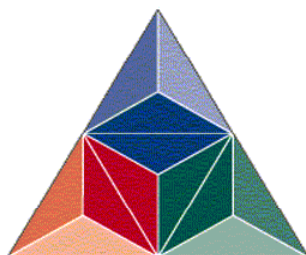
7.5. Brekkasje

Maks 0,2 %.

Brekkasjen, altså ødelagte plater, skal maksimum være 1 plate per 500.

8. Testing

For test spesifikasjon, se eget dokument.



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi

Vedlegg I.B - Testspesifikasjon

Fag(nr./navn):

Bachelor oppgave

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid,
Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Faglærer:

Olaf Hallan Graven
Jamal Safi

Dato: 28.mai.2010

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

Innholdsfortegnelse

1. Versjons historikk	3
2. Introduksjon	4
3. Gjennomføring av testen	4
3.1 Manuell innlastning	4
3.2 Automatisering.....	4
3.3 Brekkasje.....	4
3.4 Syklustid.....	4
3.5 Generelle test krav	4
4. Testforberedelser	5
3.1 syklustid	5
3.2 Feilplassering.....	5
3.3 Temperatur og støy	5
3.4 dokumentasjon	5
3.5 Viktige faktorer som skal observeres	5
5. Appendiks A	5

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

Testspesifikasjon

1. Versjons historikk

Versjon	Dato	Endret av	Beskrivelse
3.0	28.Mai	Viggo Røneid	La inn logoer
2.5	20 Mai	Rimmereid, Lars	Justerte topptekst.
2.4	22 Apr	Rimmereid, Lars	La til versjonshistorikk og forside. Testspesifikasjon godkjent av Morten Norengen.
2.3	12 Apr	Norendal, Sveinung	Litt småplukk.
2.2	12 Apr	Rimmereid, Lars	Nytt oppsett, mer subkapitler, topp og bunntekst.
2.1	25 Mar	Sviggum, Tor Olav	
2.0	22 Mar	Sviggum, Tor Olav	—
1.2	22 Mar	Sviggum, Tor Olav	—
1.1	22 Mar	Sviggum, Tor Olav	—
1.0	12 Jan	Norendal, Per Sveinung	La om til standardstil
0.5	12 Jan	Rimmereid, Lars	La til syklushastighet testing
0.4	12 Jan	Rimmereid, Lars	Lagde Introduksjon
0.3	8 Jan	Rimmereid, Lars	La til en liten ekstra ting
0.2	8 Jan	Kjernaas, Gunbjørn	—
0.1	6 Jan	Rimmereid, Lars	—

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

2. Introduksjon

Dette dokumentet beskriver hvordan testingen skal utføres, hvilket utstyr som er nødvendig og hva som skal observeres under testing.

Det er i hovedsak kravene fra kravspesifikasjonen som skal testes. Dokumentet er ment som et vedlegg til kravspesifikasjonen.

3. Gjennomføring av testen

3.1 Manuell innlastning

Innlastningen av isoporboksen skjer manuelt.

Ved manuelt å sette en boks full av wafere/solcelleplater i posisjonen hvor maskinen skal plukke opp platene fra.

2.2 Automatisering

Maskinen skal hente plater fra boksen og levere disse til transportbåndet som flytter platene videre. Maskinen tømmer hele boksen for plater. Den skal gå helt av seg selv uten hjelp av en operatør, altså maskinen skal være 100 % automatisert, Det skal bli observert at maskinen kun tar en wafer/solcelle av gangen.

2.3 Brekkasje

Antallet wafere/solceller som maskinen påfører skade skal bli notert. Av 500 plater kan kun 1 bli skadet for å oppfylle kravet om brekkasje, altså brekkasjen må være mindre enn 0,2 %.

2.4 Syklustid

Syklushastigheten skal minimum være 2400 plater på båndet per time. Kravet fra kunden er å teste minimum en time av gangen, da skal maskinen ha en tilgjengelighet på minimum 95%.

2.5 Generelle test krav

Maskinen skal kunne slås av og på med hjelp av et ready-signal og skal hente power fra en kilde på 3x400v 50Hz.

Testen utføres i romtemperatur (20°C ±5°).

Et testdokument skal fylles ut i løpet av testen. Godkjenningsprotokollen fylles ut til slutt(se Appendiks B).

4. Testforberedelser

3.1 syklustid

En stoppeklokke eller tidtaker skal brukes for å beregne syklus tiden. Ved å finne totalt brukt tid og dele på antallet wafere/solcelleplater plassert vil man finne den aktuelle syklustiden.

3.2 Feilplassering

Det skal monteres et millimetermåleverktøy på tvers av det simulerte transportbåndet for å notere en eventuell feilplassering. Det er viktig at dette blir observert gjennom hele testen.

3.3 Temperatur og støy

En temperaturmåler skal brukes for å måle romtemperaturen. Støyen fra prototypen kan måles med en db-måler.

3.4 dokumentasjon

Testdokument og godkjenningsprotokoll gjøres klart til utfylling.

3.5 Viktige faktorer som skal observeres

- En og en wafer/solcelleplate blir innlastet på transportbåndet.
- Antall ødelagte wafere(brekkasje).
- Feilplassering på transportbåndet.
- Syklus tiden.

Disse dataene skal lagres i testdokumentet

5. Appendiks A

Inneholder Godkjenningsprotokoll og test dokument, som skal brukes for å dokumentere testingen.

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

		Godkjenningsprotokoll		
		OK	Ikke OK	Verdi
Syklustid				
Antall stopp				
Brekkasje				
Tilgjengelighet %				

Sammendrag av testen:

TestObservatør:

Referent:

Sted:

Dato:

TopValg Engineering

Hovedoppgave - HIBU 2010

Tørr singulering
til
solcelleindustrien

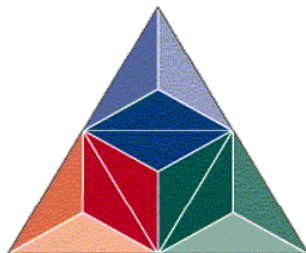
Test Dokument				
Tid	Hendelse	Beskrivelse	Antall kjørte produkter	Brekkasje

Test observatør:

Referent:

Sted:

Dato:



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning Institutt for Teknologi

Vedlegg II - Produktspesifikasjon

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller
TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFHO3200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven
Jamal Safi
Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi
Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon	5
2. Brukermanual	6
2.1. Oppstart	6
2.2. Palett lasting.....	7
2.3. Start.....	7
2.4. Stopp.....	7
2.5. Start etter stopp	8
2.6. Luft og vakuum.....	8
2.7. Funksjons liste.....	9
1.1. Sikkerhet	9
3. Tekniske data	11
4. Vedlikehold.....	12
4.1. Reservedeler	12
4.2. Inspeksjoner.....	13
5. Tegninger, delelister og skjemaer.....	14
5.1. Sammenstillinger	14
5.1.1. Hovedkomponenter.....	14
5.1.2. Luftdyse med braketter	15
5.1.3. Løfteenhet med servoakser	16
5.1.4. Braketter	17
5.1.5. Løfteenhet.....	18
5.1.6. Heis med palett	19
5.1.7. Laser med braketter	20
5.2. Deleliste.....	21
5.2.1. Referanseliste.....	23
5.3. Arbeidstegninger	24
5.3.1. Hovedkomponenter.....	24
5.3.2. Justert oppsett luftdyseboks	25
5.3.3. Justert oppsett laser.....	26
5.4. Arbeidstegninger for maskinerte deler	27
5.4.1. TV_005 Luftdyseboks.....	27
5.4.2. TV_008 Brakett.....	28
5.4.3. TV_009 Brakett.....	29
5.4.4. TV_010 Brakett.....	30
5.4.5. TV_011 Modifisert holder	31
5.5. Pneumatisk skjema	32
6. Softwareoppsett og Slaglengder.....	33
6.1. Softwareoppsett.....	33
6.1.1. Horisontal servoakse	33
6.1.2. Vertikal servoakse.....	34
6.1.3. Palletheis.....	35

6.2. Bevegelser.....	36
6.2.1. Initialposisjoner	37
6.2.2. Løfteprosessen.....	37

Figurtabell

Figur 1 - Bildet viser touch-display, hovedstrøms, nødstop og kvitteringsknapp....	6
Figur 2 - Bildet viser utgangspunktet ved oppstart av systemet. Horisontal servoakse , vertikal servoakse og heis står her i initial posisjon.	7
Figur 3 – Hovedmenyen til berørings skjermen	8
Figur 4, Stå ikke i nærheten av servoaksene når nødstoppen ikke er aktivert.	10
Figur 5, Utfør aldri endringer, montering e.l. uten at nødstop er aktivert	10
Figur 6, Hovedkomponenter.....	14
Figur 7, Luftdyse med braketter	15
Figur 8, Løfteenhet med servoakser.....	16
Figur 9, Braketter.....	17
Figur 10, Løfteenhet	18
Figur 11, Heis med pallett	19
Figur 12, Laser med braketter	20
Figur 13, Hovedkomponenter.....	24
Figur 14, Justert oppsett luftdyseboks.....	25
Figur 15, Justert oppsett laser.....	26
Figur 16, TV_005 Luftdyseboks.....	27
Figur 17, TV_008 Brakett.....	28
Figur 18, TV_009 Brakett.....	29
Figur 19, TV_010 Brakett.....	30
Figur 20, Modifisert holder	31
Figur 21, Pneumatisk skjema	32
Figur 22, Posisjoner til servoakser og heiser	33
Figur 23 - Utsnitt fra Festo Configuration Tool. Øverst viser bildet initialposisjonen og endeosisjonen. Fart og akselerasjon vises nederst.....	34
Figur 24, Illustrasjon av bevegelsene til Pick & Place.....	36

Tabelliste

Tabell 1, Versjonshistorikk.....	4
Tabell 2, Funksjonstabell for touchpanelet.....	9
Tabell 3, anbefalt reservedelsliste	12
Tabell 4, Samlet deleliste.....	22

Versjonshistorikk

Versjon	Dato	Endret av	Beskrivelse av endring
0.1	24.05.2010	Rimmereid, Lars	Første utkast
1.0	28.05.2010	Rimmereid, Lars	Rettet opp i skrivefeil i tegninger og tekst. Flyttet brukermanual og teknisk data lengre fram i dokumentet. Gjennomlest av Morten Norengen.
1.1	28.05.2010	Rimmereid, Lars	Feil på tegning ble rettet opp.

Tabell 1, Versjonshistorikk

1. Introduksjon

Dette er produktspesifikasjon for prototype som er utviklet i hovedoppgave for studentgruppe ved HiBu Kongsberg. Prototypen er utviklet i samarbeid med Tronrud og har som funksjon å singulere og transportere Mc-Si wafere, Sc-Si wafere og solceller fra standard transportboks til et transportbånd.

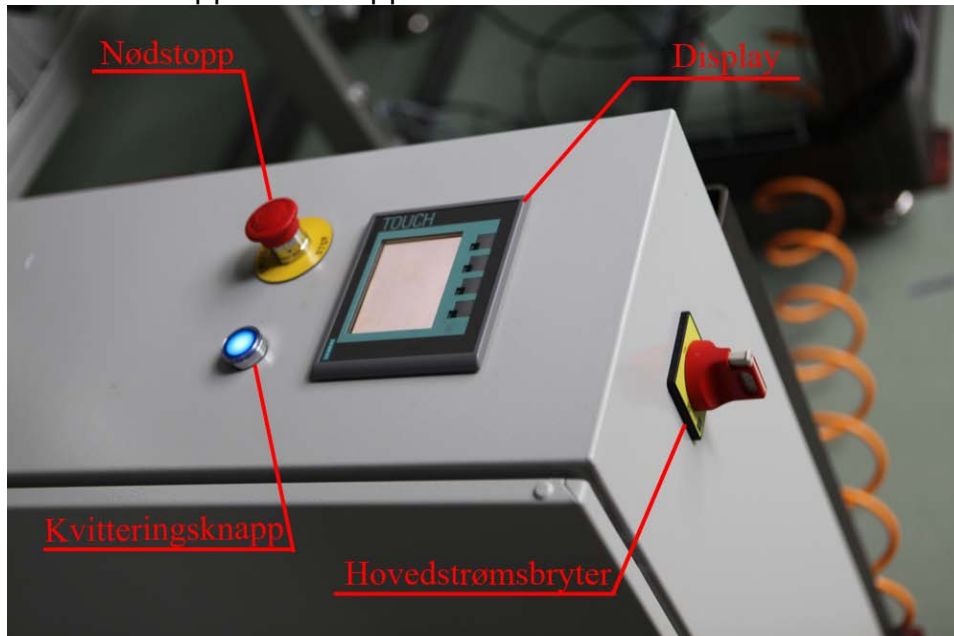
Dette dokumentet inneholder teknisk dokumentasjon for virkemåte, sammenstilling, delelister og arbeidstegninger for montering og maskinering.

2. Brukermanual

2.1. Oppstart

For å klargjøre systemet før bruk:

1. Sørg for at spenning og luft er tilkoblet
2. Skru på hovedstrømsbryter
3. Deaktiverer nødstop – rød knapp
4. Kvittere nødstop – blå knapp



Figur 1 - Bildet viser touch-display, hovedstrøms, nødstop og kvitteringsknapp

Ved oppstart kjører servoaksene, og heisen referanse, for å finne referanseposisjonen. Servoaksene og heisen stiller seg automatisk i initial posisjon etter endt referansekjøring.



Figur 2 - Bildet viser utgangspunktet ved oppstart av systemet. Horisontal servoakse , vertikal servoakse og heis står her i initial posisjon.

2.2. Palett lasting

Heisen stiller seg i en nedre posisjon, klar for lasting. Ved å trykke "PALLETT lastet" på displayet kjører heisen opp til initial posisjon. Når heisen har stoppet i initial posisjonen er systemet klart til kjøring.

2.3. Start

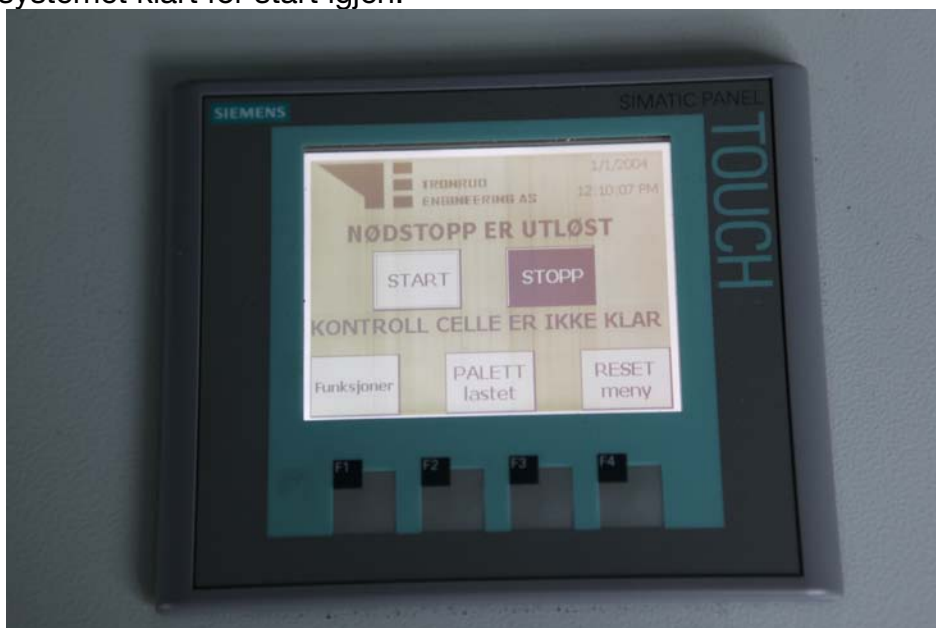
Trykk "START" på displayet for å starte systemet. Det vil da stå i to sekunder før servoaksene begynner å jobbe. Dette for å være sikker på at lufttrykk og vakuumtrykk har stabilisert seg.

2.4. Stopp

Dersom operatør ønsker å stoppe, kan vedkomne trykke "STOPP" eller eventuelt aktivere nødstopp ved å trykke ned nødstopp-knappen(aktivering av nødstopp resulterer i at systemet må kjøre ny referanse, hvilket tar tid).

2.5. Start etter stopp

For å kjøre i gang etter stopp, må den vertikale servoaksen kjøre reset. Det gjøres fra reset-meny som aktiveres ved å trykke "RESET meny" på displayet. Der finnes det to knapper, en for reset av vertikale servoaksen og en for heisen. Trykk F1, nederst til venstre for å gå ut av reset-menyen. Etter at den vertikale servoaksen har kjørt reset, er systemet klart for start igjen.



Figur 3 – Hovedmenyen til berøringskjermen

2.6. Luft og vakuum

I menyen kalt "Funksjoner" kan en manuelt starte og stoppe luftdysen og vakuum, forutsatt at maskinen står i stopp og at nødstopp ikke er aktivert. Som i reset-menyen, trykker man F1 for å gå tilbake til hovedmenyen.

2.7. Funksjons liste

Knapp	Funksjon	Betingelse
START	Starter systemet	Nødstop deaktivert,
STOPP	Stopper systemet	Nødstop deaktivert, systemet er i start
Funksjoner	Leder inn i funksjons-menyen	Nødstop deaktivert,
PALLETT lastet	Laster palett til startposisjon	Nødstop deaktivert,
RESET meny	Leder inn i reset-menyen	Nødstop deaktivert,
Dyser på	Slår på luftdyse manuelt	Nødstop deaktivert, system i stopp
Vakuumpå	Slår på vakuumpå manuelt	Nødstop deaktivert, system i stopp
F1	Går tilbake til hovedmeny	Nødstop deaktivert, står i reset- eller funksjons-meny
PICK & PLACE	Kjører reset av pick-and-place, dvs. kjører servoakser til initialposisjon	Nødstop deaktivert, system i stopp.
Palett heis	Kjører reset av heisene	Nødstop deaktivert, system i stopp.

Tabell 2, Funksjonstabell for touchpanelet

1.1. Sikkerhet

Systemet er laget kun for testing, og har derfor ingen skjerming eller lignende for sikkerhet. Maskinen er ikke designet eller bygd for å oppfylle CE krav. Det kreves derfor at montør, servicetekniker, operatør etc. opptrer aktsomt, og overholder sikkerhetsforbehold

- Når systemet ikke er i bruk, skal nødstop være aktivert og eventuelt hovedstrømsbryter være skrudd av.
- Ved vedlikehold eller installasjon av komponenter skal hovedstrømsbryter være avslått.
- Det anbefales å holde god avstand fra servoaksene under kjøring(Fig 4).
- Påse at ikke løfteenheten står i nedre posisjon før palleten lastes. Dette fordi sugekoppene kan bryte laseren og heisen ikke stopper. Som igjen resulterer i at løfteenheten kolliderer med palleten.

Gruppe 2010-3
Tørresingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller



Figur 4, Stå ikke i nærheten av servoaksene når nødstoppen ikke er aktivert.



Figur 5, Utfør aldri endringer, montering e.l. uten at nødstoppen er aktivert

3. Tekniske data

Strømtilkobling: 3x400v 50Hz

Lufforbruk: 6bar, 400l/min

Støy: 75,3db.

Arbeidstemperatur: 20°±5°.

Mål: 1976x1190x1518mm

4. Vedlikehold

4.1. Reservedeler

Følgende deler anses fornuftige å ha som lagervare for å opprettholde tilgjengeligheten på maskinen over lang tid.

Anbefalte deler på lager	Antall	Produsent	Artikkel
Luftsylinger			
Komplett syl.	1	SMC	MXS8-10
Pakningssett	1	SMC	MXS8-PS
Demper	1	SMC	MXS-BT8
Lufttilkoblinger	2	SMC	KQ2L06-M5
Sugekopper			
Komplett med innfesting	4	SMC	ZPR 32CS-06-B6
Løse sugekopper	8	SMC	ZP32CS
Servoakser			
posisjonssensorer	4	FESTO	SIES-8M-PO-24V-K-7,5-OE
Transportbånd			
Bånd	2		
Belte	1		
kulelager	2		
Ekstra			
Lufttilkoblinger	assortement	SMC	
slanger	assortement	SMC	

Tabell 3, Anbefalt reservedelsliste

4.2. Inspeksjoner

- Liten inspeksjon hver 100t. - 240000 sykluser.
 - Kontroller lekkasjer i luftsystem.
 - Kontroller tilstand for sugekopper.
 - Kontroller avfall/forurensning.

- Inspeksjon/Service hver 1000t. - 2400000 sykluser.
 - Bytte sugekopper.
 - Kontrollere filter/vannutskiller luftsystem.
 - Kontrollere belte og bånd på transportbånd.
 - Funksjonstesting hovedkomponenter.
 - Kontroll av belte og motor av servoaksene.

- Inspeksjon/Service hver 4000t. - 9600000 sykluser.
 - Bytte luftsylinger.

1 2 3 4 5 6 7 8

A

A

B

B

C

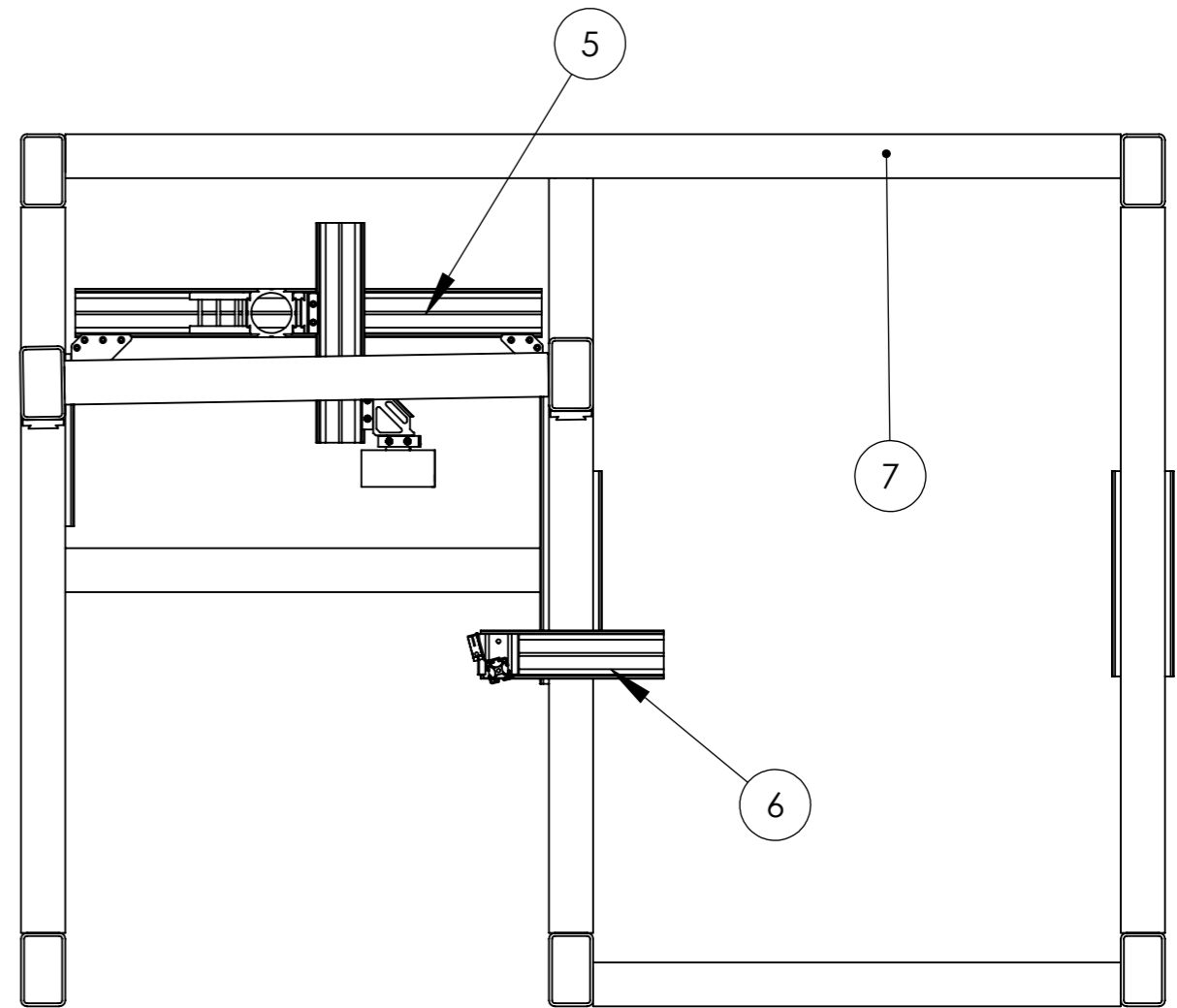
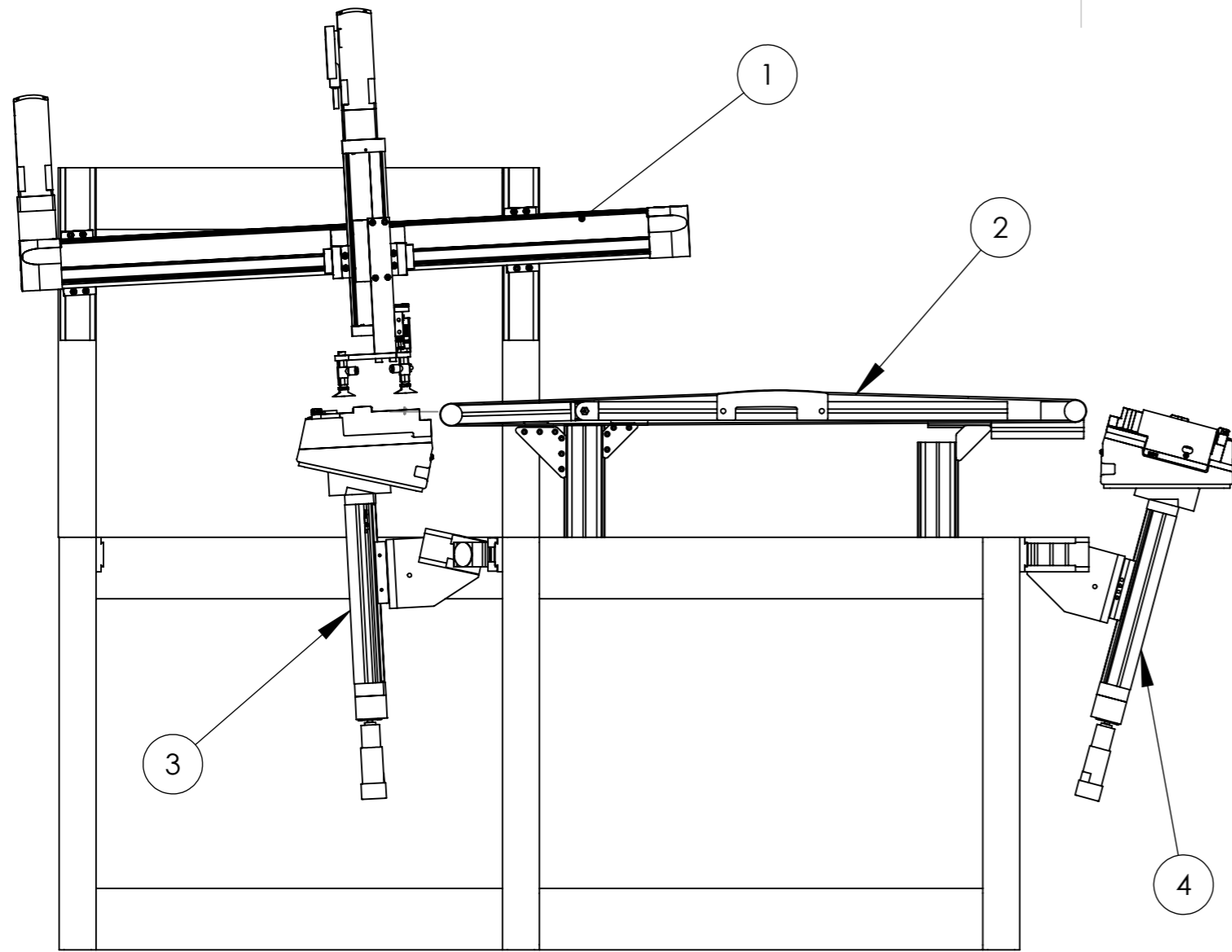
C

D

D

E

F



ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	TV_001	Løfteenhet med servoakser. se tegning 003	1
2	TE_001	Transportbånd	1
3	TV_002	Heis med pallet. se tegning 006	1
4	TE_002	Heis med pallet. se tegning 006	1
5	TV_003	Luffdyseboks med braketter. Se tegning 002	1
6	TV_004	Laser med festebraketter. Se tegning 007	1
7	TE_003	Ramme med festeskiner	1

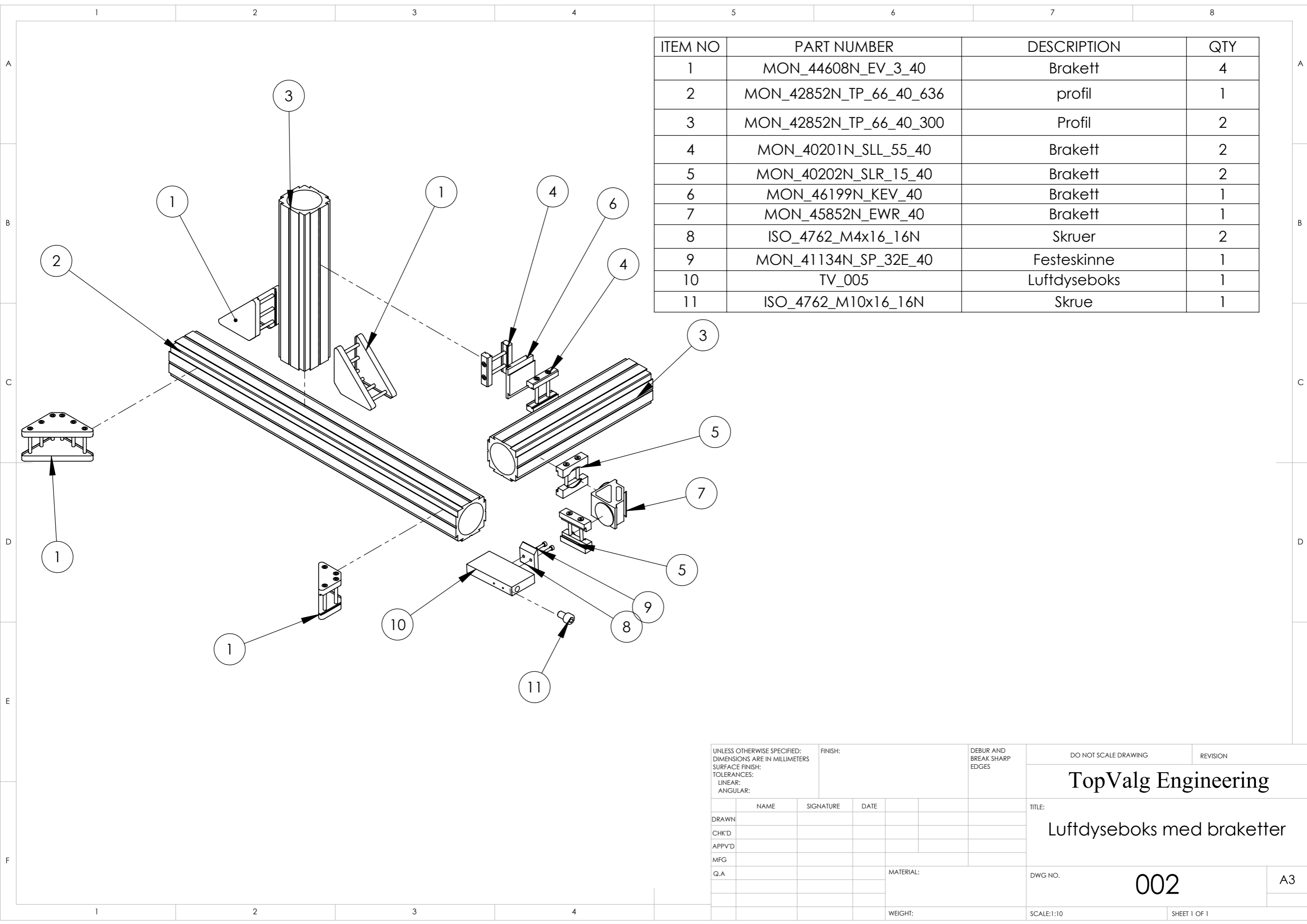
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						<h1>TopValg Engineering</h1>			
TOLERANCES:									
LINEAR:						<h2>Hovedkomponenter</h2>			
ANGULAR:						DRAWN		TITLE:	
						CHK'D			
						APPV'D			
						MFG			
						Q.A			
						MATERIAL:		DWG NO.	
								001	
						WEIGHT:		SCALE:1:20	
								SHEET 1 OF 1	
								A3	

1

2

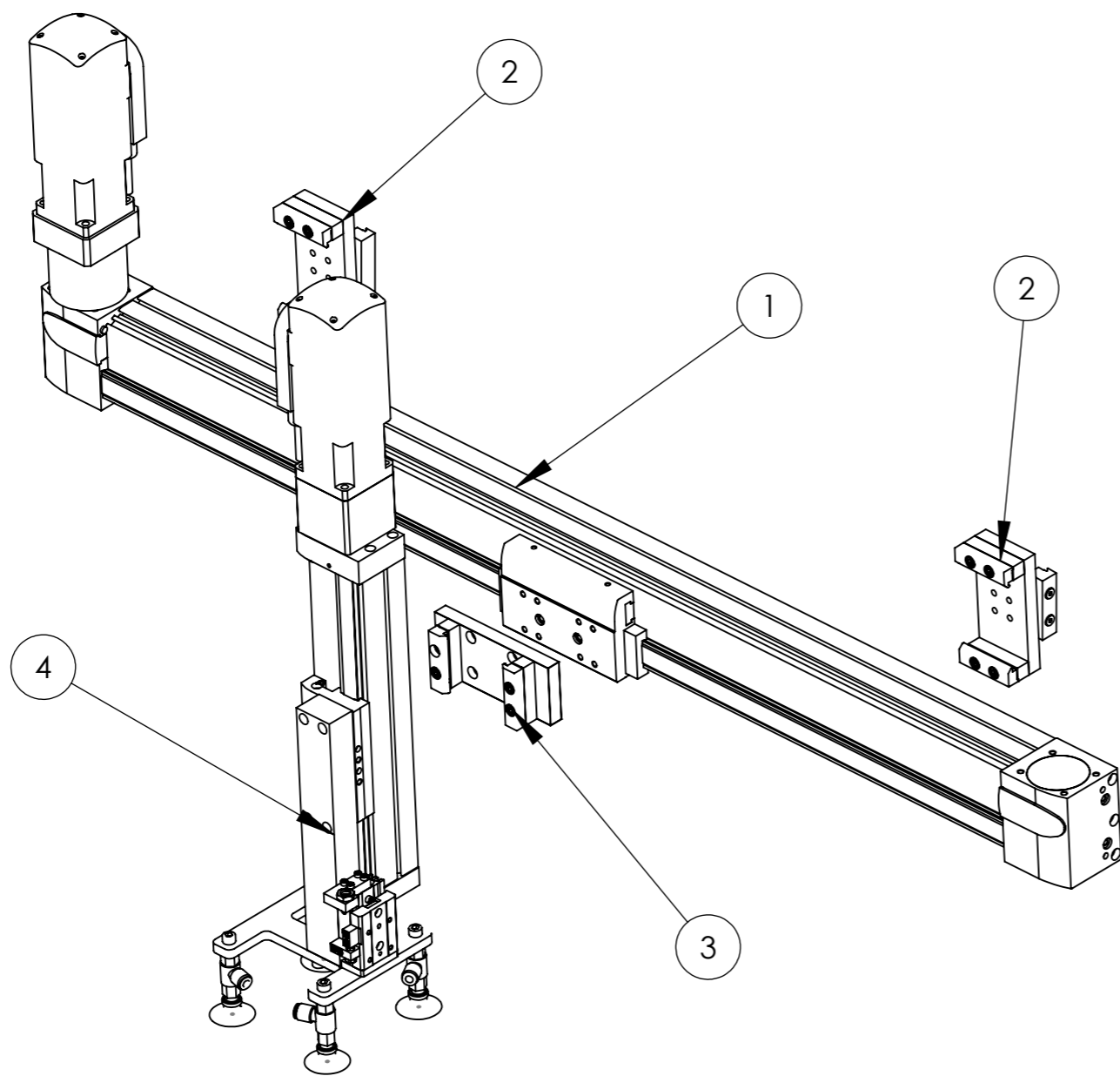
3

4



ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	MON_44608N_EV_3_40	Brakett	4
2	MON_42852N_TP_66_40_636	profil	1
3	MON_42852N_TP_66_40_300	Profil	2
4	MON_40201N_SLL_55_40	Brakett	2
5	MON_40202N_SLR_15_40	Brakett	2
6	MON_46199N_KEV_40	Brakett	1
7	MON_45852N_EWR_40	Brakett	1
8	ISO_4762_M4x16_16N	Skruer	2
9	MON_41134N_SP_32E_40	Festeskinne	1
10	TV_005	Luftdyseboks	1
11	ISO_4762_M10x16_16N	Skrue	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							TopValg Engineering				
							TITLE: Luftdyseboks med braketter				
DRAWN			NAME		SIGNATURE		DATE		DWG NO. 002		
CHK'D									SCALE:1:10		
APPV'D									SHEET 1 OF 1		
MFG									A3		
Q.A							MATERIAL:		WEIGHT:		

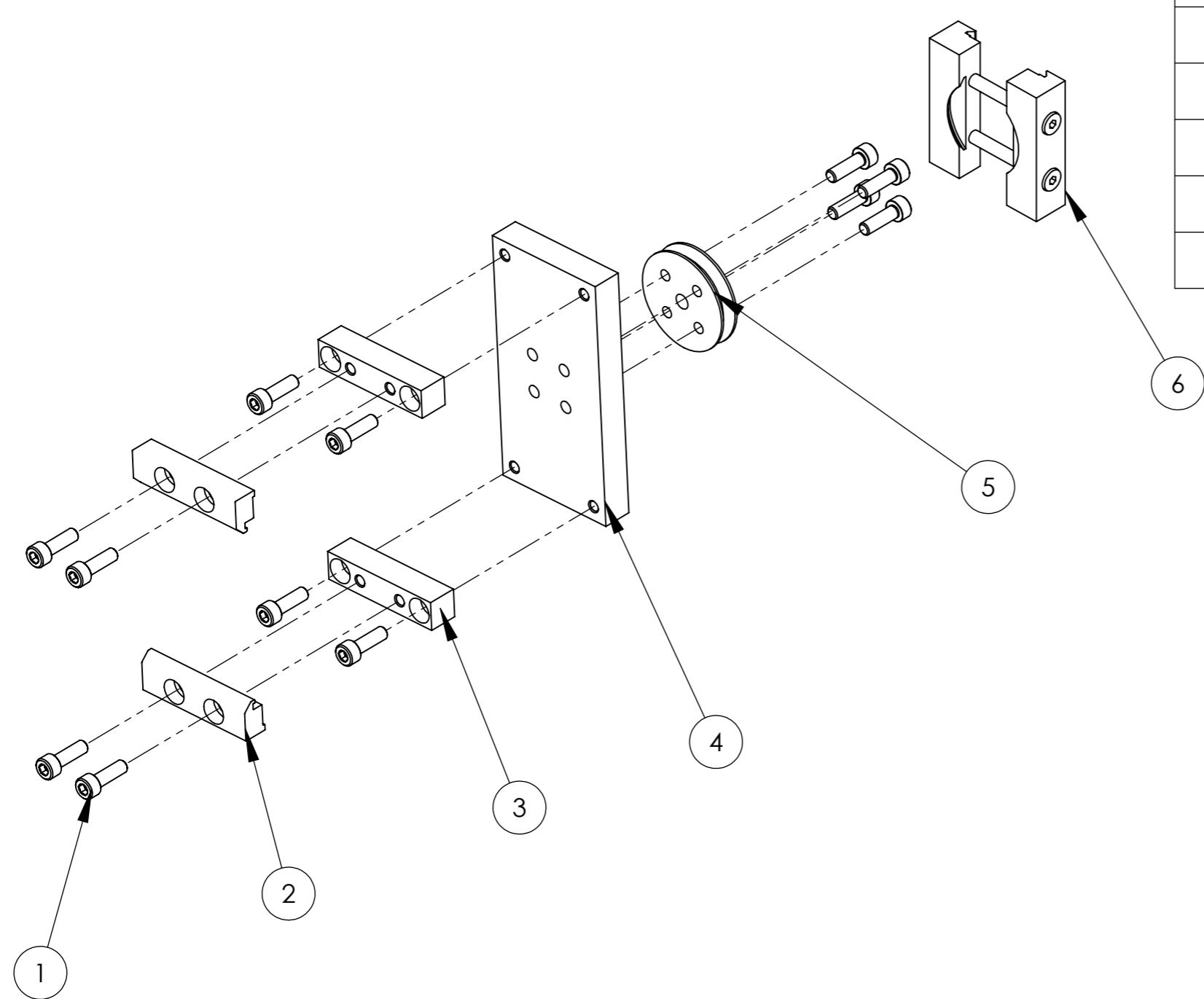


ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	EGC-80-800	Servoakse	1
2	TV_007	Festebrakett. Se tegning 004.	2
3	TE_004	Festebrakett	1
4	TV_006	Løfteenhet. Se Tegning 005	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						<h1>TopValg Engineering</h1>			
TOLERANCES:									
LINEAR:						<h2>Løfteenhet med servoakser</h2>			
ANGULAR:									
NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:			
DRAWN									
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.		003	
								A3	
					WEIGHT:	SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	

1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F

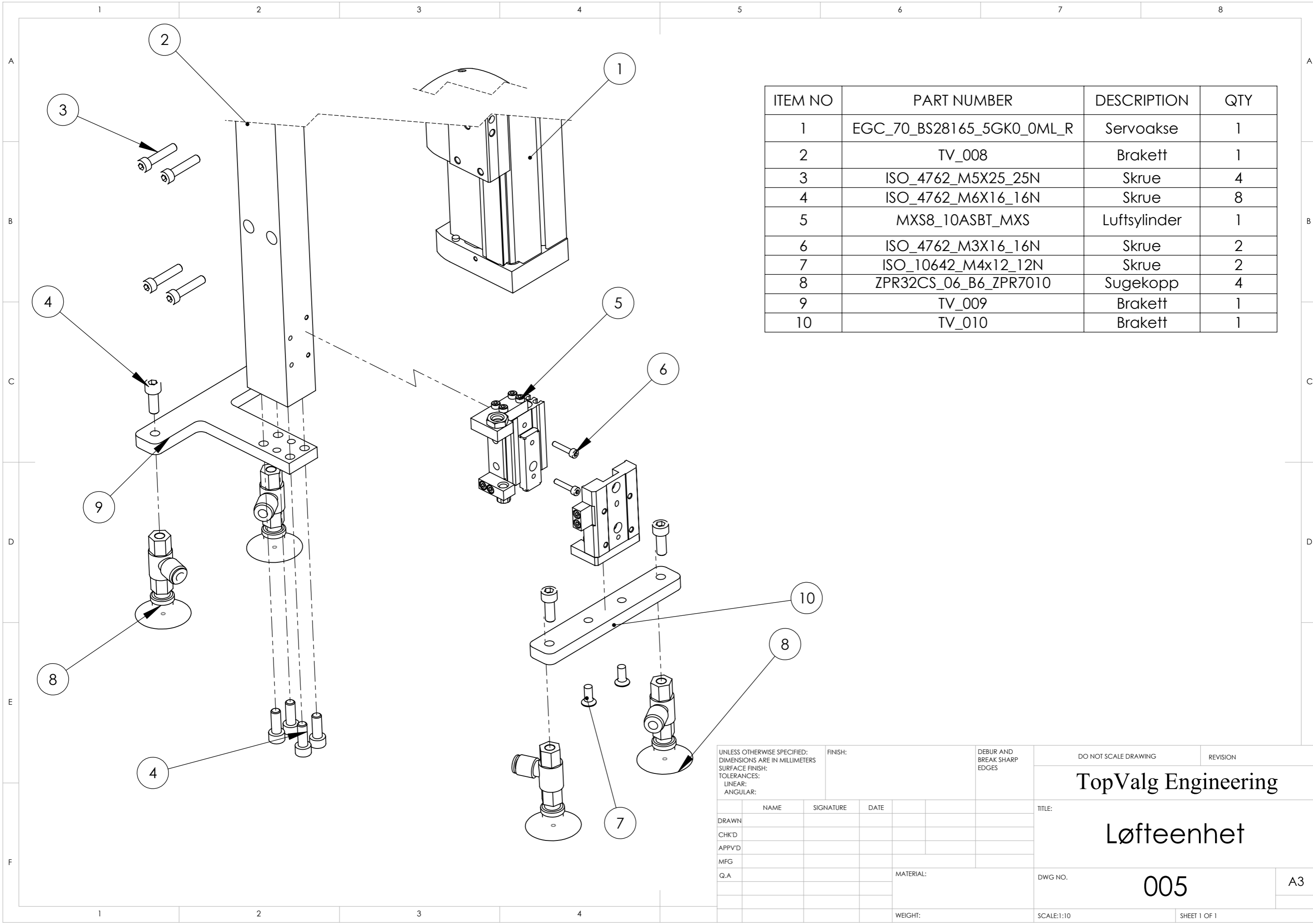


ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	DIN_912_M5x16_F	Skrue	12
2	MUE_722624_70_80P1	Fetseklemme	2
3	MUE_722627_70_80P2	Brakett.	2
4	TE_005	Plate	1
5	MON_42386N_DS_4_40	Hjul	1
6	MON_40202N_SLR_15_40	Brakett	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							TopValg Engineering				
							Braketter				
DRAWN			NAME			SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO. 004	
								WEIGHT:		SCALE:1:5	
										SHEET 1 OF 1	

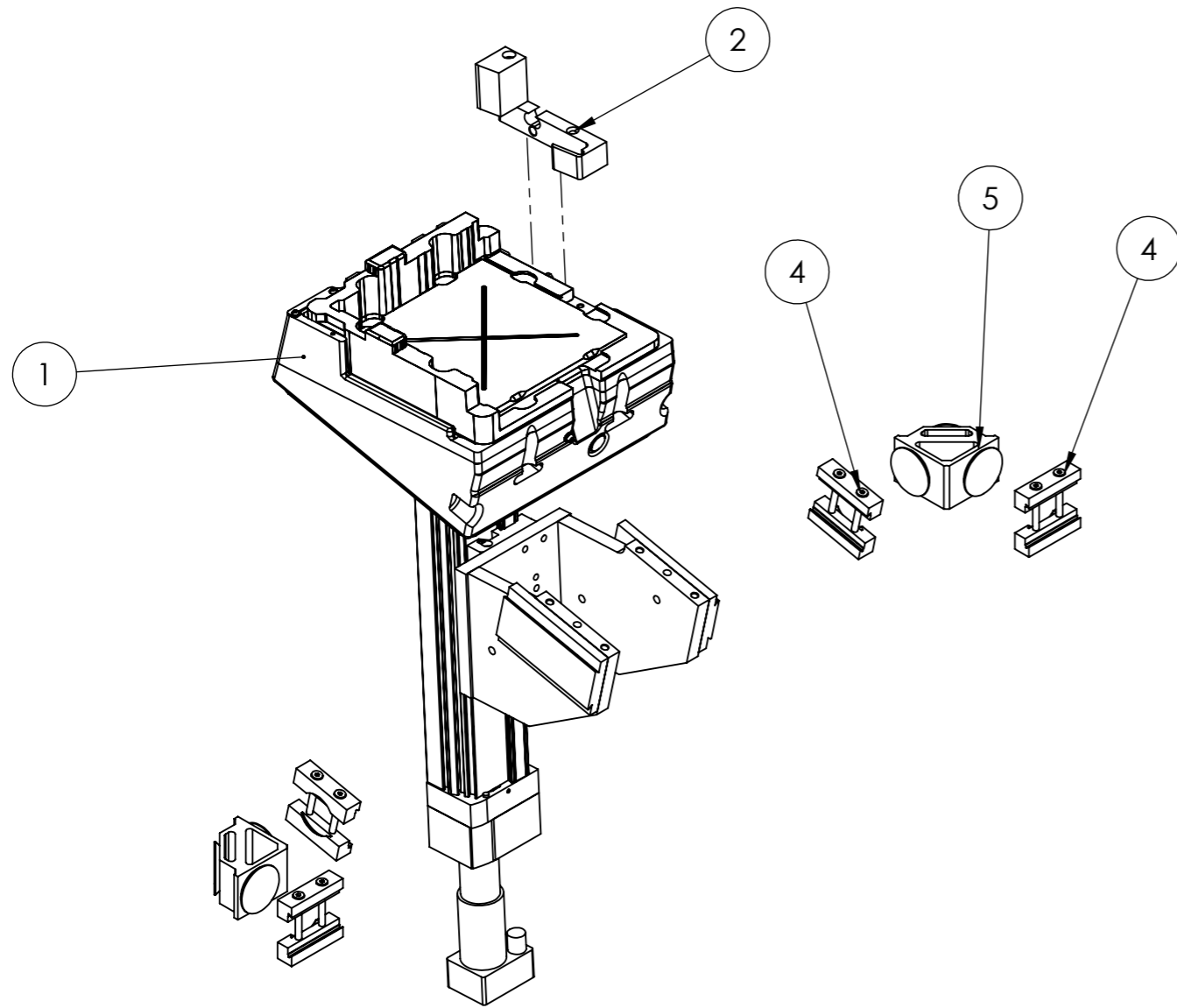
1 2 3 4

A
B
C
D
E
F

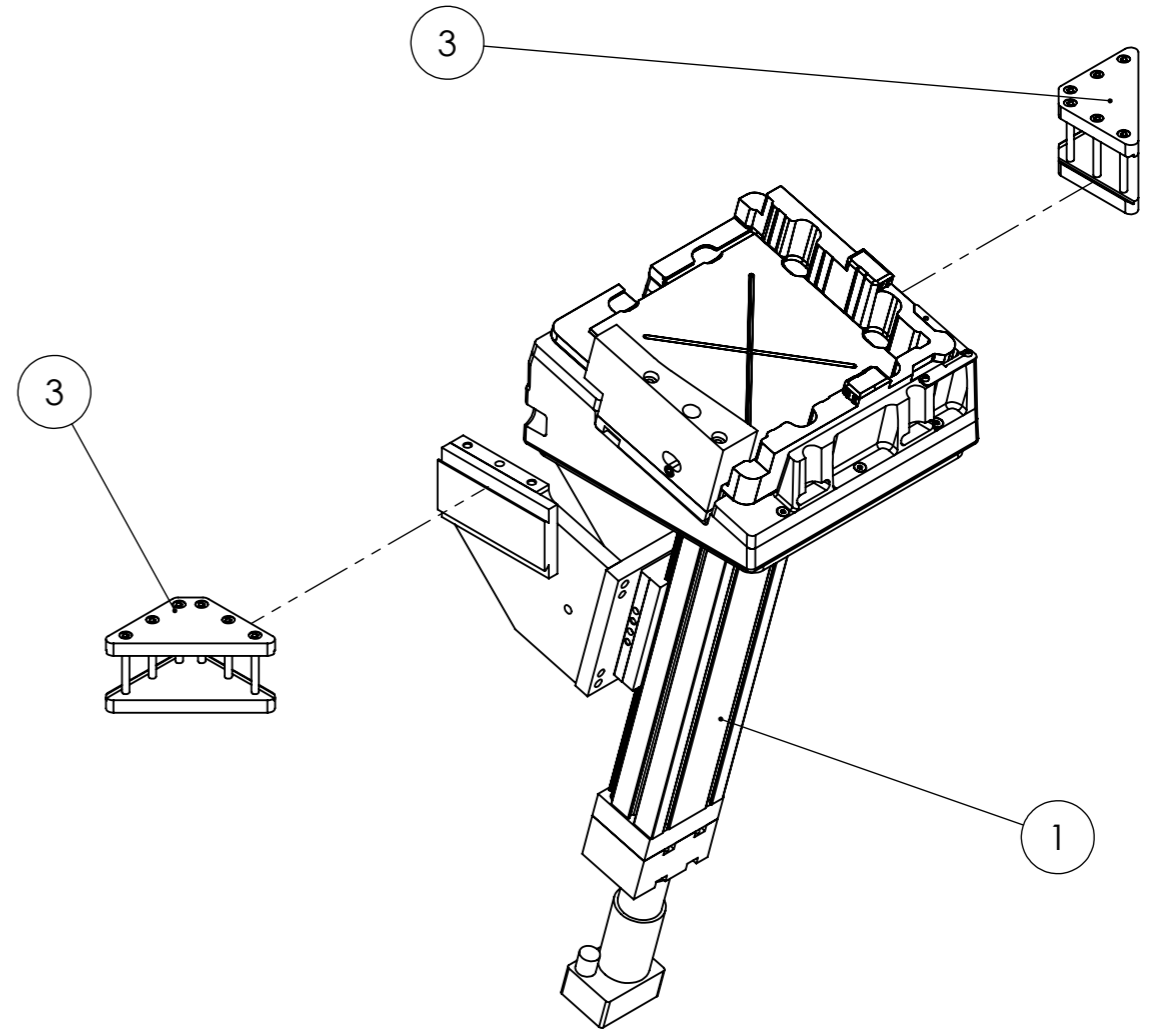


ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	EGC_70_BS28165_5GK0_0ML_R	Servoakse	1
2	TV_008	Brakett	1
3	ISO_4762_M5X25_25N	Skruer	4
4	ISO_4762_M6X16_16N	Skruer	8
5	MXS8_10ASBT_MXS	Luftsynder	1
6	ISO_4762_M3X16_16N	Skruer	2
7	ISO_10642_M4x12_12N	Skruer	2
8	ZPR32CS_06_B6_ZPR7010	Sugekopp	4
9	TV_009	Brakett	1
10	TV_010	Brakett	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
					TopValg Engineering	
					Løfteenhet	
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:			
DRAWN			005			
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						
			MATERIAL:	DWG NO.	A3	
			WEIGHT:	SCALE:1:10		



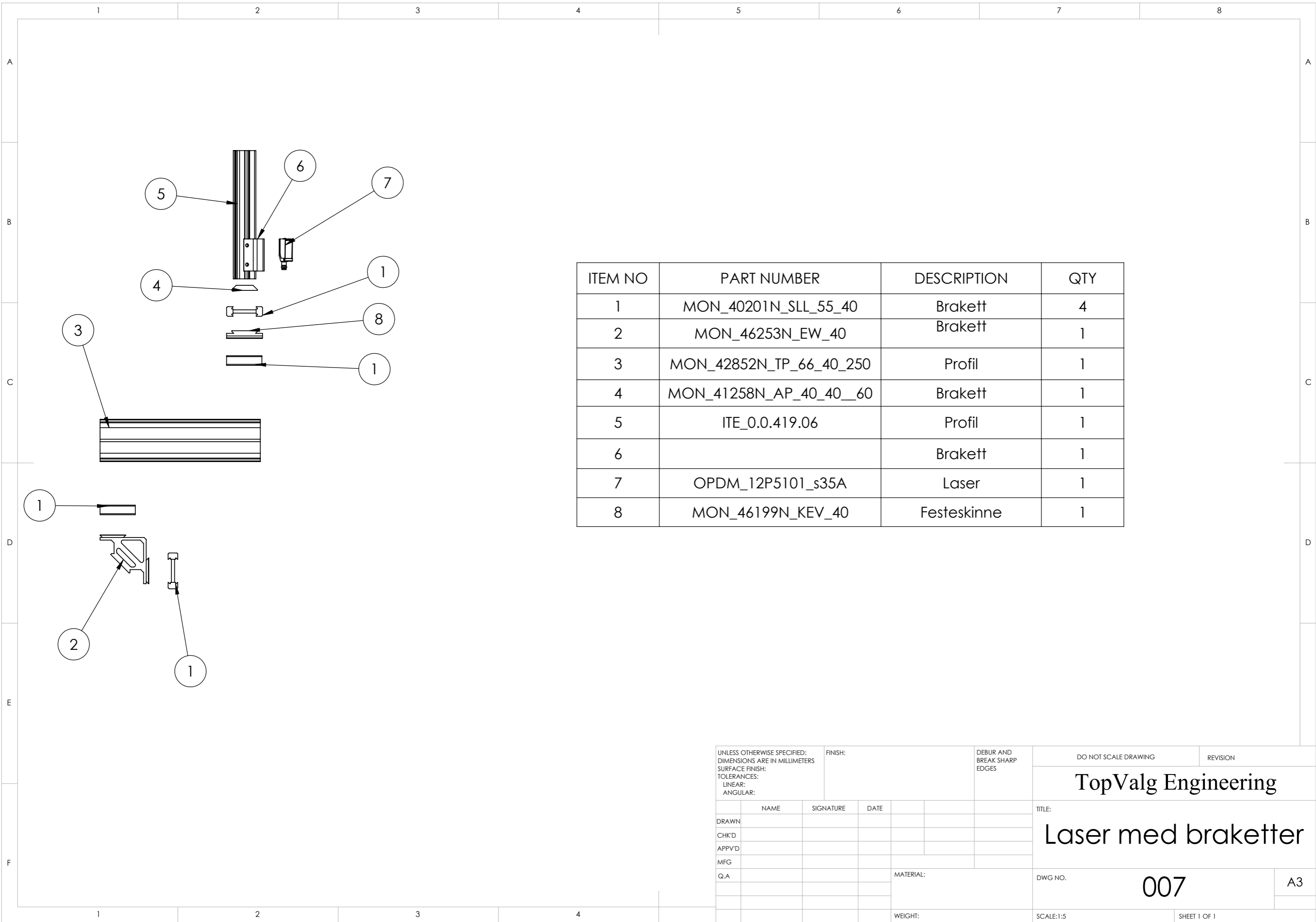
TV_002 Heis med pallet1



TE_002 Heis med pallet2

ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	TE_006	Heis med pallet og isoporboks	2
2	TV_011	Modifisert holder.	1
3	MON_44609N_EV_4_40	Brakett	2
4	MON_40202N_SLR_15_40	Brakett	4
5	MON_46253N_EWR_40	Brakett	2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN				TITLE:		
CHK'D				Heis med pallet		
APPV'D				DWG NO. 006		
MFG				SCALE:1:10		
Q.A				SHEET 1 OF 1		
MATERIAL:				A3		
WEIGHT:						



ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	MON_40201N_SLL_55_40	Brakett	4
2	MON_46253N_EW_40	Brakett	1
3	MON_42852N_TP_66_40_250	Profil	1
4	MON_41258N_AP_40_40_60	Brakett	1
5	ITE_0.0.419.06	Profil	1
6		Brakett	1
7	OPDM_12P5101_s35A	Laser	1
8	MON_46199N_KEV_40	Festeskinne	1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							TopValg Engineering				
							Laser med braketter				
DRAWN			NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:		
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		
									007		
							WEIGHT:		SCALE:1:5		
									SHEET 1 OF 1		
									A3		

5.2. Deleliste

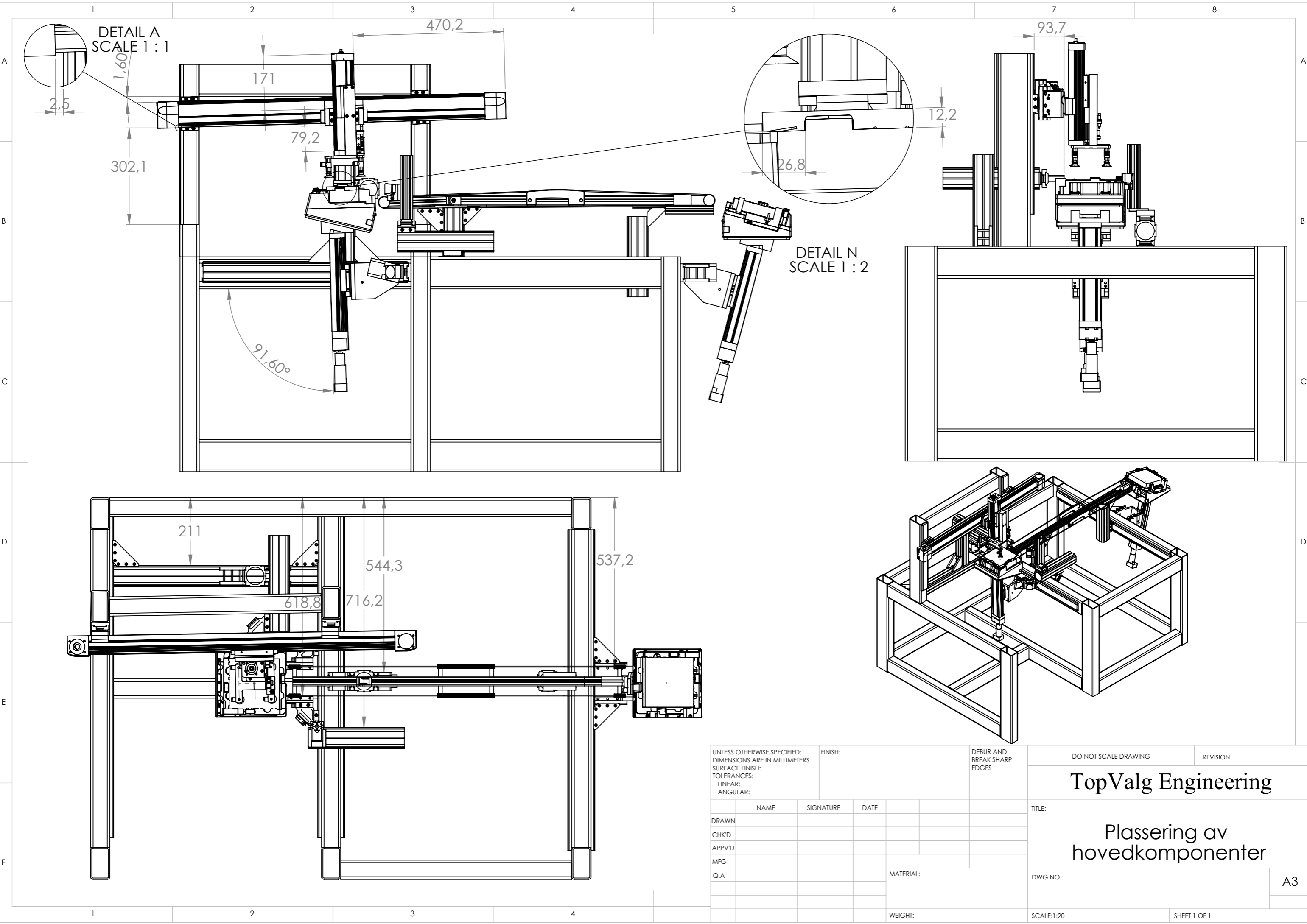
Dele Liste				
Part Number	Description	Supplier	Quantity	Tekniske data
Festo				
EGC_70_BS28165_5GK0_OML_R	Servoakse	Festo	1	[4]
EGC_80_800	Servoakse	Festo	1	[3]
MUE_722624_70_80P1	Festeklemme	Festo	4	
MUE_722627_80P1	Brakett	Festo	4	
Montech				
MON_40201N_SLL_55_40	Brakett	Montech	8	[5]
MON_40202N_SLR_15_40	Brakett		6	[5]
MON_41134N_SP_32E_40	Brakett	Montech	1	[5]
MON_41258N_AP_40_40_60	Brakett	Montech	1	[5]
MON_42386N_DS_4_40	Hjul	Montech	2	[5]
MON_42852N_TP_66_40_250	Profil	Montech	1	[5]
MON_42852N_TP_66_40_300	Profil	Montech	2	[5]
MON_42852N_TP_66_40_638	Profil	Montech	1	[5]
MON_44608N_EV_3_40	Brakett	Montech	4	[5]
MON_44609N_EV_4_40	Brakett	Montech	2	[5]
MON_45852N_EWR_40	Brakett	Montech	2	[5]
MON_46253N_EW_40	Brakett	Montech	1	[5]
MON_46199N_KEV_40	Brakett	Montech	1	[5]
Topvalg Engineering				
TV_001	Løfteenhet med servoakser	Topvalg Engineering	1	
TV_002	Heis med pall	Topvalg Engineering	1	
TV_003	Luftdyseboks med braketter	Topvalg engineering	1	
TV_004	Laser med festebraketter	Topvalg Engineering	1	
TV_005	Luftdyseboks	Topvalg Engineering	1	Se side 27
TV_006	Løfteenhet	Topvalg	1	

		Engineering		
TV-007	Festebrakett	Topvalg Engineering	2	
TV_008	Brakett	Topvalg Engineering	1	Se side 28
TV_009	Brakett	Topvalg Engineering	1	Se side 29
TV_010	Brakett	Topvalg Engineering	1	Se side 30
TV_011	Modifisert holder	Topvalg Engineering	1	Se side 31
Tronrud Engineering				
TE_001	Transportbånd	Tronrud Engineering	1	
TE_002	Heis med pallet	Tronrud Engineering	1	
TE_003	Ramme med festeskiner	Tronrud Engineering	1	
TE_004	Festebrakett	Tronrud Engineering	1	
TE_005	Plate	Tronrud Engineering	2	
TE_006	Heis med palett	Tronrud Engineering	2	
Skruer				
DIN_912_M5x16_F	Skrue	N/A	24	
ISO_10642_M4x12_12N	Skrue	N/A	2	
ISO_4762_M3x16_16N	Skrue	N/A	2	
ISO_4762_M4x16_16N	Skrue	N/A	2	
ISO_4762_M5x25_25N	Skrue	N/A	4	
ISO_4762_M6x16_16N	Skrue	N/A	8	
ISO_4762_M10x16_16N	Skrue	N/A	1	
Andre leverandører				
ITE_0.0.419.06	Profil	Item	1	[6]
MXS8_10ASBT_MXS	Luftsyylinder	SMC	1	[2]
OPDM_12P5101_s35A	Laser	Bauer	1	[7]
ZPR32CS_06_B6	Sugekopp	SMC	4	[1]

Tabell 4, Samlet deleliste

5.2.1. Referanseliste

1. <http://content.smcetech.com/pdf/ZP.pdf>, sist besøkt 24.05.2010.
2. <http://content.smcetech.com/pdf/mxs.pdf>, sist besøkt 24.05.2010.
3. http://www.festo.com/cat/no_no/data/doc_engb/PDF/EN/EGC-TB_EN.PDF, sist besøkt 24.05.2010.
4. http://www.festo.com/cat/no_no/data/doc_engb/PDF/EN/EGC-BS_EN.PDF, sist besøkt 24.05.2010.
5. http://www.montech.com/docs/Kataloge/A_07_Qs_e.pdf, sist besøkt 24.05.2010.
6. http://catalog.item-international.com/Onlinekatalog/web/EN/artikel/Construction_Profiles_6_1000218_44/41906, sist besøkt 24.05.2010.
7. http://sensor.baumerelectric.com/productnavigator/downloads/Produkte/PDF/Datenblatt/Optoelektronische_Sensoren/OPDM_12P5101_S35A_web_EN.pdf, sist besøkt 25.05.2010.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

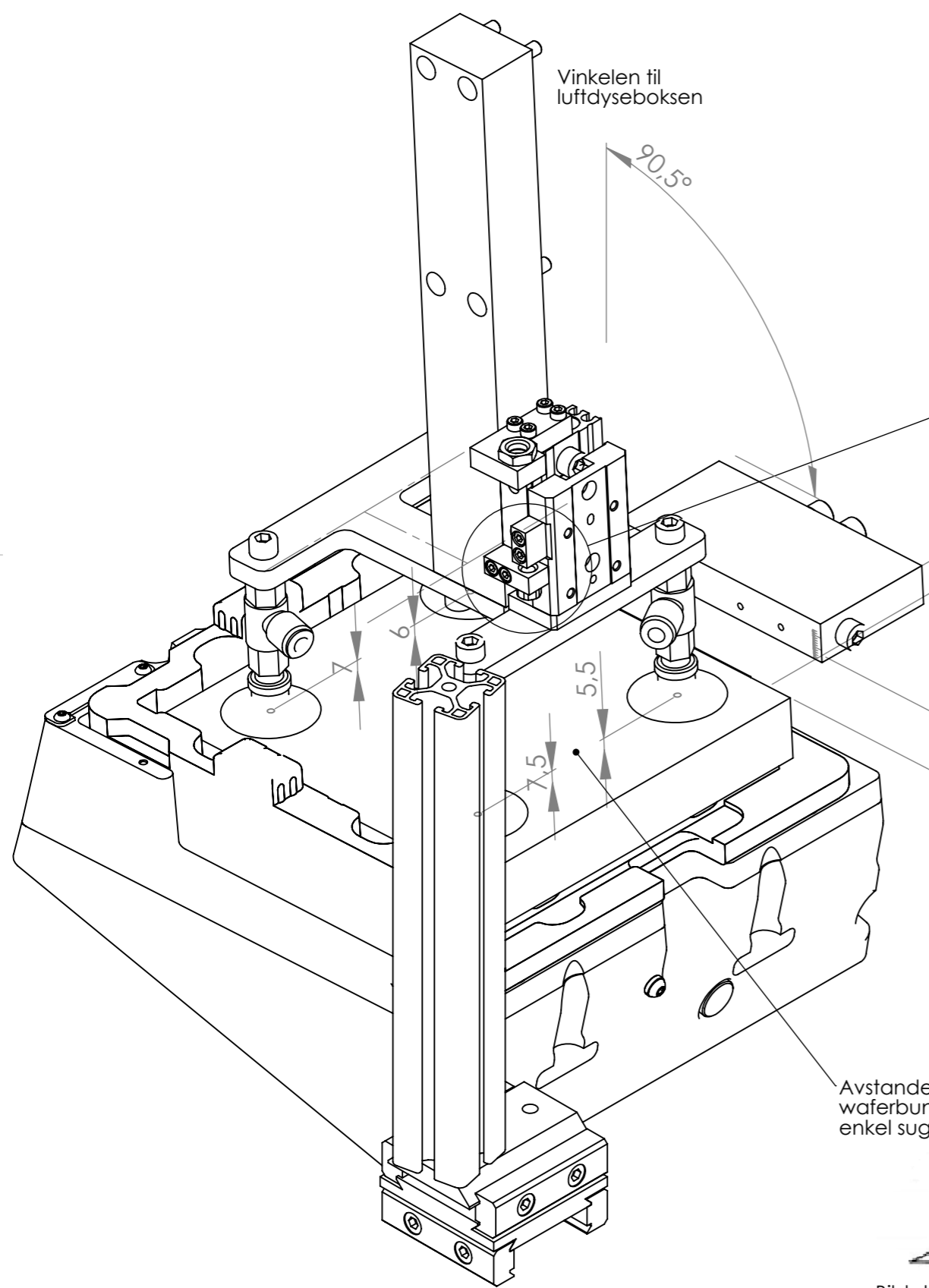
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TopValg Engineering

NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:	Plassering av hovedkomponenter	
DWG NO.		A3
SCALE:1:20		SHEET 1 OF 1



Vinkelen til
luftdyseboksen

90.5°

13

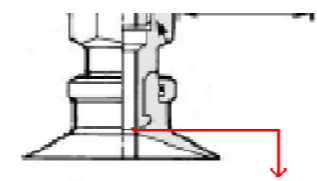
Avstand fra toppen
av waferbunken til
toppen av luftdyseboksen

26.5

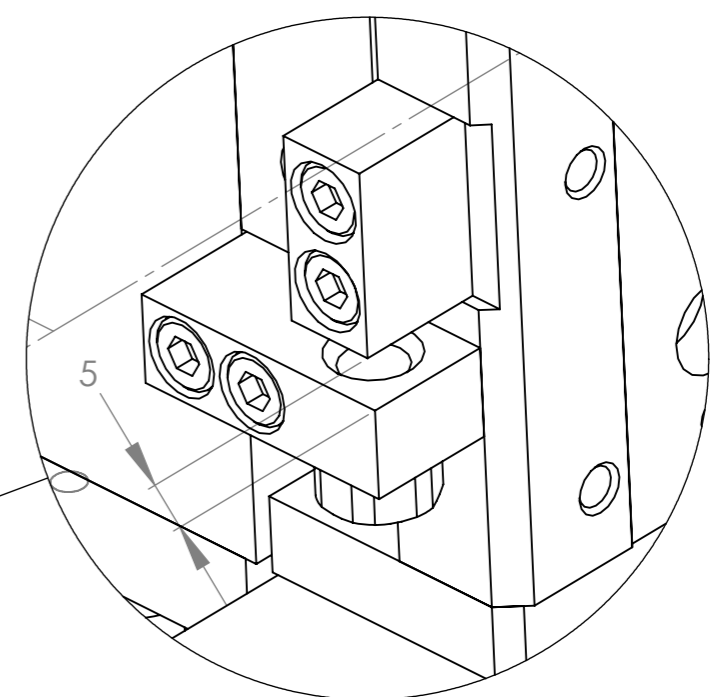
Avstanden mellom
waferbunken og
luftdyseboksen

7.5
5.5
6

Avstanden ned på
waferbunken for hver
enkel sugekopp



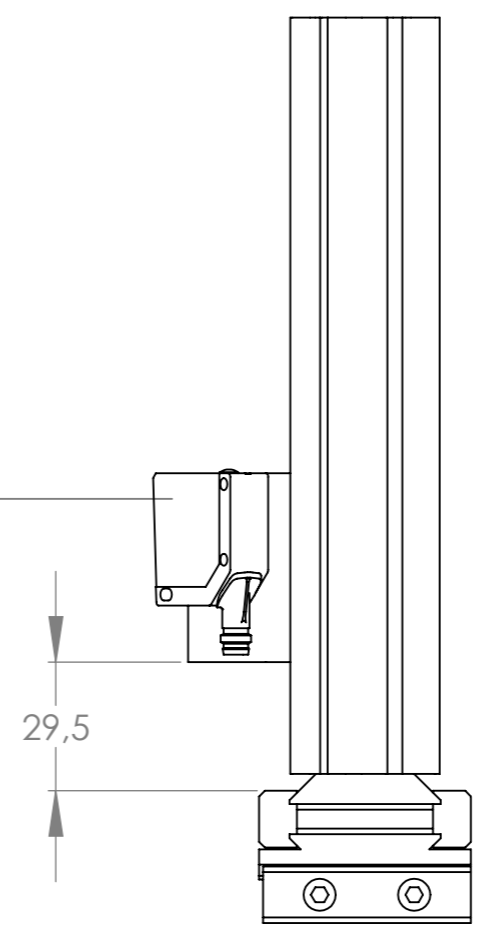
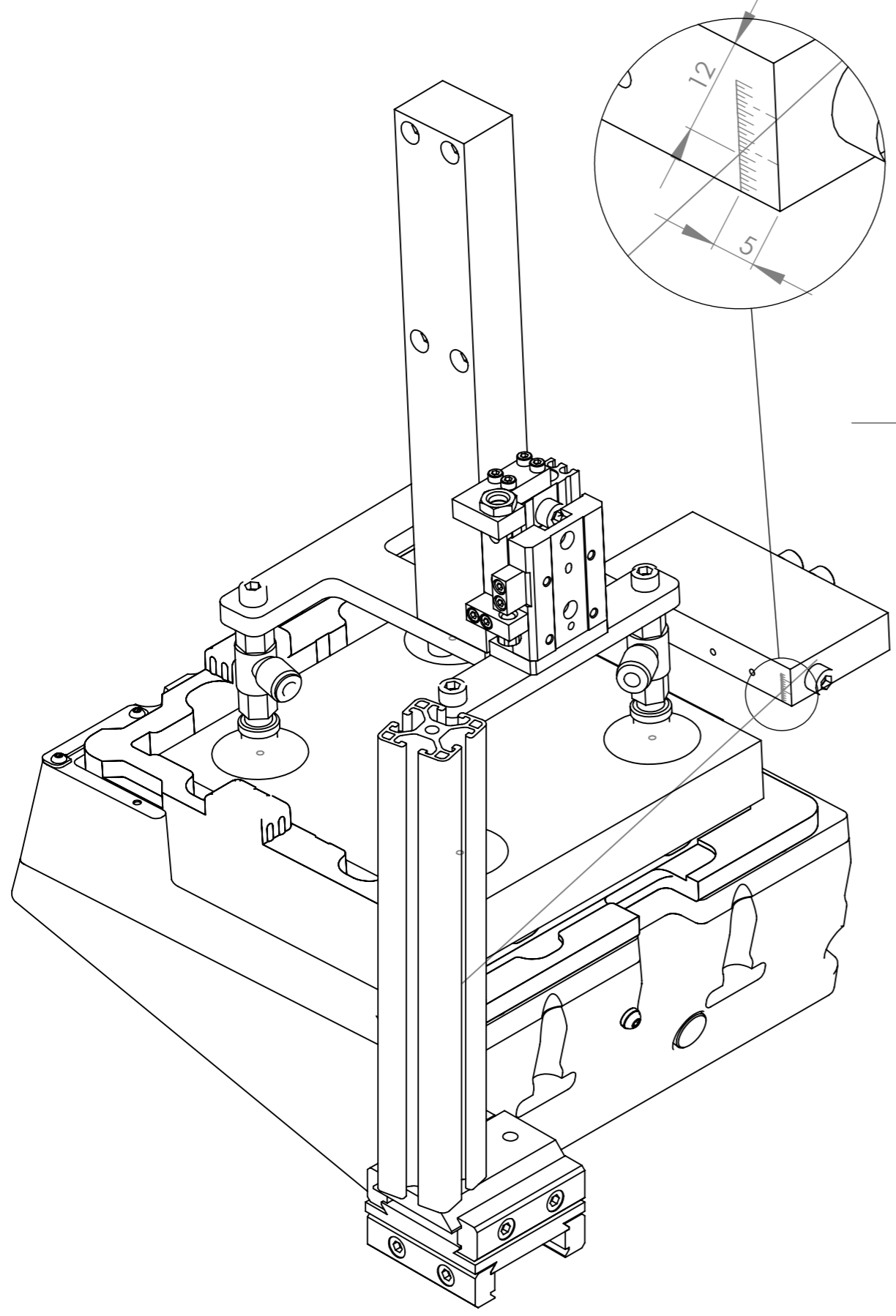
Bildet viser utgangspunktet
for målet på sugekoppen.



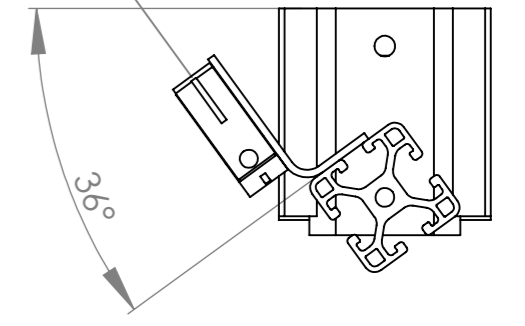
Luftsynderens
slaglengde

5

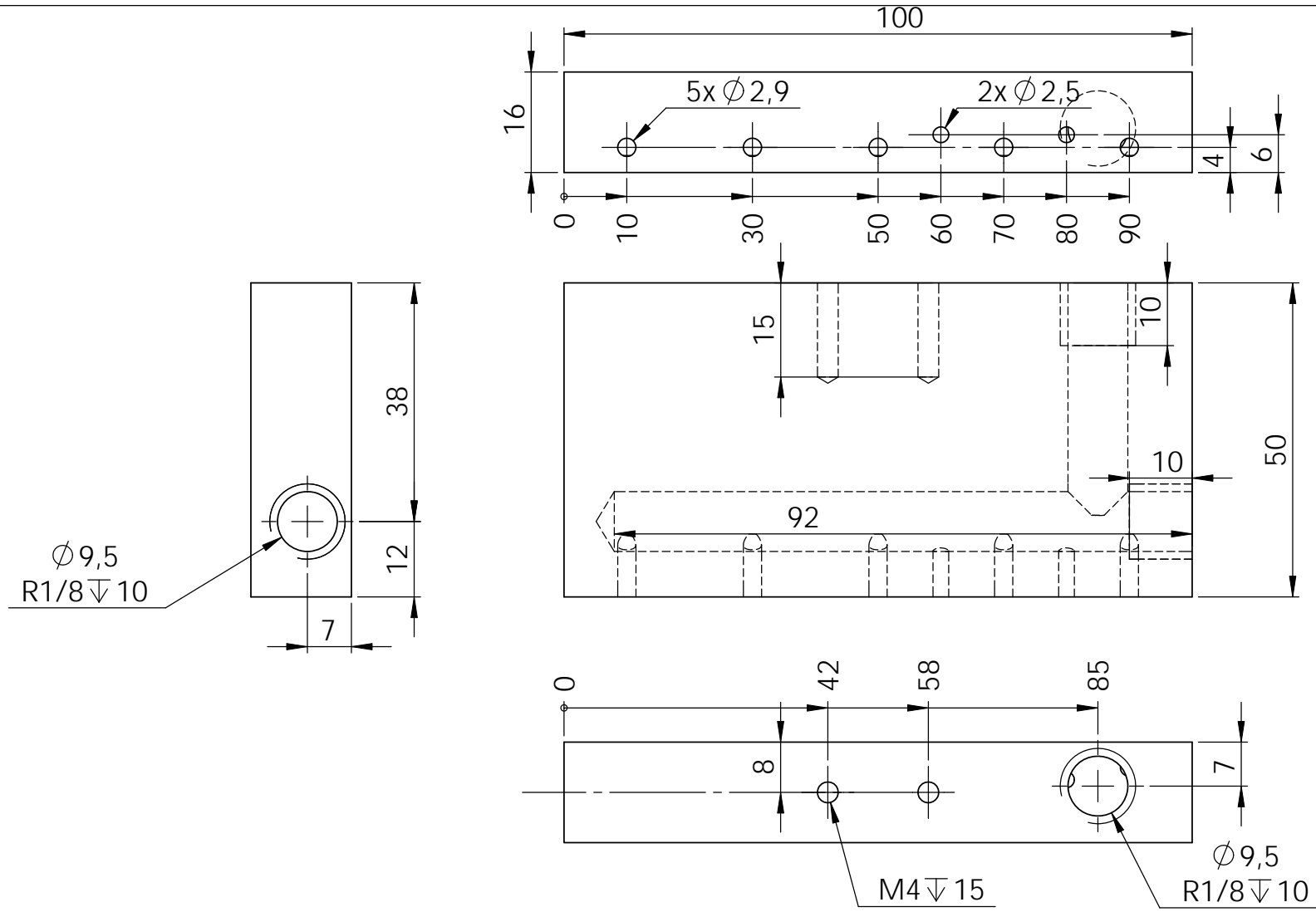
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						TopValg Engineering			
TOLERANCES:									
LINEAR:						TITLE:			
ANGULAR:						Justert oppsett for luftsynder, sugekopper og luftdyseboks. Oppsett for 0.16mm multikrystall wafer.			
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		DWG NO.	
CHK'D								A3	
APPV'D									
MFG									
Q.A						MATERIAL:			
						WEIGHT:		SCALE:1:10	
								SHEET 1 OF 1	



Linjen markerer laseren



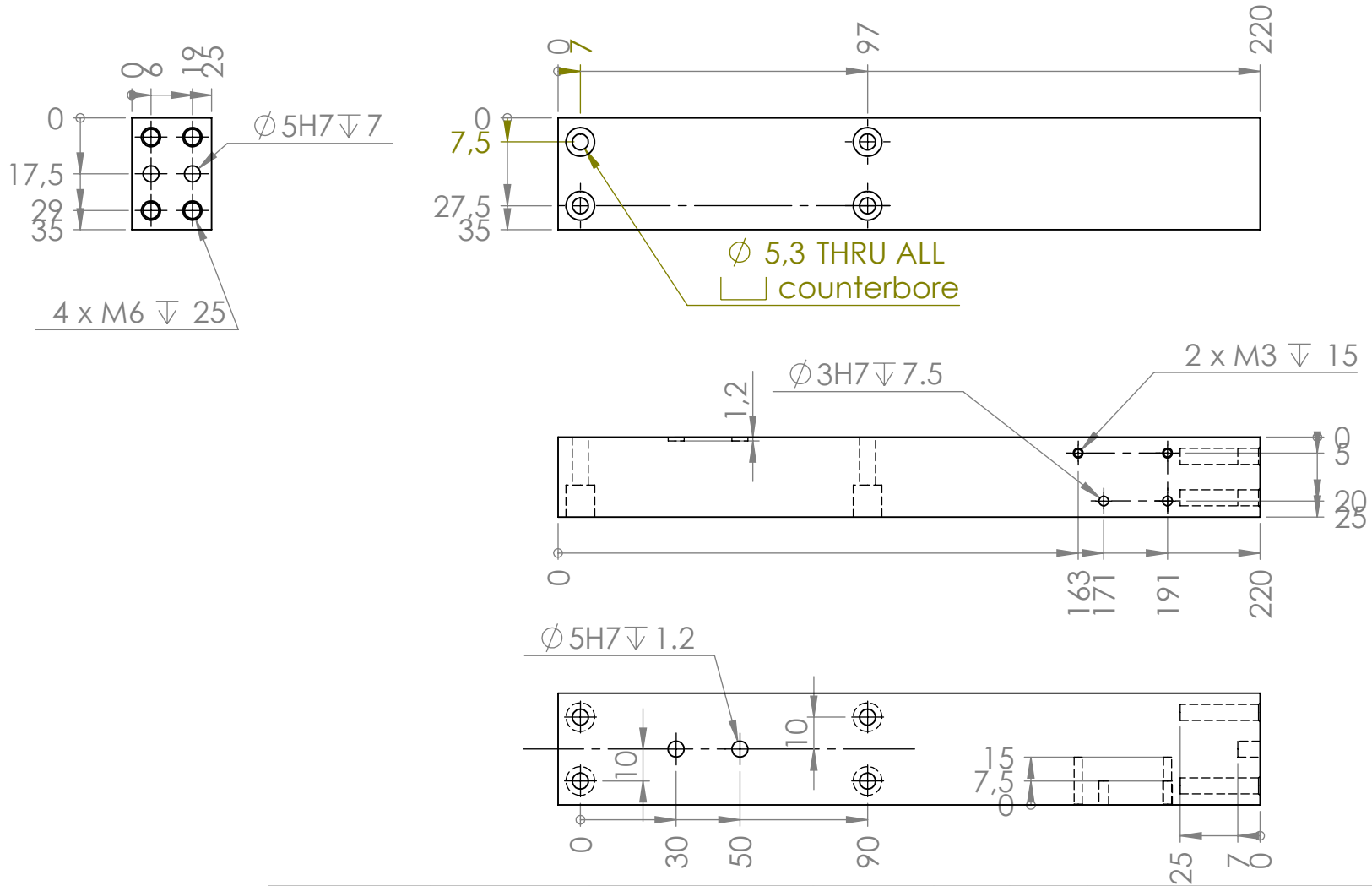
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						<h1 style="text-align: center;">TopValg Engineering</h1>			
TOLERANCES:									
LINEAR:						<h2 style="text-align: center;">Justert oppsett på Laser</h2>			
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:		
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A					MATERIAL:		DWG NO.		A3
					WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
 <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS
 STRICTLY PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN		
		TOLERANCES:	CHECKED		
		FRACTIONAL ±	ENG APPR.		
		ANGULAR: MACH ± BEND ±	MFG APPR.		
		TWO PLACE DECIMAL ±	Q.A.		
		THREE PLACE DECIMAL ±	COMMENTS:		
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
		MATERIAL			
		FINISH			
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING			

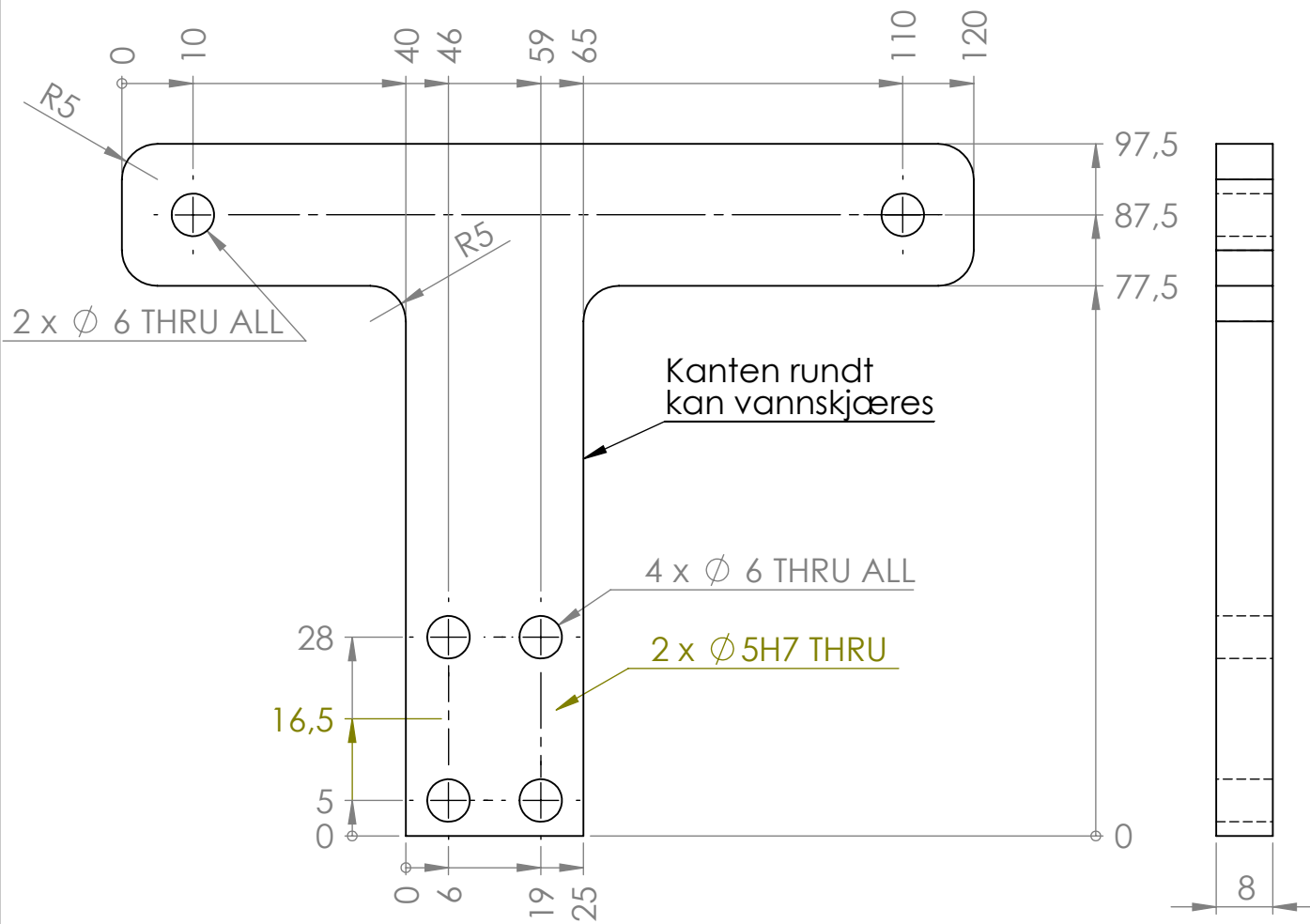
TopValg Engineering		
TITLE: Luftdyseboks		
SIZE A	DWG. NO. TV_005	REV
SCALE: 1:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN	
		TOLERANCES:	CHECKED	
		FRACTIONAL \pm	ENG APPR.	
		ANGULAR: MACH \pm BEND \pm	MFG APPR.	
		TWO PLACE DECIMAL \pm	Q.A.	
		THREE PLACE DECIMAL \pm	COMMENTS:	
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		
		MATERIAL		
NEXT ASSY	USED ON	FINISH		
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING		

TopValg Engineering		
TITLE:		
Brakett		
SIZE	DWG. NO.	REV
A	TV_008	
SCALE: 1:5	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1

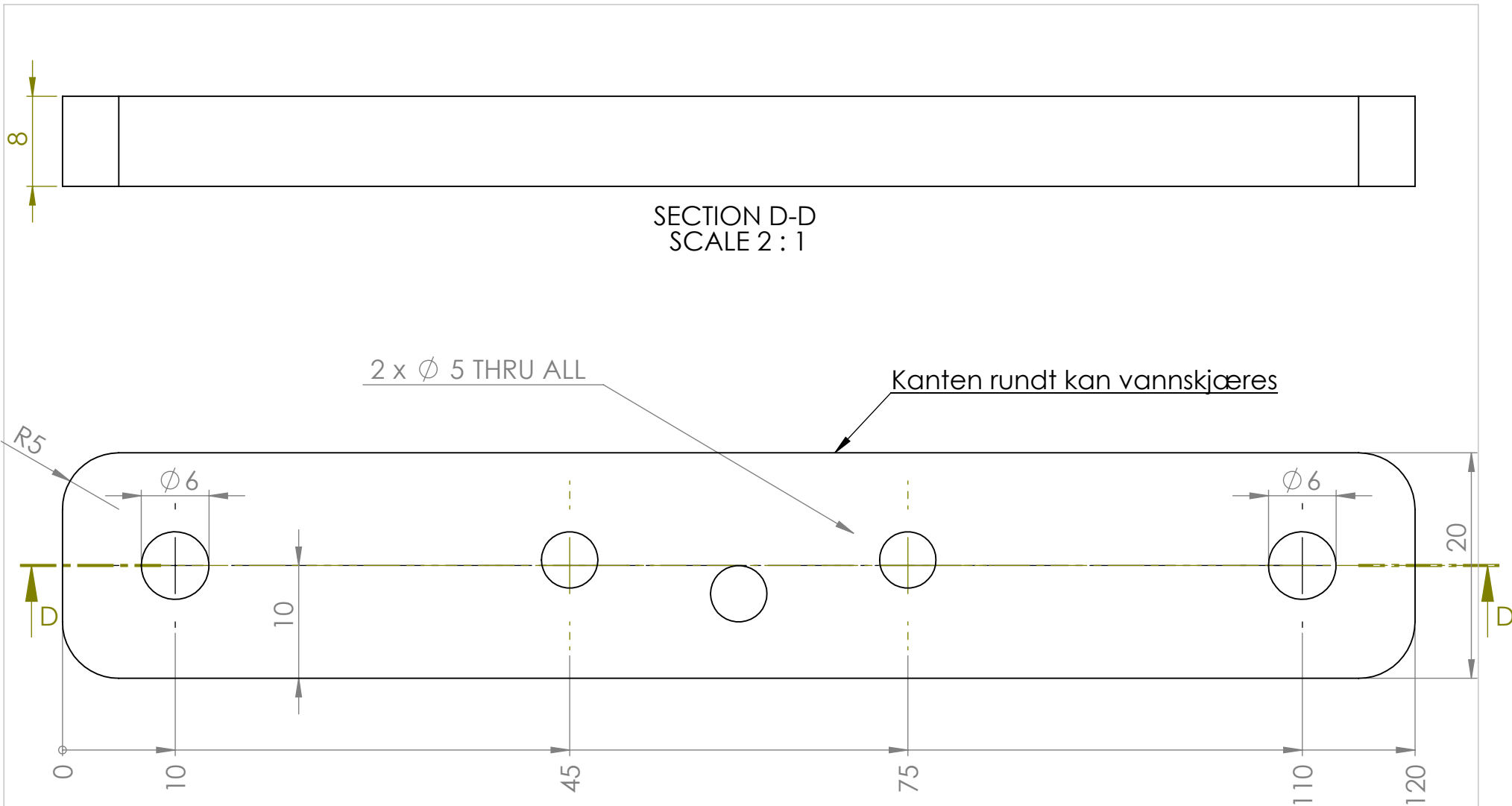


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN		
		TOLERANCES:	CHECKED		
		FRACTIONAL ±	ENG APPR.		
		ANGULAR: MACH ± BEND ±	MFG APPR.		
		TWO PLACE DECIMAL ±	Q.A.		
		THREE PLACE DECIMAL ±	COMMENTS:		
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
		MATERIAL			
		FINISH			
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING			

TopValg Engineering
 TITLE:
Brakett

SIZE	DWG. NO.	REV
A	TV_009	
SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



SECTION D-D
SCALE 2 : 1

2 x Ø 5 THRU ALL

Kanten rundt kan vannskjæres

R5

Ø6

Ø6

D

D

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN		
		TOLERANCES:	CHECKED		
		FRACTIONAL ±	ENG APPR.		
		ANGULAR: MACH ± BEND ±	MFG APPR.		
		TWO PLACE DECIMAL ±	Q.A.		
		THREE PLACE DECIMAL ±	COMMENTS:		
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
		MATERIAL			
NEXT ASSY	USED ON	FINISH			
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING			

TopValg Engineering		
TITLE:		
Brakett		
SIZE	DWG. NO.	REV
A	TV_010	
SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1

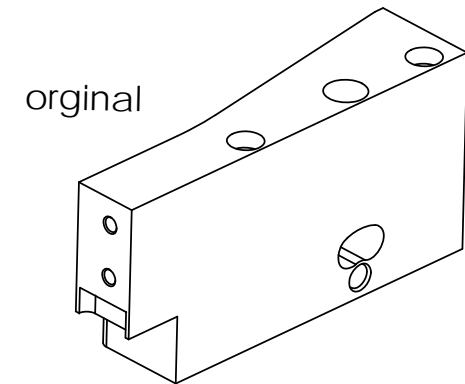
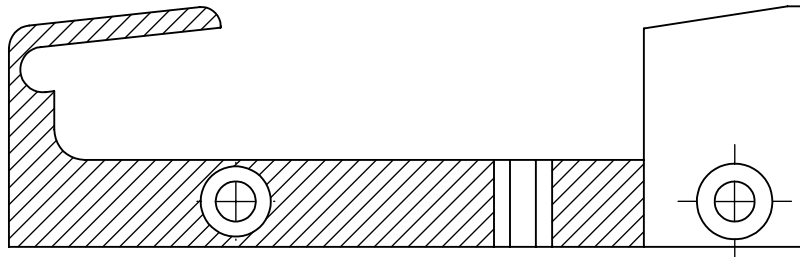
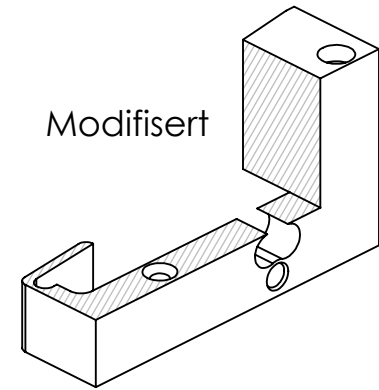
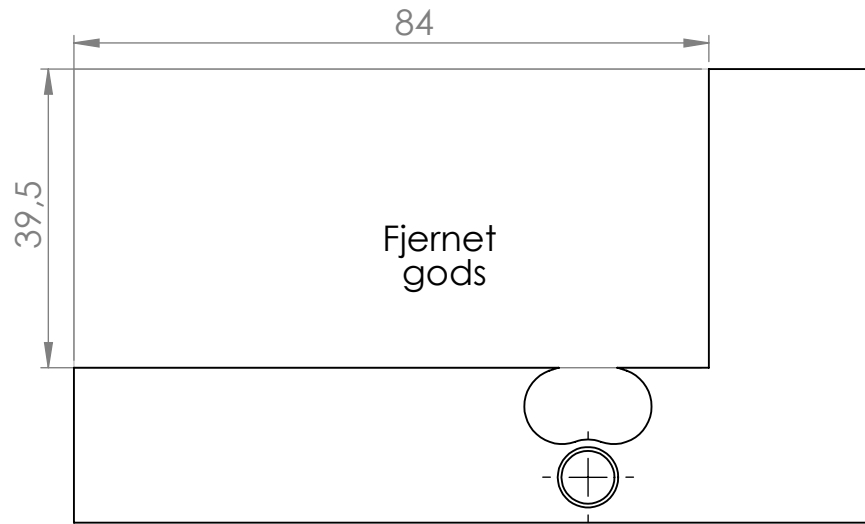
5

4

3

2

1



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
		DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN		
		TOLERANCES:	CHECKED		
		FRACTIONAL ±	ENG APPR.		
		ANGULAR: MACH ± BEND ±	MFG APPR.		
		TWO PLACE DECIMAL ±	Q.A.		
		THREE PLACE DECIMAL ±	COMMENTS:		
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
		MATERIAL			
		FINISH			
NEXT ASSY	USED ON				
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING			

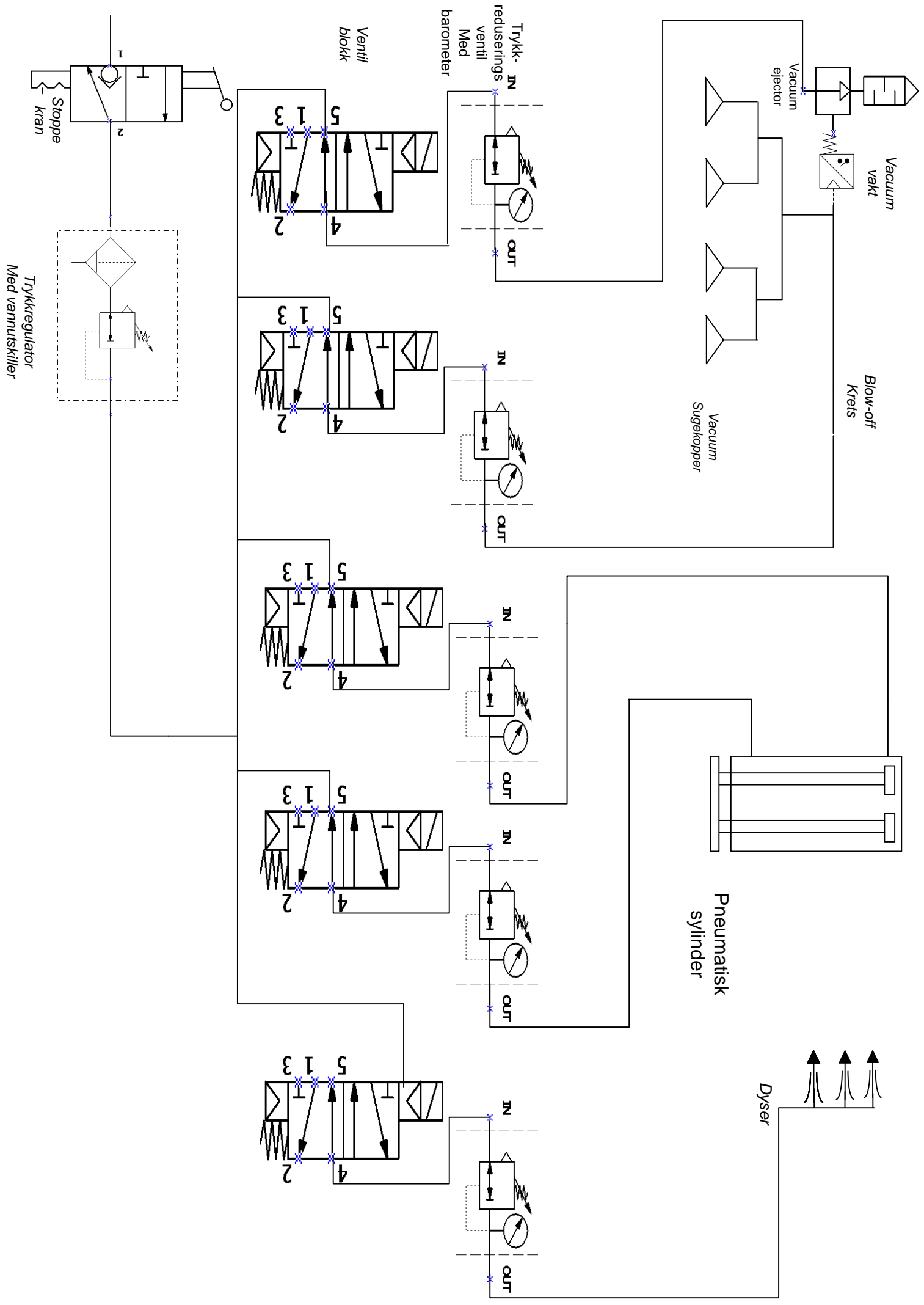
TopValg Engineering

TITLE:

Modifisert holder

SIZE	DWG. NO.	REV
A	TV_011	

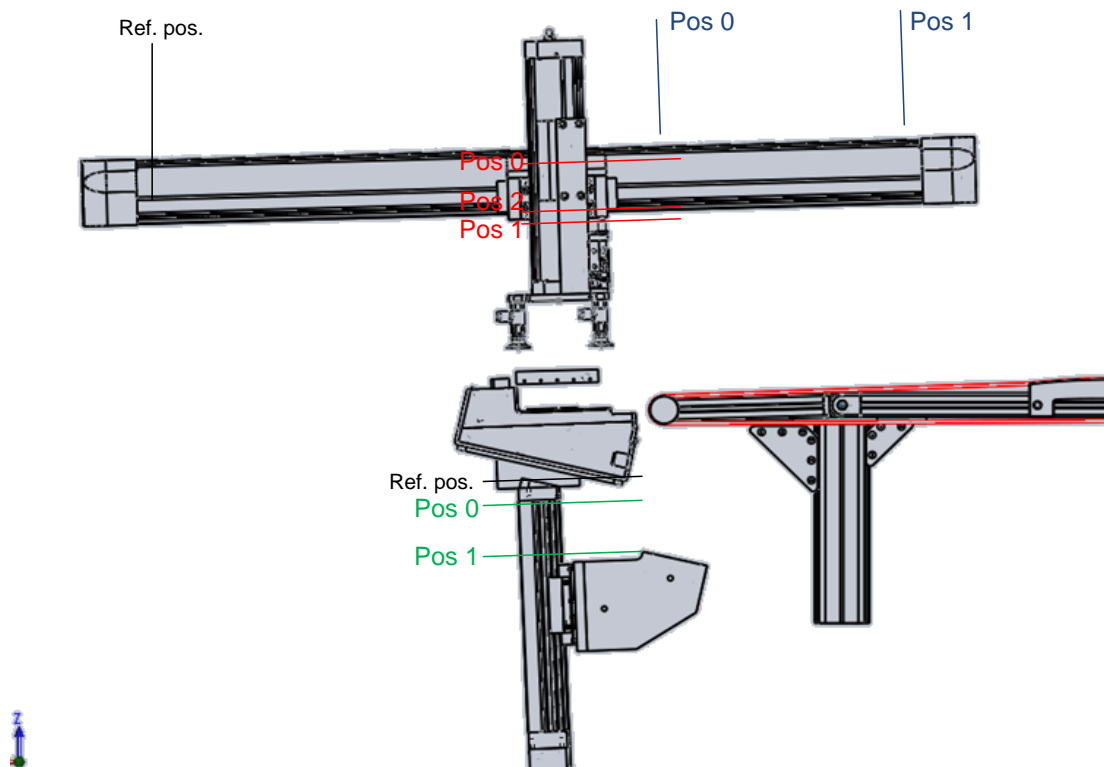
SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
------------	---------	--------------



6. Softwareoppsett og Slaglengder

6.1. Softwareoppsett

For å få systemet til å fungere optimalt, har finjustering vært en sentral bit av avsluttende arbeid. Det er blitt prøvd med forskjellige verdier på ulike parametre. Her vises en oversikt over de software-verdiene som er satt.



Figur 22, Posisjoner til servoakser og heiser

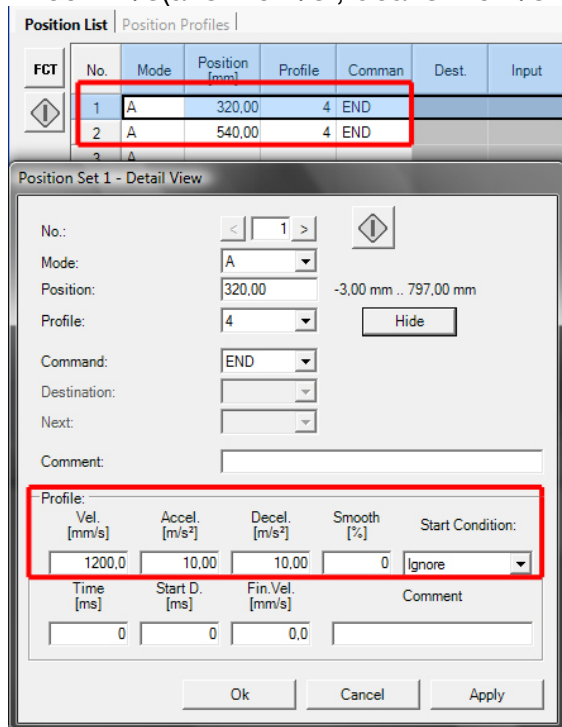
6.1.1. Horisontal servoakse

Pos 0

Den horisontale servoaksen beveger seg 320mm fra referanseposisjonen ut til horisontal initialposisjon.

Pos 1

Bevegelse er fra 320mm til 540mm, relativt til referansepunktet. Aksen har en fart 1200mm/s(aks: 10m/s^s, deaks: 10m/s².)



Figur 23 - Utsnitt fra Festo Configuration Tool. Øverst viser bildet initialposisjonen og endeposisjonen. Fart og akselerasjon vises nederst.

6.1.2. Vertikal servoakse

Pos 0

Posisjon 0 er også servoaksens referanseposisjon. Når resetfunksjonen aktiveres er det denne posisjonen den går til.

Pos 1

Servoaksen beveger seg 76mm ned, dette er henteposisjon.

Pos 2

Aksen beveger seg opp 12mm, I denne posisjonen blir waferen transportert og sluppet på transportbåndet.

6.1.3. Palletheis

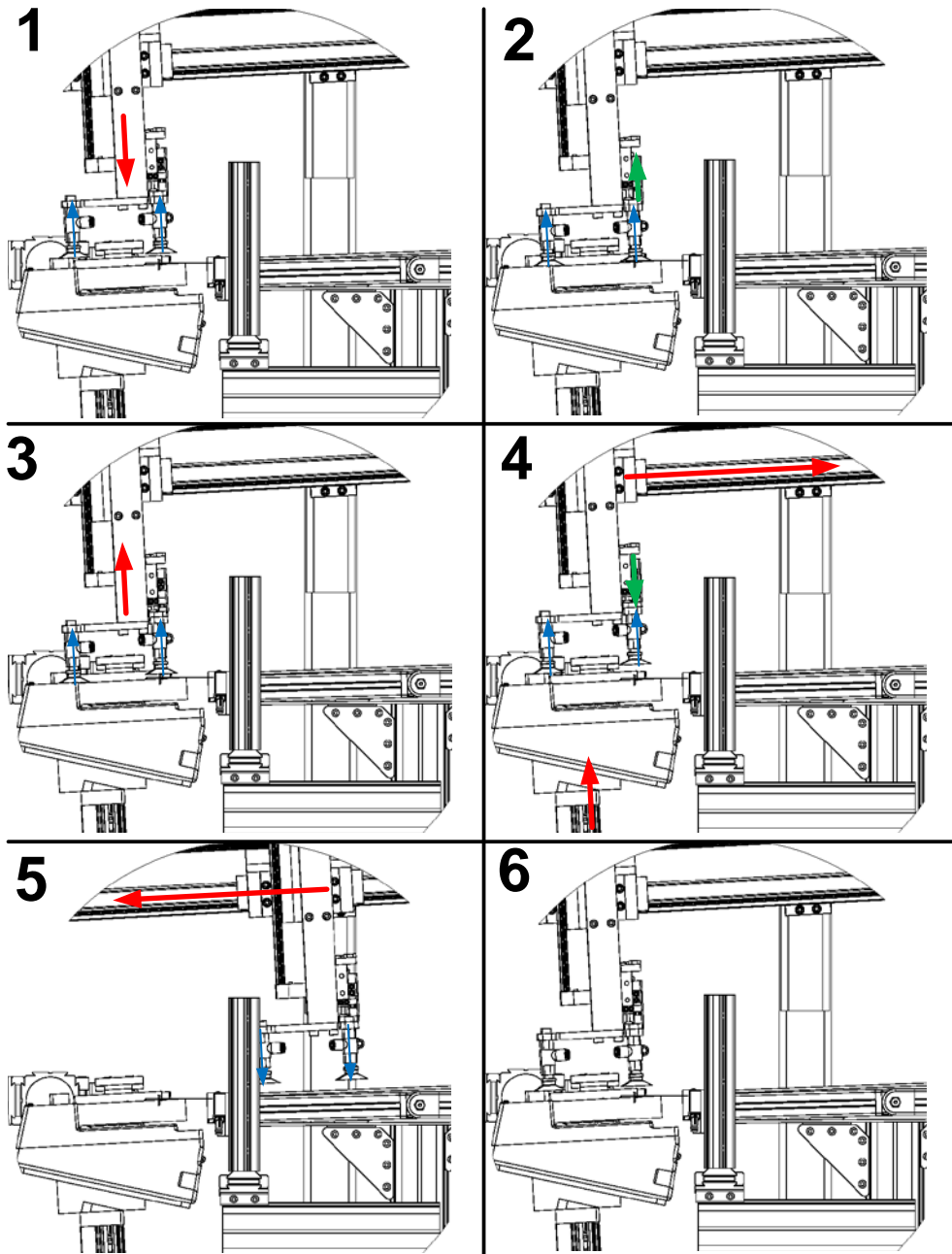
Pos 0

18mm fra referansepunktet. Her skjer innlastning av wafere.

Pos 1

Denne posisjonen er dynamisk i forhold til laserens plassering og waferbunkens tjukkelse.

6.2. Bevegelser



Figur 24, Illustrasjon av bevegelsene til Pick & Place

6.2.1. Initialposisjoner

Løftemodul over heis.

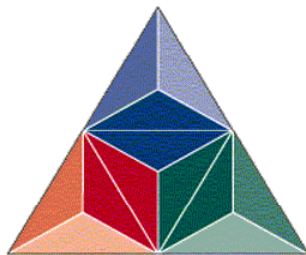
Heis kalibrert.

Transportbånd på.

Luft, vakuüm på. ↑

6.2.2. Løfteprosessen

2. Løftemodul ned, 12mm. ↓
3. 1.steg luftsyl. Opp, 5mm. ↑
4. Løftemodul opp, 12mm. ↑
5. 1.steg luftsyl. Ned, 5mm. ↓
Løftemodul mot transportbånd, 220mm. →
Heis stepp opp, 0,16mm. ↑
Luft, blowoff på. med forsinkelse 220 ms.
6. Luft, blowoff av. ↓
Løftemodul mot heis, 220mm. ←
7. Initialposisjon



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning Institutt for Teknologi

Vedlegg III - Konsepttester

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller
TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFHO3200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven

Jamal Safi

Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi

Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Innholdsfortegnelse

1.	Konsepttest 1 – Tostegsløft – Test 1	1
1.1.1.	Bakgrunn	1
1.1.2.	Formål.....	1
1.1.3.	Utstyr	1
1.1.4.	Oppsett av utstyr	1
1.1.5.	Parametere:	3
1.2.	Gjennomføring.....	4
1.3.	Resultat	5
1.4.	Tolkning av resultatene	6
1.4.1.	Om matrisen, L9	6
1.4.2.	S/N (signal over noise)	6
1.4.3.	Gjennomsnitt	6
1.4.4.	Feilkilder.....	6
1.5.	Konklusjon.....	7
2.	Konsepttest – Tostegsløft – Plassering av luftdyser.....	8
2.1.1.	Bakgrunn	8
2.1.2.	Formål.....	8
2.1.3.	Utstyr	8
2.1.4.	Oppsett.....	8
2.2.	Gjennomføring.....	9
2.3.	Resultater	10
2.4.	Konklusjon.....	10
3.	Konsepttest – Tostegsløft – Vinkel på isoporeske.....	11
3.1.	Bakgrunn.....	11
3.1.1.	Formål.....	11
3.1.2.	Utstyr	11
3.2.	Gjennomføring.....	11
3.3.	Parametere.....	12
3.4.	Konklusjon.....	13
4.	Konsepttest – Tostegsløft – Test av prinsipp 2	14
4.1.	Tostegsløft – Test av prinsipp 2	14
4.1.1.	Bakgrunn	14
4.1.2.	Formål.....	14
4.1.3.	Utstyr	14
4.1.4.	Oppsett av utstyr	14
4.1.5.	Parametere:	15
4.1.6.	Gjennomføring	16
4.2.	Selve gjennomføringen.....	16
4.2.1.	Kommentarer til gjennomføring	16
4.2.2.	Resultater.....	17

4.2.3. Om matrisen, L9	18
4.2.4. S/N (signal over noise)	18
4.2.5. Gjennomsnitt	18
4.2.6. Feilkilder.....	18
4.3. Konklusjon.....	18

Figurliste

Figur 1, Testoppsett fra siden.....	2
Figur 2, Testoppsett ovenfra.....	2
Figur 4, Grafisk fremstilling av respons	6
Figur 3, Grafisk fremstilling av snitt	6
Figur 5, Løfteprinsippet vist fra siden	8
Figur 6, Testens plassering av trykkluften	9
Figur 7, De øverste waferne krummer seg begrunn av luften som blåses inn.....	9
Figur 8, Bildet over viser optimal vinkel med god separasjon uten at platene flyter ut fra esken.....	13
Figur 9, Testoppsett sett sidenfra.....	15
Figur 10, Testoppsett sett ovenfra.	15

Tabelliste

Tabell 1, Parameter og variabeltabell, med snitt og signal over støyverdier	5
Tabell 2, Respons og snitttabell for de ulike parameterne	5
Tabell 3, Parameter og variabeltabell, med snitt og signal over støyverdier.	17
Tabell 4, Respons og snitttabell for de ulike parameterne.	Error! Bookmark not defined.

1. Konsepttest 1 – Tostegsløft – Test 1

Tostegsløft – Test av prinsipp

1.1.1. Bakgrunn

Bakgrunnen for denne testen er at etter møtet mellom TV og flere av TE sine ingeniører som har og har hatt tilknytning til REC sin solcelle linjer, ble det enighet om at TV skulle jobbe videre med singulering av wafere og celler ved hjelp av et tostegsløft. For å sjekke om singulering ved hjelp av et tostegsløft måtte prinsippet testes

1.1.2. Formål

Formålet med denne testen er å finne ut om det er mulig å bruke et to stegs løfteprinsipp til singulere 160 mikrometer tykke wafere. Testen skal innholde flere justerbare parametere. Taguchi metoden skal brukes til å analysere parameterne som brukes. Dette skal gjøres for å finne hvilke parametere som har størst innvirkning på hvor vellykket singuleringen blir. Ønsket resultat er å bøye øverste wafer og bruke lufttrykk gjennom en dyse til å bruke denne kombinasjonen til å skille doble wafere.

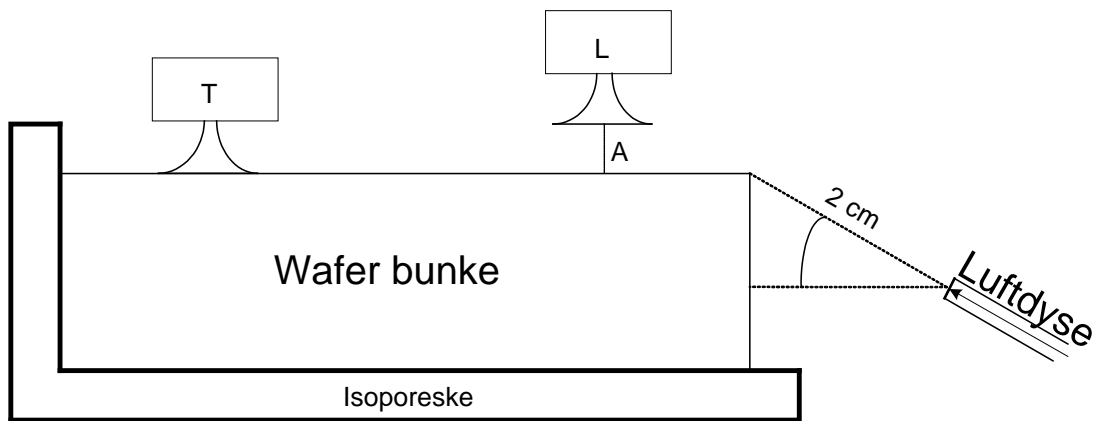
1.1.3. Utstyr

- 2 x løftemoduler med sugekopper
- 1 x isoporeske med wafere med tykkelse 160 mikrometer
- 1 x en improvisert rig
- 1 x vakuumejektor
- 1 x enkel luftdyse
- Luftslanger og luft brytere
- Regulerbart lufttrykk

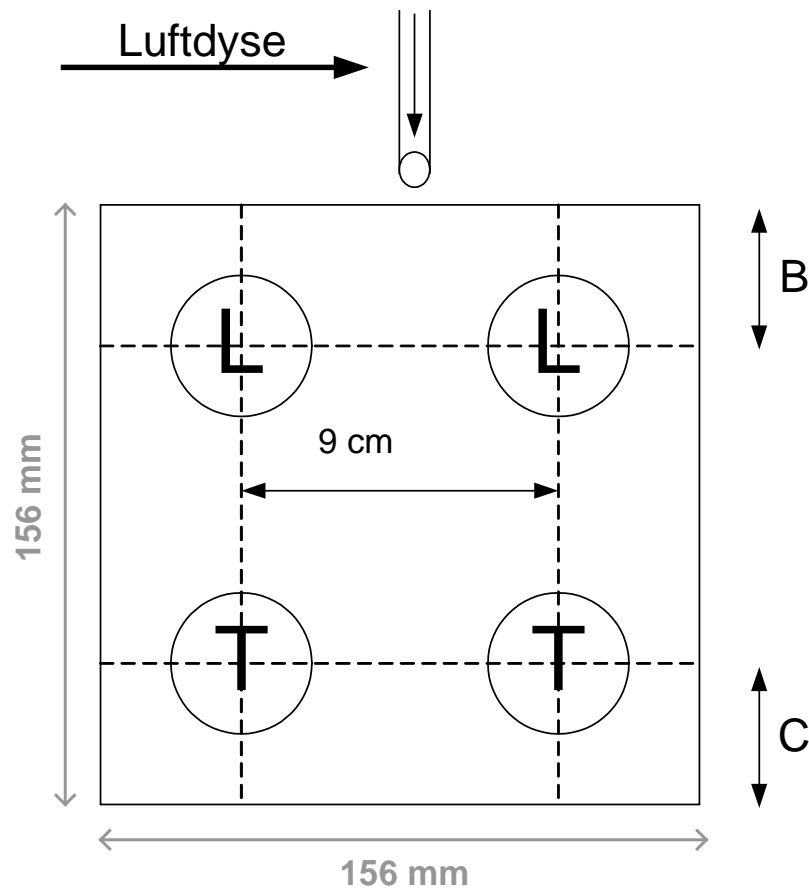
1.1.4. Oppsett av utstyr

Isoporesken med wafere skal stå på et bord. Modul T og L skal settes på plassen til testverdien som skal testes. Modul L skal kobles til en vakuumejektor med undertrykkmåler, for å kunne regulere undertrykket. Det skal lage en konstruksjon som begrenser høyden man får løftet opp L fra bunken. En konstruksjon til å holde T modulen på plass kan også være nødvendig. En dyse med lufttrykk skal festes ved enden av waferbunken. Den skal kunne blåse skrått opp mot toppen av bunken, med en vinkel på 30 grader. Luftstrømmen ut av dysen skal kunne reguleres. Avstanden fra tuppen av dysa til toppen av bunken skal være 2 cm horisontalt. Dysa skal være festet til en trykk regulator for å kunne regulere trykket.

Oppsett



Figur 1, Testoppsett fra siden



Figur 2, Testoppsett ovenfra

1.1.5. Parametere:

A

Avstanden fra oversiden av L modulen når den settes på waferne. Til oversiden av L modulen etter løftet.

Testverdier for A:

- 1: 0,5 cm
- 2: 1,0 cm
- 3: 1,5 cm

B

Avstanden fra senter på vakuumbkoppene til L modulen tilenden av waferen som vist på tegninga.

Testverdier for B:

- 1: 2,0 cm
- 2: 3,5 cm
- 3: 5,0 cm

C

Avstanden fra senter på vakuumbkoppene til T modulen til enden av waferen som vist på tegninga.

Testverdier for C:

- 1: 2,0 cm
- 2: 3,5 cm
- 3: 5,0 cm

D

Mengde med luft som skal brukes i dysa.

Testverdier for D:

- 1: 0,0 liter/min
- 2: 0,2 liter/min
- 3: 0,5 liter/min

1.2. Gjennomføring

Når alt utstyret er satt opp. Skal undertrykket som trengs av vakuumejektoren for å løfte opp enden av waferene bestemmes. Dette gjøres med prøving og feiling. Trykket man finner skal noteres ned i rapporten. Deretter skal selve målingene gjøres. Det skal gjøres 5 målinger med hvert oppsett. Alle måleresultatene skal føres inn i en Signal over Noise tabell. Hver måling består av følgende syklus.

1. Øverste wafer i bunken skal trykkes forsiktig ned for å sørge for at det ikke er noe luft mellom de øverste waferne i bunken.
2. Modul T settes på waferene i henhold til hvilken testparameter C skal ha. Modul T har en vekt på 272 gram.
3. Lufttrykket til dysa skal settes til verdien testparameter D skal ha.
4. Modul L senkes ned på den øverste waferen. Senter på sugekoppen skal treffe waferen i henhold til hvilken testparameter B skal ha. Den skal ikke trykkes ned på bunken.
5. Modul L skal løftes vertikal opp til høyden testparameter A skal ha.

Luftmengden til vakuumløfterne ble satt til 0,065 liter/min. Løftet var gjort manuelt, med mekaniske stoppere.

1.3. Resultat

Parametere og variable				Test					Mindre er bedre		
A	B	C	D	I	II	III	IV	V	VAR	μ	S/N
1	1	1	1	2	2	2	2	6	3,20	2,80	1,02
1	2	2	2	4	8	10	6	11	8,20	7,80	1,83
1	3	3	3	4	2	5	3	2	1,70	3,20	1,06
2	1	2	3	5	5	6	5	6	0,30	5,40	1,47
2	2	3	1	4	4	5	1	1	3,50	3,00	1,07
2	3	1	2	2	2	2	2	2	0,00	2,00	0,60
3	1	3	2	4	1	1	1	1	1,80	1,60	0,60
3	2	1	3	2	2	2	2	2	0,00	2,00	0,60
3	3	2	1	2	2	2	2	1	0,20	1,80	0,53

Tabell 1, Parameter og variabeltabell, med snitt og signal over støyverdier

Responstabell

Parameter 1

Parameter 2

Parameter 3

Differanse

A	B	C	D
1,30	1,03	0,74	0,87
1,05	1,17	1,28	1,01
0,58	0,73	0,91	1,04
0,72	0,43	0,54	0,17

Snittabell

Parameter 1

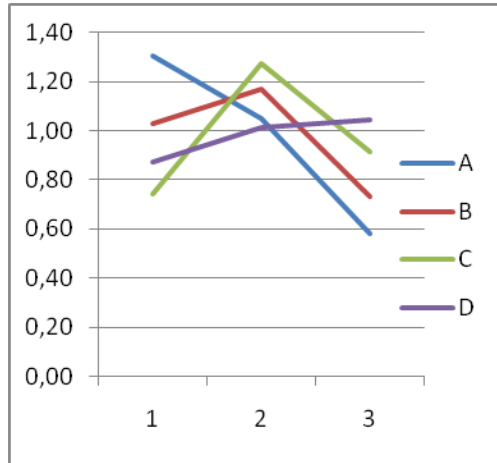
Parameter 2

Parameter 3

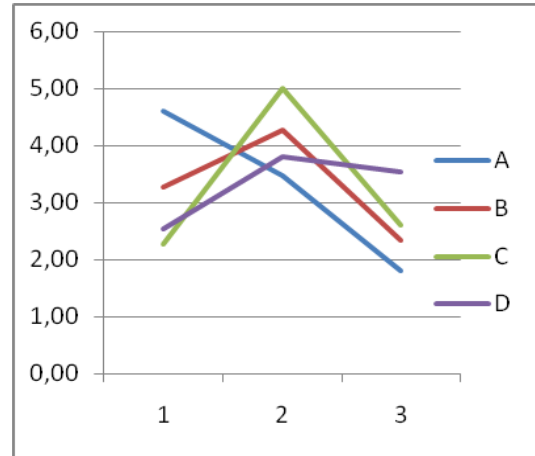
Differanse

A	B	C	D
4,60	3,27	2,27	2,53
3,47	4,27	5,00	3,80
1,80	2,33	2,60	3,53
2,80	1,93	2,73	1,27

Tabell 2, Respons og snittabell for de ulike parameterne



Figur 4, Grafisk fremstilling av respons



Figur 3, Grafisk fremstilling av snitt

1.4. Tolkning av resultatene

1.4.1. Om matrisen, L9

TV brukte en ortogonal testmatrise (L9), der alle parametrene blir representert like mange ganger gjennom alle testoppsettene, dette gir et representativt utvalg av antall oppsett. Dersom TV skulle ha testet alle alternativene skulle de ha gjennomført $3^4=81$ tester, ved å bruke den ortogonale matrisen reduseres antall testoppsett til 9 oppsett.

1.4.2. S/N (signal over noise)

Ved å måle antall wafere som blir med under hver singulering kan TV beregne ønsket respons over uønsket respons, dette resultatet føres over i en logaritmisk skala og TV kan sammenligne hvilke faktorer som gir mest utslag på respons og støy. Ut i fra dette kan TV velge parametre som gir mest innvirkning på hvor mange wafere som følger med under singuleringen.

1.4.3. Gjennomsnitt

Ideelt sett skal snittet være så lavt som mulig på vårt forsøk. Dette fordi gjennomsnittet forteller hvor store forskjeller det i resultatene i tester, utført med samme parameteroppsett.

1.4.4. Feilkilder

Løftet ble gjort med hånd TV har derfor ingen målbare data for løftehastighet, akselerasjon på løftet eller trykket som blir påført wafere under nedsenking. Siden TV har gjennomført flere tester med samme oppsett, regner vi med at snittet gir et resultat vi kan benytte.

2. Konklusjon

Resultatene viste at singuleringen skjer lettest ved å påføre forholdsvis store mekaniske krefter gjennom høyt løft (A) og kort avstand mellom modulene L og T (B,C). Vi forventet at avstanden mellom modulene og løftehøyden kom til å være kritiske i forhold til å singulere.

Resultatene viser at disse parameterne må brukes på sitt ekstreme. Med dette mener vi kort avstand mellom modulene og høy løftehøyde. Med dette oppsettet vil waferene / cellene få relativ stor mekanisk påkjenning, ved at bøyingen av waferen skjer over en mindre flate. Siden store mekaniske påkjenningene på waferene er lite ønskelige, vil vi måtte jobbe mer med å effektivisere lufttrykket inn på bunken (D). Luftmengden og trykket hadde i denne testen liten innvirkning på selve separasjonen. Hovedårsaken til å legge mer arbeid i dette, er at lufttrykk inn på bunken er den mest skånsomme faktoren i konseptet. Det skal noteres at det ikke forekom noen brekkasje under denne testen som følge av tostegsløftet. TV anser likevel at kreftene som tostegsløftet påfører platene må reduseres for at tostegsløftet skal kunne realiseres.

3. Konsepttest – Tostegsløft – Plassering av luftdyser

Tostegsløft – Plassering av luftdyser

1.4.5. Bakgrunn

Den første testen ble utført med kun trykkluft i front, dette fungerte delvis bra men sugekoppene hadde lett for å ta med seg flere enn en wafer på veien opp. Derfor var det innfallende å teste ut forbedringer på dysene som skulle hjelpe skillingen av waferer.

1.4.6. Formål

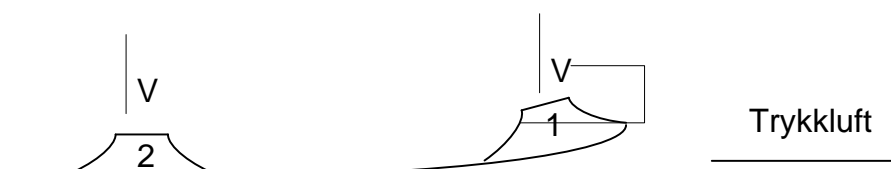
Formålet med denne testen er hovedsakelig å teste 2 stegsløft prinsippet med hjelp av overtrykkluft til å skille waferer fra hverandre. Det skal legges større fokus på posisjonen, vinkelen og trykket til dysene. Begge løftearmene skal utstyres med vakuum for å teste løftingen av waferer med begge armene og ikke bare skilling av waferne med en arm som ble gjort på den forrige testen.

1.4.7. Utstyr

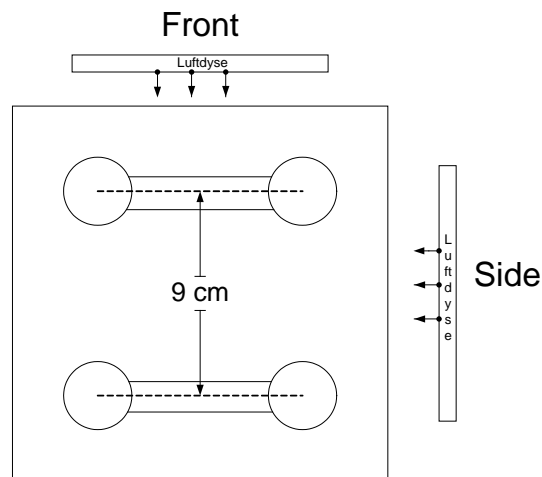
- 2 x løftemoduler med sugekopper
- 1 x isoporeske med waferer med tykkelse 160 mikrometer
- 1 x vakuumejektor
- 1 x enkel luftdyse
- Luftslanger og luft brytere
- Regulerbart lufttrykk

1.4.8. Oppsett

En isoporeske skal settes på et bord. Luftdysen skal kobles opp med lufttrykk og skal kunne flyttes manuelt rundt kanten på esken, slik at dyseåpningene er rettet mot de øverste waferne/cellene i esken.



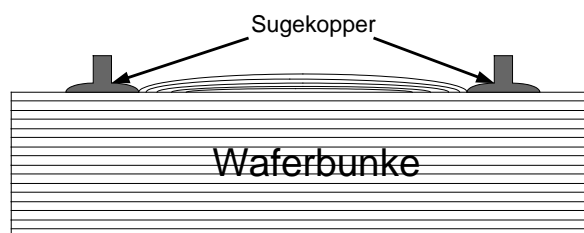
Figur 5, Løfteprinsippet vist fra siden



Figur 6, Testens plassering av trykkluften

1.5. Gjennomføring

Når alt utstyret er satt opp. Skal undertrykket som trengs av vakuumejektoren for å løfte opp waferene og trykkluften bestemmes. Dette gjøres med prøving og feiling. Det skal testet med trykkluft i front og fra siden. Vinkelen og posisjonen skal varieres slik at best mulig separasjon oppnås. Hele løfteprosessen skal gjennomføres til det foreligger et tilfredsstillende resultat, ved at en og en wafer løftes over bunken.



Figur 7, De øverste waferne krummer seg begrundt av luften som blåses inn.

1.6. Resultater

Det ble testet med trykkluft både i front og fra siden. Under testen ble det oppdaget at det hadde en positiv effekt å sende trykkluft inn fra siden mellom løftearmene (se fig 1.3). Dette fikk de øverste waferne til å "sveve" opp fra bunken og skille seg fra hverandre selv om løftearmene presset ned på waferne. Det ble brukt tre dyser på rad med 1,7mm mellomrom. Luftdysen i front hadde liten innvirkning på skilleeffekten, så denne ble kuttet ut.

Et nytt problem dukket opp når waferne begynte å sveve over bunken, de kunne bevege seg på egen hånd. Altså waferne var ikke lenger stablet pent over hverandre lenger. Dette ble løst med å heve test-riggen skrått fra to sider slik at waferne med hjelp av tyngdekraften "støttet" seg til eskens to vegger.

For å finne tilstrekkelig luftmengde som behøvdtes for å få en separasjon av de øverste waferne i bunken, ble forskjellige lufttrykk testet. Det ble gjort forsøk med stigende trykk, til TV anså separasjonen som tilstrekkelig. Den minste luftmengden som ble ansett som tilstrekkelig var 0,75 liter per minutt.

Testen ble også foretatt på celler, her hadde dysene mye mindre innvirkning. Mens tostegsløft prinsippet (som gjør at det i starten av løftet kommer luft under waferen slik at de slipper hverandre) hadde størst betydning for å få separert platene. dette fungerte godt.

1.7. Konklusjon

Testen viste at trykkluften fra siden hadde et betydelig bidrag til separasjonen av waferne. Løftehøyden på sugeskopp parene ble ikke målt, dette bør gjøres i senere testing for waferer og celler. Et nytt problem ble avdekket, waferene svedde fritt rundt. En løsning på dette kan være å vinkle isoporesken, slik at de svedende waferne hviler mot isoporesken. Om vinkling av isoporesken fungerer bør testes i en ny test. Det bør også kjøres en ny test med taguchi metoden for å ha et sammenlikningsgrunnlag med *Konsepttest 1*.

4. Konsepttest – Tostegsløft – Vinkel på isoporeske

Vinkel på isoporeske for løft og singulering av wafere

1.8. Bakgrunn

TV har sett at det går an å singulere wafere ved hjelp av trykkluft og et tostegsløft. Dette har blitt testet i tre forskjellige tester. Resultatene viser at dette fungerer i praksis. Men det fører til noen nye utfordringer. Luft mellom platene tar friksjonen bort, så de øverste wafere begynner å sveve. Resultatet er at platene glir ut fra isoporesken. For å motvirke dette skal vi forsøke å løfte isoporesken i det ene hjørnet slik at wafere i esken hviler alltid mot de to veggene som esken har, esken skal altså ha en vinkel slik at det blir helling mot de to veggene til isoporesken.

1.8.1. Formål

Formålet med testen blir derfor å sjekke om vinkling av isoporesken sørger for at wafere ikke svever ut av esken. Det skal eventuelt også noteres hvilken den laveste vinkel som trengs for hindre at wafere svever ut av esken.

1.8.2. Utstyr

- Isoporeske med 160 mikrometer tykke wafere
- Luftdyse

1.9. Gjennomføring

1.9.1. Oppsett av utstyr

Isoporesken med wafere skal stå på et rett bord som er i vater. Esken skal heves trinnvis i det ene hjørnet slik wafere i esken hviler mot de to veggene når lufttrykket settes på.

1.10. Parametere

0 mm

Isoporesken er i vater. Luftrykket settes på. Waferplatene er helt umulig å kontrollere og de svever i alle retninger når de ikke holdes på plass av f. eks sugekopper. Dette skyldes at det ikke lenger er friksjon mellom wafere.

Resultat:

Ikke egnet til singulering

3 mm

Isoporesken løftes med 3 mm i det ene hjørnet. Når luftrykket settes på så står platene på plass med god singulering og hviler mot veggene. Problemet oppstår når luften slås av. Den andre eller tredje platen fra toppen flyter ca 3 mm i retning av luftdysene når luftrykket stoppes. Det skjer ikke hver gang, men ofte nok til at det vil oppstå unøyaktighet ved pick and place av platene.

Resultat:

Kan muligens aksepteres, men det er ikke stabilt og nøyaktig nok.

6 mm

Isoporesken løftes med 6 mm i det ene hjørnet. Når luftrykket settes på så står platene på plass med god singulering og hviler mot veggene. Waferplatene holder seg på plass selv når vi slår av luftrykket.

Resultat:

Platene holder seg på plass, god singulering og stabilitet. Optimal vinkel.

9 mm

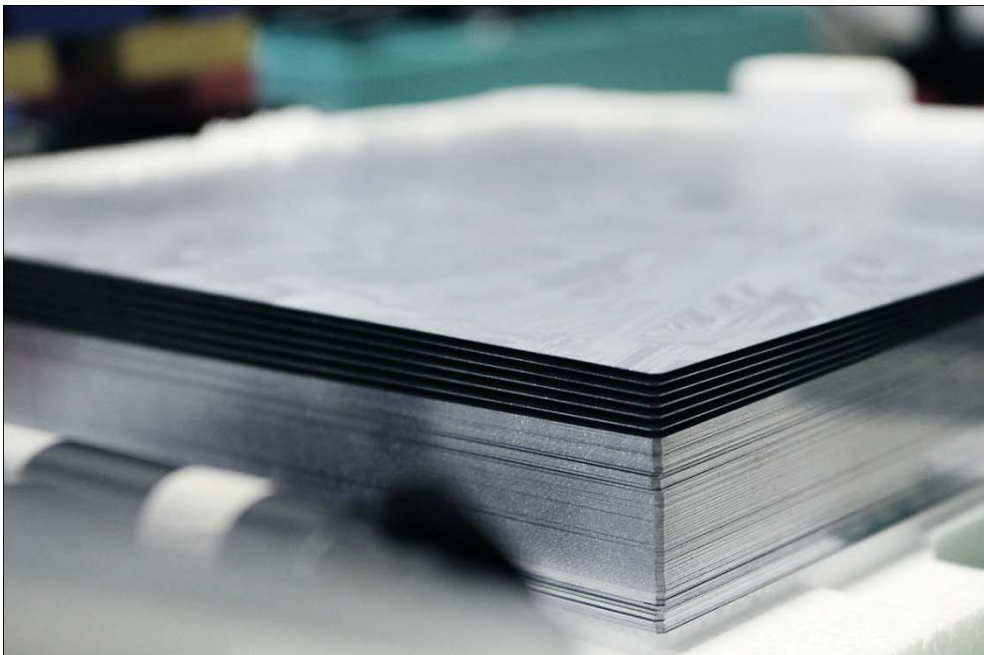
Isoporesken løftes med 9 mm i det ene hjørnet. Når luftrykket settes på så står platene på plass med god singulering og hviler mot veggene. Waferplatene holder seg på plass selv når vi slår av luftrykket.

Resultat:

Platene holder seg på plass, god singulering og stabilitet. Likevel er vinkelen er unødvendig høy. Samme resultat som med bare 6 mm løft.

5. Konklusjon

Ut fra testene som ble kjørt kan vi se at vi er avhengig av å ha vinkel på isoporesken ved separasjon for å holde waferplatene på plass. Optimal vinkel/høyde på isoporesken er 6mm løft i det ene hjørnet. Det er ca 1.6 graders vinkel fra det ene hjørnet over til diagonalt motstående hjørne.



Figur 8, Bildet over viser optimal vinkel med god separasjon uten at platene flyter ut fra esken

6. Konsepttest – Tostegsløft – Test av prinsipp 2

1.11. Tostegsløft – Test av prinsipp 2

1.11.1. Bakgrunn

Resultatene fra den første testen; **Konsepttest -Tostegsløft – Test 1** sa at de viktigste parameterne for en vellykket singulering var parametere som påførte plata relativt stor mekanisk belastning. Luften ble i betraktning en mindre viktig parameter. Vi ønsket derfor øke luftens innflytelse på singuleringen. Resultatene fra den andre testen; **Konsepttest -Tostegsløft – Test 2** viste at det var lettere å singuleringen når dysene ble plassert på siden av wafer bunken.

1.11.2. Formål

Formålet med denne testen er derfor å bekrefte funnene i den andre testen, og se om at luftstrømmen som parameter blir får større innvirkning på singuleringen ved bruk av et tostegsløft, når dysene plassert på siden av wafer bunken.

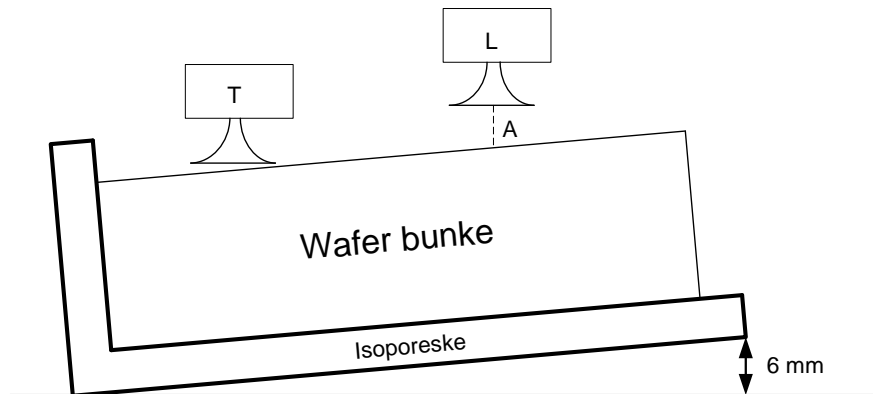
1.11.3. Utstyr

- 2 x løftemoduler med sugekopper
- 1 x isoporeske med wafer med tykkelse 160 mikrometer
- 1 x en improvisert rig
- 1 x vakuumejektor
- 1 x enkel luftdyse
- Luftslanger og luft brytere
- Regulerbart lufttrykk

1.11.4. Oppsett av utstyr

Isoporesken med wafer skal stå på et bord. Esken skal heves 6 mm i det ene hjørnet slik waferne i esken hviler mot de to veggene som esken har når den er åpen. I denne testen skal vi bruke to løftemoduler L og F, disse skal plasseres i hver sin ende av bunken slik at det blir et mellomrom mellom dem. Dette mellomrommet skal peke mot den ene eskeveggen og mot den åpne siden som rett ovenfor veggen. Modulene skal være festet slik at løftet blir vertikalt i forhold til bordplata (ikke i forhold til esken med wafer). L modulen skal ha en begrensning i høyderetningen, denne avstanden er parametern A. Dysene skal plasseres på siden av boksen slik at de blåser på de øverste waferne i bunken på området mellom de to løftemodulene. Dysene skal justeres slik at platene at luftstrømmen danner en glippe mellom de øverste waferne når løftemodulene står på waferne.

Oppsett



Figur 9, Testoppsett sett sidenfra.

1.11.5. Parametere:

A

Avstanden fra oversiden av L modulen når den settes på waferne. Til oversiden av L modulen etter løftet.

Testverdier for A:

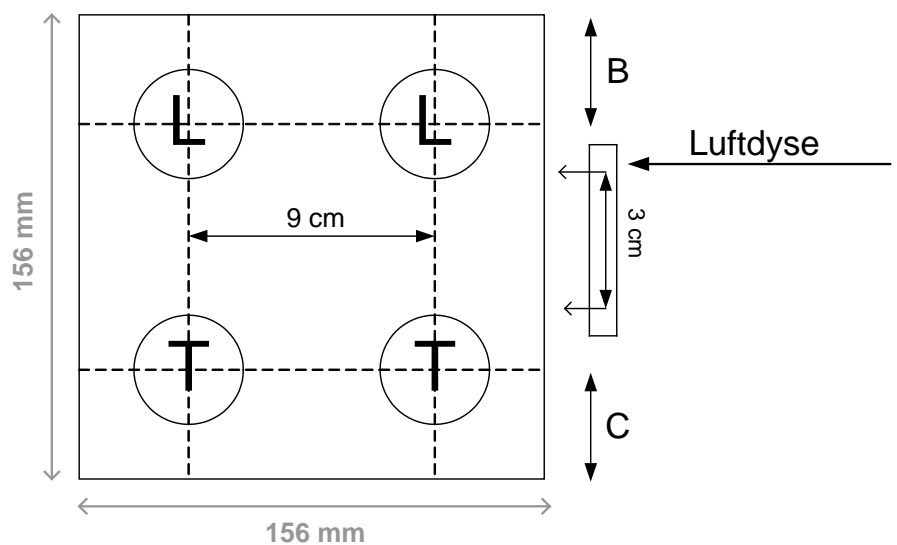
- 1: 0,4 cm
- 2: 0,9 cm
- 3: 1,4 cm

B

Avstanden fra senter på vakuumkoppene til L modulen til enden av waferen som vist på tegninga.

Testverdier for B:

- 1: 2,4 cm
- 2: 3,3 cm
- 3: 4,1 cm



Figur 10, Testoppsett sett ovenfra.

C

Avstanden fra senter på vakuumbkoppene til T modulen til enden av waferen som vist på tegniga.

Testverdier for C:

- 1: 2,5 cm
- 2: 3,3 cm
- 3: 4,1 cm

D

Luftmengden i dysene

Testverdier for D:

- 1:0,0 L/min
- 2:0,3 L/min
- 3:0,5 L/min

1.11.6. Gjennomføring

Når alt utstyret er satt opp. Skal undertrykket som trengs av vakuumejektoren for å løfte opp waferene bestemmes. Dette gjøres med prøving og feiling. Dette trykket må være stort nok til å kunne løfte mange waferer. Deretter skal selve målingene gjøres. Det skal gjøres 5 målinger med hvert oppsett. Taguchis ortogonale matrise skal brukes for å redusere antall målinger som trengs. Alle måleresultatene skal føres inn i en Signal over Noise tabell. Hver måling består av følgende syklus.

6. Øverste wafer i bunken skal trykkes forsiktig ned for å sørge for at det ikke er noe luft mellom de øverste waferne i bunken.
7. Modul T og L skal justeres på waferene i henhold til hvilken testparameter B og C skal ha.
8. Lufttrykket til dysa skal settes til verdien testparameter D skal ha.
9. Modul L skal løftes vertikal opp til høyden testparameter A skal ha. Når den har nådd denne høyden skal T modulen løftes til samme høyde.

1.12. Selve gjennomføringen

1.12.1. Kommentarer til gjennomføring

Vi brukte de oppsettene som Taguchi sin ortogonale matrise anbefalte. Rekkefølgen var ikke fra 1-9, men den rekkefølgen som førte til de letteste justeringene på jiggen. Resultatene fra testen finner du i tabellen under resultater. Når vi kom til oppsett 5, så hang waferne fast i siden på esken på den 4. deltesten på dette oppsettet. Dette gjorde at flere plater datt av på veien opp enn de ville ha gjort, hvis de ikke hadde

hengt seg opp. Ved testoppsett 8 fikk vi 2 wafere på deltest 3. Vi så at wafer nr 2 (den underste) ikke lå rett under den som satt direkte fast i sugekoppene. Dette gjorde at luftstrømmen ikke klarte å skille dem. Litt justering av lufta førte til at de skilte seg.

1.12.2.Resultater

	Parametere og variable				Test						Mindre er bedre	
	A	B	C	D	I	II	III	IV	V	VAR	μ	S/N
1	1	1	1	1	10	12	15	15	15	5,30	13,40	2,26
2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	0,00	1,00	0,00
3	1	3	3	3	1	1	1	1	1	0,00	1,00	0,00
4	2	1	2	3	1	1	1	1	1	0,00	1,00	0,00
5	2	2	3	1	8	11	13	4	7	12,30	8,60	1,92
6	2	3	1	2	1	1	1	1	1	0,00	1,00	0,00
7	3	1	3	2	1	1	1	1	1	0,00	1,00	0,00
8	3	2	1	3	1	1	2	1	1	0,20	1,20	0,20
9	3	3	2	1	7	6	10	12	9	5,70	8,80	1,91

Tabell 3, Parameter og variabeltabell, med snitt og signal over støyverdier.

S/N responstabell		A	B	C	D
Parameter 1		0,75	0,75	0,82	2,03
Parameter 2		0,64	0,71	0,64	0,00
Parameter 3		0,71	0,64	0,64	0,07
Differanse		0,11	0,12	0,18	2,03

Snitttabell		A	B	C	D
Parameter 1		5,13	5,13	5,20	10,27
Parameter 2		3,53	3,60	3,60	1,00
Parameter 3		3,67	3,60	3,53	1,07
Differanse		1,60	1,53	1,67	9,27

Tabell 4, Respons og snitttabell for de ulike parameterne.

7. Tolkning av resultatene

1.12.3. Om matrisen, L9

Vi har brukt en ortogonal testmatrise (L9), der alle parametrene blir representert like mange ganger gjennom alle testoppsettene, dette gir et representativt utvalg av antall oppsett. Dersom vi skulle ha testet alle alternativene skulle vi ha gjennomført $3^4=81$ tester, ved å bruke den ortogonale matrisen reduseres antall testoppsett til 9 oppsett.

1.12.4. S/N (signal over noise)

Ved å måle antall wafere som blir med under hver singulering kan vi beregne ønsket respons over uønsket respons, dette resultatet føres over i en logaritmisk skala og vi sammenligner hvilke faktorer som gir mest utslag på respons og støy. Ut i fra dette kan vi velge parametre som gir mest innvirkning på hvor mange wafere som følger med under singuleringen.

1.12.5. Gjennomsnitt

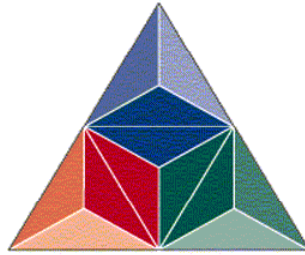
Ideelt sett skal snittet være så lavt som mulig på vårt forsøk, dette for å oppnå en jevn prosess, vi måler snittet for å se hvilke faktorer som gir et snitt som har minst mulig differanse på responsene.

1.12.6. Feilkilder

Løftet ble gjort med hånd vi har derfor ingen målbare data for løftehastighet, akselerasjon på løftet og trykket som blir påført waferene under nedsenking. Siden vi har gjennomført flere tester med samme oppsett, regner vi med at snittet gir et resultat vi kan benytte.

1.13. Konklusjon

Resultatene viste at luftstrømmen mellom waferene har større betydning for en vellykket singulering i denne testen enn i **Konsepttest – Tostegsløft – Test 1** Dette kan vi tydelig lese av matrisen der testverdi D er 1. For singulering av wafere blir det dermed mindre viktig med to-steps løftet. Problemet med at waferene flyter av gårde blir enkelt løst med en vinkel på isoporesken. TV anser resultatene fra denne testen så gode at det er mulig å begynne å designe et system med tostegsløftet og luftdyse. Det bør også gjøres noen tester på hvor mye bøyning en wafer kan utsettes for.



HØGSKOLEN i Buskerud

**Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi**

Vedlegg IV - Styrkeberegninger av Mc-Si wafere

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller
TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFHO3200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3
Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid,
Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven
Jamal Safi
Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi
Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning.....	1
2.	Eksperimentell bøyingsanalyse	2
1.1.	Bakgrunn	2
1.2.	Testforbredelser.....	2
2.1.	Testens Gjennomføring	3
1.3.	Skjærekant.....	4
1.4.	Resultat.....	5
1.5.	Diskusjon	6
2.	Teoretisk beregning.....	7
2.1.	Beregning av spenning ved brekkasje.....	7
2.2.	Bestemmelse av nedbøying.....	8
2.3.	Spenninger ved transport og berøring.....	8
2.4.	Hastighet på løftet	9
3.	Andre eksperimentelle tester.....	9
4.	Simulering av påført stress.....	10
4.1.	Innledning	10
4.2.	Gjennomføring av simuleringen	10
4.3.	Materialegenskaper	10
4.4.	Diskretisering, (mesh).....	11
4.5.	Innfestinger av wafer.....	12
4.6.	Tvungen forflytning	13
4.7.	Resultater.....	13
4.7.1.	Sammenligning med brekkasjetesten	15
4.8.	Lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 5mm.....	15
4.9.	Ikke lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 5mm.....	16
4.10.	Ikke lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 24mm.....	17
4.10.1.	Sammenligning med tostegsløftet	18
4.11.	Lineær statisk simulering med innfesting av endekant, med tvungen forflytning på endekant 5mm, ved skillelinje.....	18
4.12.	Ikke lineær statisk simulering med innfesting av endekant, med tvungen forflytning på 5mm, ved skillelinje.	19
4.13.	Diskusjon	20
6.	Konklusjon.....	21
7.	Referanser	1

Figurliste

Figur 1, Sugekoppenes parvise plassering i forhold til waferplaten.	3
Figur 2, Testriggeren som ble brukt for å bestemme knekkhøyden og løftekraften.	3
Figur 5, Bilder av skjærekanten på waferene, kontrasten justert til i bilde til høyre....	4
Figur 4, Skjærekanten normalt til løfteenheten.....	4
Figur 4, Skjærekanten parallelt med løfteenhetene.	4
Figur 6, Overflatesprekkens lokasjon.	7
Figur 7, Til venstre, en tre-punkts bøyningstest [7], til høyre en flerakset bøyningstest.	9
Figur 9, Grafisk fremstilling av diskretiseringen i analysene	11
Figur 10, Tvungen forflytning i simuleringen, grunnet tostegsløft.....	13
Figur 11, Tvungen forflytning i simuleringen, grunnet brekkasjetest	13
Figur 12, Stressintensitet i wafer ved lineær simulering, 5mm forflytning	15
Figur 13, Stressintensitet i wafer ved ikke lineær simulering, 5mm forflytning	16
Figur 14, Stressintensitet i wafer ved ikke lineær simulering, 24mm forflytning, flateinnfesting	17
Figur 15, Lineær statisk simulering med innfesting av endekant, med tvungen forflytning på 5mm, ved skillelinje.	18
Figur 16, stressintensitet ved ikke lineær simulering av wafer, med	19

Tabelliste

Tabell 1, Testresultatene ved skjærekant normalt på løfteenheten	5
Tabell 2, Testresultatene ved skjærekant parallelt med løfteenheten.....	5
Tabell 3, Materialeegenskapene lagt til grunn for simulering	10
Tabell 4, Informasjon om diskretisering i simuleringene.....	11
Tabell 5, Resultattabell Lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 5mm.....	15
Tabell 6, Resultattabell ved ikke lineær simulering av wafer, 5mm forflytning.	16
Tabell 7, Resultattabell ved ikke lineær simulering av wafer, 24mm forflytning, flateinnfesting	17
Tabell 8, Resultattabell ved lineær simulering av wafer, med innefesting i endekant, 5mm forflytning, ved skillelinje.....	18
Tabell 9, Resultattabell ved ikke lineær simulering av wafer, med innefesting i endekant, 5mm forflytning, ved skillelinje.....	19

1. Innledning

I alle industrier vil bedriftene ha produktene sine lagd på den mest effektive og mest lønnsomme måten. Dette gjelder også i solcelleindustrien.

Tykkelsen på waferene blir stadig redusert siden dette gir flere wafer per silisium blokk, altså mer lønnsomt. Men tynnere wafer har en bakside, det har negativ innvirkning på de mekaniske egenskapene. Waferplatene knekker ved lavere påkjenninger, altså tynnere wafer gir mer sjanse for brekkasje.

Brekkasjen vil solcelleindustrien ha lavest mulig siden den forårsaker økende kostnader på det ferdige solcellepanelet. Silisium materialet kan stå for så store som 40 til 60 % av den totale produksjonskostnaden til solcelleplaten [1].

Det er viktig å vite hvorfor waferplatene knekker, siden det er kritisk for designet til systemer som skal håndtere waferplatene.

I romtemperatur er silisium et sprøtt materiale, den viser ingen plastisk deformasjon. Den kritiske faktoren for brudd er sprekkdannelse, beregninger gjøres derfor ut ifra sprekkenes lengde i materialet.

Beregninger kan være medhjelpelige til å fastsette kritiske design parametre som løftehøyde og maks spenninger.

I dette dokumentet er styrkeberegningene rettet mot tostegsløftet, for å bekrefte eller avkrefte, om det er trygt å bruke dette som et hjelpemiddel for å separere silisium plater.

2. Eksperimentell bøyingsanalyse

1.1. Bakgrunn

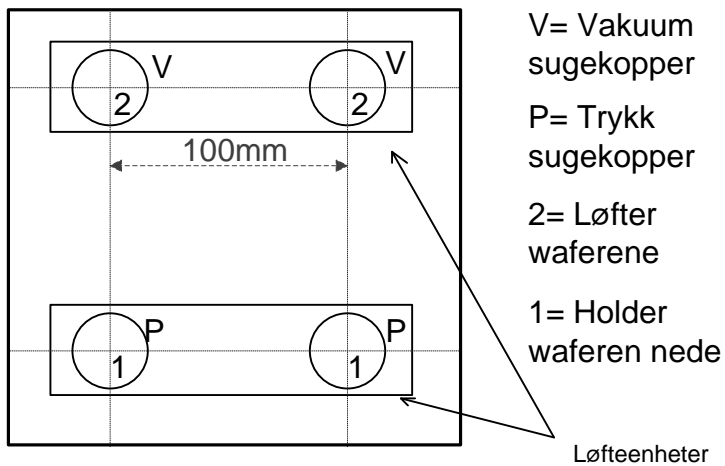
For å separere wafere og solceller er det kommet fram til et konsept som går ut på å singulere waferene og solcellene fra hverandre med et to stegs løft. I denne testen skal løftemodulen simuleres som prosjektgruppen har valgt å bruke til dette formålet. Det som skal testes er hvor mye krefter som platen tåler og hvor høyt waferen kan løftes tåler før den knekker.

1.2. Testforbreddelser

For å gjennomføre denne testen ble det bygget en testrigg. Denne bestod av to braketter som hver hadde to påmonterte sugeskopper. Den ene braketten ble ikke tilkoblet vakuum, men fikk påmontert en beholder som inneholdt vekter for å holde waferen nede. Den andre braketten ble brukt som løfteenhet, og kunne bevege seg "fritt" opp og ned, den ble da tilkoblet vakuum, og ble hevet og senket ved hjelp av en snor og en trinse. Avstanden mellom sugeskoppene på braketten var 100mm.

2.1. Testens Gjennomføring

Testen ble gjennomført kun med ubehandlede multikrystallinske waferer levert fra REC. Testen simulerte løfteanordningen som skulle brukes i prototypen.



Figur 1, Sugekoppenes parvise plassering i forhold til waferplaten.

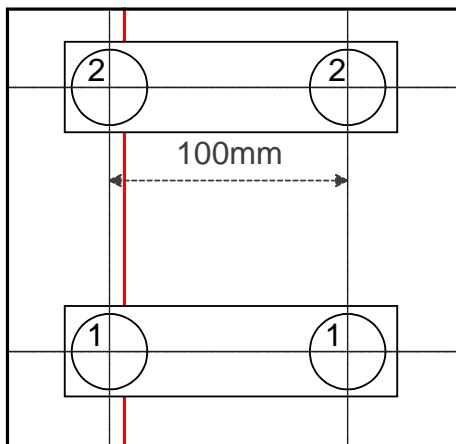
Waferplatene ble bøyd til de knakk, knekkhøyden ble avlest ved hjelp av en linjal og registrert med kamera. Under waferplaten ble det benyttet en vekt som ble nullstilt for hver gjennomføring. Vekten ble benyttet for å avlese den massen som løftet opp. Dette ble gjort for å kunne beregne løftekraften, ut i fra verdien på vekten ved knekk.



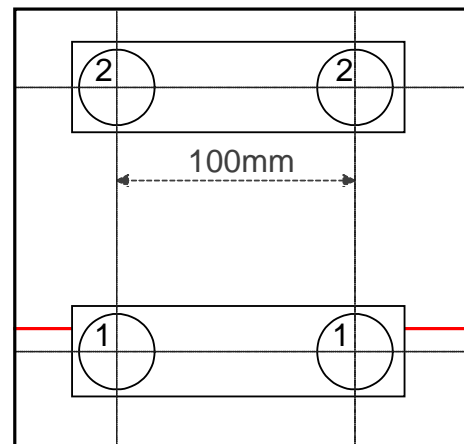
Figur 2, Testtrigen som ble brukt for å bestemme knekkhøyden og løftekraften.

1.3. Skjærekant

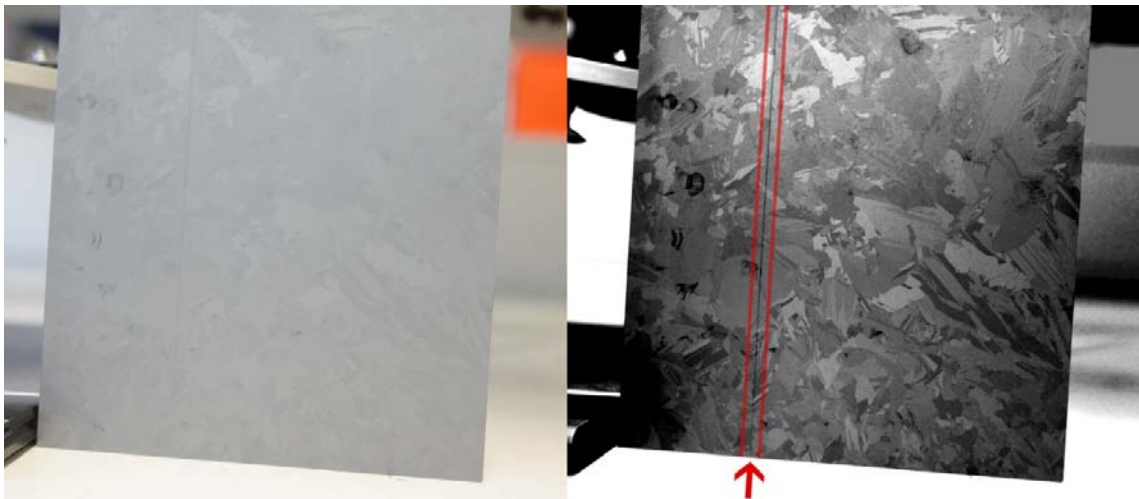
De multikrystallinske waferene som ble anvendt i forsøket har en skjærekant. Den er et resultat skjæreplassen, da waferen ble sagt ut fra blokken som besto av ren Silisium. Det ble gjort to tester, den ene med skjærekanten parallelt med løfteenheten, den andre med skjærekanten normalt på løfteenhetene.



Figur 4, Skjærekanten normalt til løfteenheten



Figur 4, Skjærekanten parallelt med løfteenhetene.



Figur 5, Bilder av skjærekanten på waferene, kontrasten justert til i bilde til høyre.

1.4. Resultat

Oppsett 1, skjærekant normalt til løfteenheten

Forsøk nummer	Løftehøyde ved knekk	Redusert masse ved knekk	Krefter påført ved knekk
1	30,0 mm	93,0 g	0,91 N
2	29,0 mm	75,0 g	0,74 N
3	26,0 mm	75,0 g	0,74 N
4	18,0 mm	74,0 g	0,73 N
5	12,0 mm	35,0 g	0,34 N
6	31,0 mm	94,0 g	0,92 N
7	27,0 mm	79,0 g	0,77 N
8	26,0 mm	100,0 g	0,98 N
9	13,0 mm	38,0 g	0,37 N
10	34,0 mm	98,0 g	0,96 N
11	23,0 mm	57,0 g	0,56 N
12	20,0 mm	105,0 g	1,03 N
Gjennomsnitt	24,1 mm	75,4 g	0,74 N
Maksimum	34,0 mm	105,0 g	1,03 N
Minimum	12,0 mm	20,0 g	0,20 N

Tabell 1, Testresultatene ved skjærekant normalt på løfteenheten

Oppsett 2, skjærekant parallelt til løfteenheten

Forsøk nummer	Løftehøyde ved knekk	Redusert masse ved knekk	Krefter påført ved knekk
1	31,0 mm	107,0 g	1,05 N
2	33,0 mm	131,0 g	1,29 N
3	20,0 mm	104,0 g	1,02 N
4	30,0 mm	105,0 g	1,03 N
5	36,0 mm	120,0 g	1,18 N
6	10,0 mm	74,0 g	0,73 N
7	37,0 mm	160,0 g	1,57 N
8	43,0 mm	180,0 g	1,77 N
9	36,0 mm	138,0 g	1,35 N
10	37,0 mm	121,0 g	1,19 N
11	33,0 mm	149,0 g	1,46 N
12	33,0 mm	142,0 g	1,39 N
Gjennomsnitt	31,6 mm	127,5 g	1,25 N
Maksimum	43,0 mm	180,0 g	1,77 N
Minimum	10,0 mm	74,0 g	0,73 N

Tabell 2, Testresultatene ved skjærekant parallelt med løfteenheten

1.5. Diskusjon

Testen gav oss en gjennomsnittlig knekkhøyde på henholdsvis 24,1mm og 31,6mm, de dårligste waferene knakk ved 10mm og 12mm. Det ble også gjort beregninger på hvilken kraft waferen ble utsatt for, denne kraften varierte fra 0,20N til 1,77N

Dette var en test som ikke kan anses for å være vitenskapelig. Den var ment som et utgangspunkt for å skape verdier som gruppen kunne dra nytte av i forhold til designet til prototypen.

Skjærekanten som var på samtlige waferer, hadde innvirkning på resultatet. Waferene som ble løftet normalt i forhold til skjærekanten hadde gjennomsnittlig 40.8% mindre styrke, i forhold til løftet parallelt med skjærekanten. Dette kan komme av at den største stressintensiteten i waferen, ved løft parallelt med skjærekanten, ikke var i nærheten av skjærekanten.

Prototypen som ble bygget bruker en løftehøyde på 5mm. Tar man utgangspunktet i den dårligste waferen som knakk ved 10mm vil dette gi en sikkerhetsmargin på 2. Verdien på 10mm blir ansett som et avvik, det blir galt å basere sikkerhetsmarginen på denne verdien siden denne waferen høyst sannsynlig var skadet før testing. Et mer fornuftig utgangspunkt er å bruke gjennomsnittlig knekkhøyde med skjærekant normalt på løftet. Ved å ta utgangspunkt i knekkhøyde 24,1mm gir dette en sikkerhetsmargin på 4.82.

Testen ble utført med waferer fra kun ett parti, det er derfor ikke grunnlag for sammenligning med samtlige waferer som er produsert fra REC. Tilgangen til waferer var begrenset og et utvalg på 24 stykker, er i minste laget for å trekke noen bastant konklusjon for mye nedbøying en gjennomsnittlig wafer faktisk tåler før brudd oppstår.

2. Teoretisk beregning

2.1. Beregning av spenning ved brekkasje

Prosjektgruppen har forsøkt å gjøre teoretiske beregninger. Hvor mye spenninger sprø materialer tåler beregnes ut ifra materialets lokalisering av sprekker og sprekkenes lengde [1]. Derfor ble maksimums spenning beregnet med hjelp av formelen for *fracture toughness* [2].

Fracture Toughness

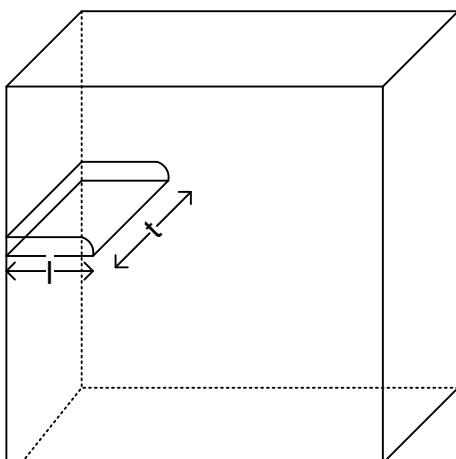
$$\sigma_{\max} = \frac{K_{IC}}{Y \cdot \sqrt{\pi \cdot \alpha}} \quad [2]$$

σ_{\max} : Maksimale spenninger platen kan utsettes for før den sprekker.

K_{IC} : Fracture toughness, Som er en mekanisk egenskap som bestemmes av hvor godt materialet motstår brudd som følge av sprekkdannelse.

Y : Konstant, bestemmes av lokalisering av sprekken.

α : Lengden på sprekken.



Figur 6, Overflatesprekkes lokasjon.

Bestemmelse av Parametre

K_{IC} : Settes til $0.75\text{MPa}\cdot\sqrt{m}$ [3], som er gjennomsnittlig verdi for *fracture toughness* for silisium.

Y: Siden studier av Rupnowski og Sopori viser at ved beregninger av styrken på Silisium wafere, kan kant og volum sprekker tilsesettes, og styrkeberegninger kan gjøres fullt og helt på overflatesprekker. Siden beregningene skal gjøres med hensyn på overflate sprekker brukes $Y\approx 1.1$ [4].

a : Settes til 0.064mm som er gjennomsnittlig lengde på sprekker i ubehandlede multikrystallinske wafere med mål $156\times 156\text{mm}$ [3].

Utrekning:

$$\frac{0,8\text{MPa}\cdot\sqrt{m}}{1,1\cdot\sqrt{\pi}\cdot 0,0064\text{mm}} = 51\text{MPa}$$

Fracture toughness formelen gir den maksimale spenningen waferplaten kan tåle før sprekkevækst inntreffer.

2.2. Bestemmelse av nedbøying

Resultatet som ble funnet ut ifra *fracture toughness* ble lagt inn i formelen for maksimal nedbøying av tynne plater [5]. Resultatene var sterkt avvikende fra verdier funnet i litteraturen og fra prosjektgruppens eksperimentelle test.

Prosjektgruppen har vært i kontakt med fysisk institutt på UIO for å skaffe en forenklet teoretisk beregning som kunne brukes ved bøyning av waferplater [6]. Som svar, ble prosjektgruppen rådet til å gjøre en eksperimentell beregning for å klarlegge hvor mye disse platene kan bøyes, siden en teoretisk beregning ville være vanskelig å framstille.

2.3. Spenninger ved transport og berøring

De totale spenningene i materialet er gjennværende(residual) spenninger og Påførte(Applied) spenninger. Gjennværende spenninger kommer fra tidligere prosesser (f.eks krystall vekst og wire saging etc.). De påførte kreftene er de mekaniske spenningene som kommer fra sugekopper og transporten osv.

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{residual}} + \sigma_{\text{applied}}$$

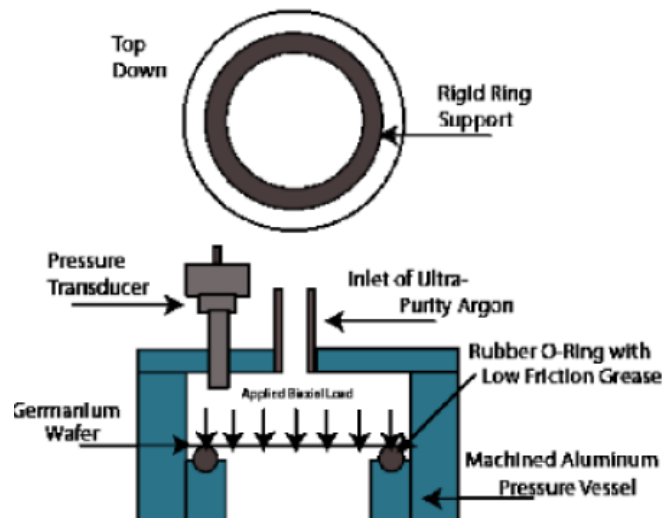
I studien av Pearce og Guruswamy(2009) er det blitt brukt "full-definert-waferdeformasjons-felt" med hjelp av "finite element analysis"(FEM analyse) [7].

2.4. Hastighet på løftet

Siden silisium er et sprøtt materiale, har det lav seighet og er dermed sensitiv mot høyhastighets påkjenninger. Dette er en faktor som skal tas i betraktning. En høyhastighets påkjenning i materialet kan medføre at materialet feiler ved en lavere spenning enn den som er antatt som sikker.

3. Andre eksperimentelle tester

Den mest konvensjonelle testen for å finne sprø materialers mekaniske egenskaper er tre punkts bøyings test, som bruker polerte stålstaver for å påføre kraften. Dette blir gjort inntil waferen feiler. I tre punkts bøyings test brukes kun enakset belastning, som ikke gir den korrekte spenningsfordelingen som faktisk skjer. I tillegg er den ikke passende for store nedbøyinger som tynne silisium wafere innehar[7].



Figur 7, Til venstre, en tre-punkts bøyingstest [7], til høyre en flerakset bøyingstest.

Tynne silisium wafere har en stor nedbøyning. For å teste under mer korrekte forhold, brukes en "flerakset belastnings test". Denne testen blir gjort i en lokket trykksylinder hvor waferprøvestykket hviler på en tetning av gummi, og trykk blir påført på oversiden[7].

4. Simulering av påført stress

4.1. Innledning

Siden styrkeberegninger ved hjelp av vanlige formler viser seg vanskelig å gjennomføre, har det blitt utført brekkasetester på bakgrunn av singuleringsmetoden. I tostegsløftet blir waferen først elevert med 5mm av det fremste paret av sugekopper. Kreftene som da blir påført under singulering vil oppdragsgiver gjerne ha tallfestet. Ved bøyning av waferen mer enn en sin tykkelse, gjelder ikke lengre vanlige *lineær plateteori* likninger. Løsningen blir da å utføre en ikke lineær FEM – analyse, ved hjelp av *SolidWorks Simulation*. Det ble også utført lineære analyser av samme problem for å undersøke om resultatene var meget avvikende.

4.2. Gjennomføring av simuleringen

Bruker standard materialegenskaper til Silisium som er forhåndslagret i SW-Simulation, utenom *elasticmodulus* (E) og *poisson ratio* (ν), som var satt til henholdsvis $E = 162,5\text{GPa}$ og $\nu = 0,223$. Disse verdiene er regnet ut på bakgrunn at waferene er multikrystallinske. Ved å anta at hvert element i analysen har uniformt orienterte korn, betyr det at elementene i analysen innehar isotropiske egenskaper, noe som forenkler analysen [8].

Feilkilder

Tar ikke hensyn til materialhistorie, mikrosprekker av ulik størrelse, eller gjenværende stress etter tilvirkning vil kunne påvirke motstandsdyktigheten til waferen for brudd. Simuleringen etterligner innfestingen til sugekoppene, resultatene kan derfor ikke bli helt nøyaktige.

4.3. Materialegenskaper

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	1.625e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.223	NA	Constant
Shear modulus	4.9e+010	N/m ²	Constant
Mass density	2330	kg/m ³	Constant
Yield strength	1.2e+008	N/m ²	Constant
Thermal conductivity	124	W/(m.K)	Constant

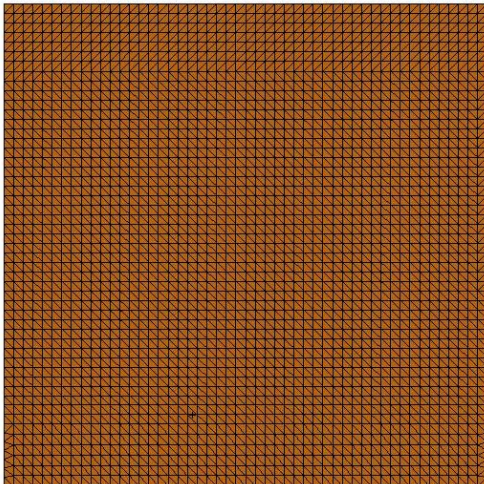
Tabell 3, Materialegenskapene lagt til grunn for simulering

4.4. Diskretisering, (mesh)

Diskretiseringen ble gjort med skallmetoden (*shellmesh*), siden waferene er relativt tynne, og dermed volumet av tverrsnittet er minimalt. Skallmetoden vil da gi et mer nøyaktig resultat enn vanlig diskretisering, da det er vanskelig å få uniforme volumelementer i waferen. Det ble brukt samme diskretisering av waferen under alle simuleringene.

Mesh Type:	Shell Mesh Using Mid-surfaces
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	3.1232 mm
Tolerance:	0.15616 mm
Quality:	High
Number of elements:	5002
Number of nodes:	10207
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:05

Tabell 4, Informasjon om diskretisering i simuleringene



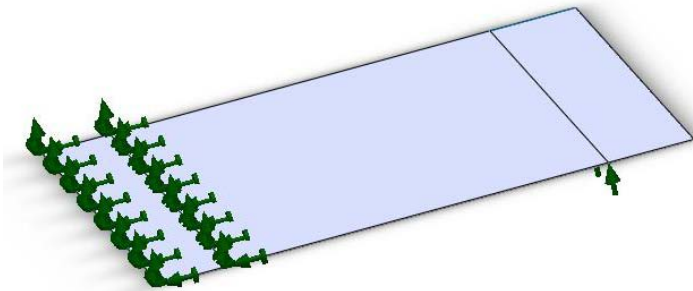
Figur 8, Grafisk fremstilling av diskretiseringen i analysene

4.5. Innfestinger av wafer

Innfestingen ble gjort på to forskjellige måter, hvor begge de to tilfellene kan anses som konservative i forhold til faktiske tilstander. For å gjennomføre en stressanalyse ved tvungen forflytning, er det nødvendig å ha innfestinger som ikke gir rom for bevegelse.

Innfesting av flate

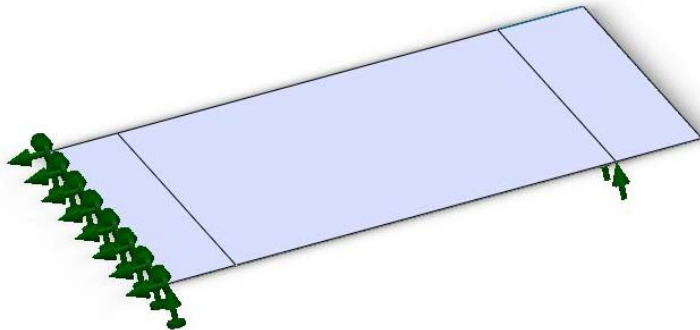
Innfestingen av waferen ble gjort ved å legge begrensninger på forflytningen til flaten bak senterlinjen til bakerste sugekopp par, dette vil gi en tilnærming til det faktiske løftet utført i brekkasjetesten. Sugekoppene er meget elastiske og krever derfor lite krefter for å bli bøyd. Simuleringen kan derfor vurderes til å være konservativ, siden flateinnfestingen ikke gir rom for translasjon.



Figur 2, Innfesting av endeflate i simuleringen

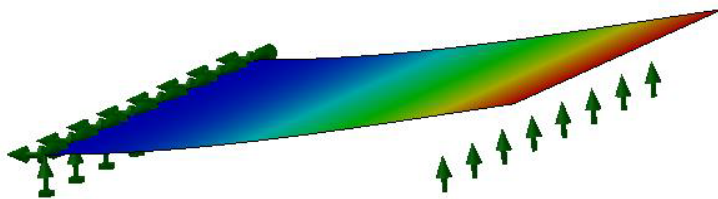
Innfesting av endekant

Innfestingen av waferen ble gjort ved å legge begrensninger på forflytningen til enden av waferen bak bakre sugekopp par. Ved singulering svever waferen som skal singuleres over den underliggende waferen. Sugekoppene som utfører tostegsløftet, vil faktisk ikke klemme waferen ned mot underlaget. Denne modellen vil da være en god tilnærming til løftet som blir utført under singulering. I tostegsløftet vil endekanten kunne bevege seg i høyderetningen, det er ikke tilfelle i simuleringen.

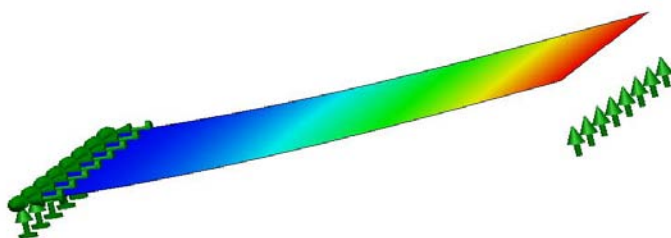


Figur 3, Innfesting av endekant i simuleringen for tostegsløftet
4.6. Tvungen forflytning

Ved å legge på en tvungen forflytning langs senterlinjen til det fremre sugekopp paret, er det mulig å simulere stresset som oppstår innad i waferen ved tostegsløft. Forflytningen ble i analysen gjort med ulike verdier, i tostegsløftet blir waferen løftet 5mm i forkant, og det minste gjennomsnittet av bøyningstesten var 24mm. Disse verdiene var derfor interessante å undersøke nærmere, med tanke på stress.



Figur 9, Tvungen forflytning i simuleringen, grunnet tostegsløft



Figur 10, Tvungen forflytning i simuleringen, grunnet brekkasjetest

4.7. Resultater

Simuleringer ble gjort, med både lineære og ikke lineære simuleringer, for å ha et sammenlikningsgrunnlag og for å undersøke om resultatene var sterkt avvikende. Det ble gjennomført totalt seks analyser, hvorav to lineære og tre ikke lineære.

Lineære simuleringer

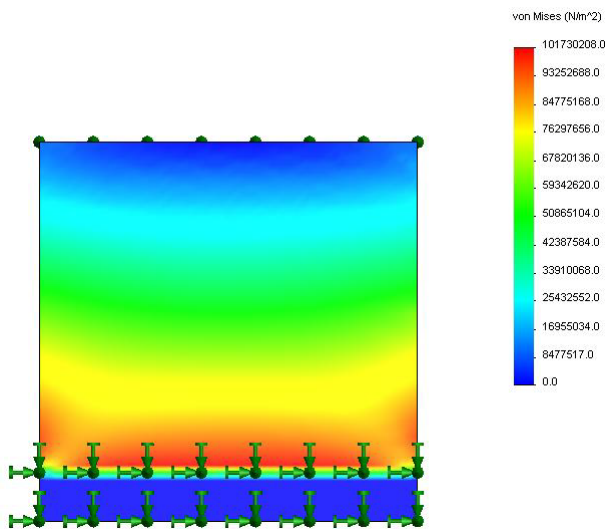
De to lineære simuleringer ble gjennomført med tvungen forflytning på 5mm og to ulike innfestinger, da endekant- og flateinnfesting.

Ikke lineære simuleringer

De tre ikke lineære simuleringene gjennomført med endekant og flateinnfesting. To av simuleringene ble gjennomført med en tvungen forflytning på 24mm, som var gjennomsnittlig løftehøyde da waferen feilet. De to andre ble gjennomført med en tvungen forflytning på 5mm.

4.7.1. Sammenligning med brekkasetesten

4.8. Lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 5mm.

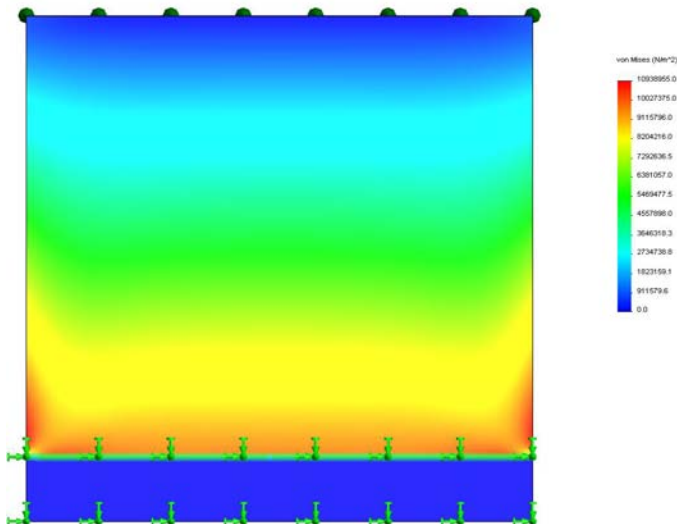


Figur 11, Stressintensitet i wafer ved lineær simulering, 5mm forflytning

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	0 N/m ² Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	1.0173e+008 N/m ² Node: 1700	(-9.36 mm, 0.0924088 mm, 54.9091 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 m Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	0.05 m Node: 360	(-78 mm, 15.68 mm, -78 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	0 Element: 1	(-76.96 mm, 0.08 mm, 77.0476 mm)	0.000447182 Element: 4983	(76.96 mm, 0.248211 mm, 44.6061 mm)

Tabell 5, Resultattabell Lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 5mm

4.9. Ikke lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 5mm.

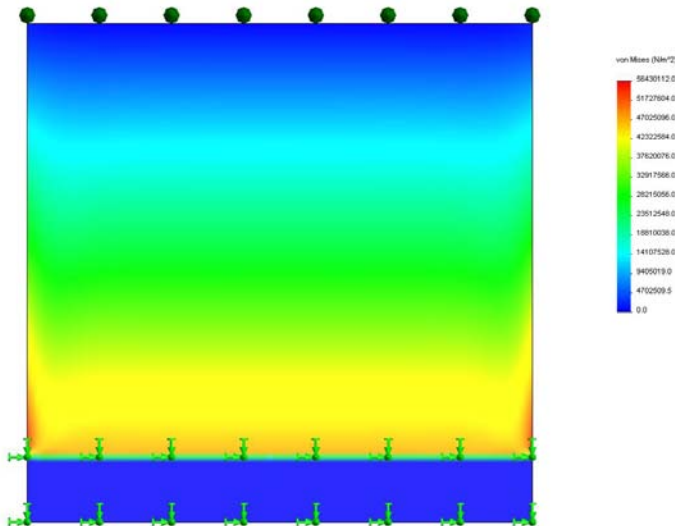


Figur 12, Stressintensitet i wafer ved ikke lineær simulering, 5mm forflytning

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress at Step No: 13(1Sec)	0 N/m ² Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	1.0939e+007 N/m ² Node: 402	(-78 mm, 0.0922637 mm, 51.8182 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement at Step No: 13(1Sec)	0 m Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	0.00500122 m Node: 360	(-78 mm, 5.08 mm, -77.8896 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain at Step No: 13(1Sec)	0 Element: 1	(-76.96 mm, 0.08 mm, 77.0476 mm)	5.38154e-005 Element: 4997	(76.96 mm, 0.0984238 mm, 50.7879 mm)

Tabell 6, Resultattabell ved ikke lineær simulering av wafer, 5mm forflytning.

4.10. Ikke lineær statisk simulering med innfesting av flate, med tvungen forflytning på endekant 24mm.



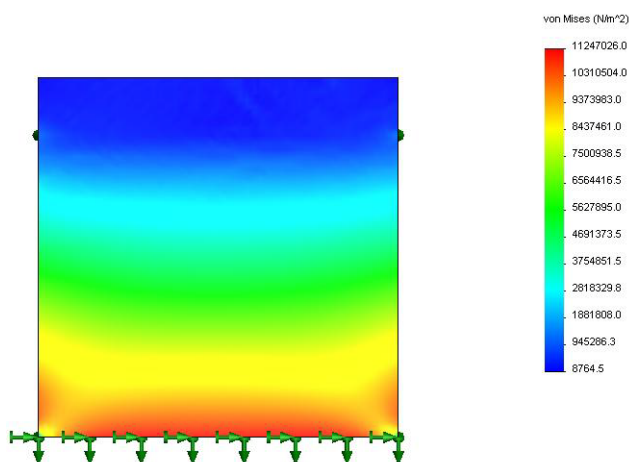
Figur 13, Stressintensitet i wafer ved ikke lineær simulering, 24mm forflytning, flateinnfesting

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress at Step No: 13(1Sec)	0 N/m ² Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	5.64301e+007 N/m ² Node: 404	(78 mm, 0.0955183 mm, 54.9091 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement at Step No: 13(1Sec)	0 m Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	0.0241369 m Node: 447	(78.0001 mm, 24.08 mm, -75.4329 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain at Step No: 13(1Sec)	0 Element: 1	(-76.96 mm, 0.08 mm, 77.0476 mm)	0.000264731 Element: 2409	(-76.96 mm, 0.131068 mm, 52.8488 mm)

Tabell 7, Resultattabell ved ikke lineær simulering av wafer, 24mm forflytning, flateinnfesting

4.10.1. Sammenligning med tostegsløftet

4.11. Lineær statisk simulering med innfesting av endekant, med tvungen forflytning på endekant 5mm, ved skillelinje.

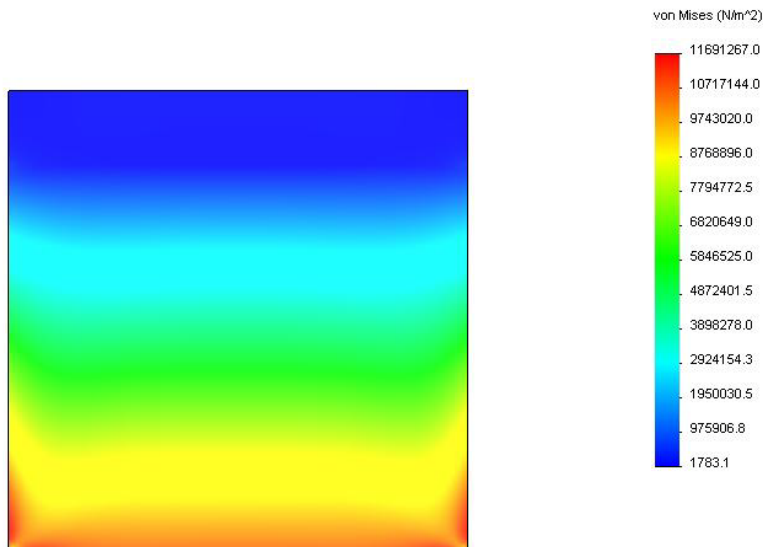


Figur 14, Lineær statisk simulering med innfesting av endekant, med tvungen forflytning på 5mm, ved skillelinje.

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	8764.5 N/m ² Node: 8591	(17.16 mm, 14.5647 mm, -70.1875 mm)	1.1247e+007 N/m ² Node: 36	(31.2 mm, 0.08 mm, 78 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 m Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	0.00644311 m Node: 360	(-78 mm, 15.68 mm, -78 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	5.93965e-008 Element: 1096	(19.76 mm, 14.2044 mm, -67.5833 mm)	4.80328e-005 Element: 587	(76.96 mm, 0.155996 mm, 68 mm)

Tabell 8, Resultattabell ved lineær simulering av wafer, med innfesting i endekant, 5mm forflytning, ved skillelinje

4.12. Ikke lineær statisk simulering med innfesting av endekant, med tvungen forflytning på 5mm, ved skillelinje.



Figur 15, stressintensitet ved ikke lineær simulering av wafer, med innfesting i endekant, 5mm forflytning, ved skillelinje.

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress at Step No: 13(1Sec)	1783.15 N/m ² Node: 426	(78 mm, 0.08 mm, -78 mm)	1.16913e+007 N/m ² Node: 9781	(-78 mm, 0.08 mm, 70.8571 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement at Step No: 13(1Sec)	0 m Node: 1	(-78 mm, 0.08 mm, 78 mm)	0.00643538 m Node: 360	(-78 mm, 6.51349 mm, -77.8443 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain at Step No: 13(1Sec)	2.82219e-008 Element: 1339	(75.92 mm, 6.45364 mm, -76.8043 mm)	5.80719e-005 Element: 578	(76.96 mm, 0.0984893 mm, 71.0159 mm)

Tabell 9, Resultattabell ved ikke lineær simulering av wafer, med innfesting i endekant, 5mm forflytning, ved skillelinje.

4.13. Diskusjon

Simuleringen viste at ikke lineære simuleringer gav størst stressverdi innad i waferene. De er derfor de mest konservative verdiene.

Ved sammenligning med brekkasjetesten gav et løft på 5mm maksimalt stress på 11MPa og ved 24mm 56MPa. Ved sammenligning med tostegsløftet gav en forflytning på 5mm 11,7 MPa, dersom denne verdien sammenlignes med stress som iverksetter sprekkvekst i en gjennomsnittlig wafer, får vi en sikkerhetsfaktor lik $51/11,7 = 4,35$.

Sikkerhetsfaktoren gjelder da en gjennomsnittlig wafer, med mikrosprekker med lengde lik $0,64\mu\text{m}$. Ekstreme verdier for mikrosprekkene vil forekomme i waferene levert fra fabrikken, da enten mindre eller større. Dersom det tas utgangspunkt i maksimalt stress i waferen på 11,7MPa, vil den største tillatte sprekken før det oppstår sprekkvekst bli:

$$\alpha = \left(\frac{K_{IC}}{Y \cdot \sigma_{\max}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\pi} \quad [2-4]$$

$$\alpha = \left(\frac{0,8\text{MPa}}{1,1 \cdot 11,7\text{MPa}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\pi} = 0,00123\text{m} = 1,23\text{mm}$$

Se for øvrig bøyningstesten for forklaring av verdier og symboler.

6. Konklusjon

UiO anbefalte at det ble gjort en eksperimentell beregning for å finne maksimal nedbøying. Det ble utført forsøk rettet mot prototypens løfteenhet. Prosjektgruppen har fått dratt nytte av dette til viktige designparametre.

Skulle det bli gjort en ny eksperimentell test for å finne maksimale spenninger og nedbøying som kunne sammenlignes teoretisk, burde det bli gjennomført en tre-punkts bøyningstest, eller en fler-akset bøyings test, som begge er konvensjonelle tester. Til disse testene finnes det passende formler som kan anvendes for utregninger.

Sugekoppene som ble brukt i prosjektgruppens eksperimentelle test er elastiske og formet seg etter materialet. Det anses som mer skånsomt enn de ovenstående konvensjonelle testende. Dermed kan heller ikke formler for bruk av utregning av nedbøying brukes i forbindelse med prosjektgruppens eksperimentelle test. Det anses derfor fornuftig å ikke utlede noen teoretisk beregning av nedbøying som sammenlignes opp mot den eksperimentelle testen.

Som tidligere beregnet, gir en stressintensitet større enn 51MPa sprekkvekst, det var derfor ventet at waferene skulle feile når løftehøyden førte til at de indre spenningene i waferene oversteg denne verdien. Noe de også gjorde ved en løftehøyde på gjennomsnittlig 24mm. Simulert stressverdi var da 56MPa, noe som gir et avvik mellom simulert og beregnet styrke på 5MPa.

Sikkerhetsfaktoren beregnet fra gjennomsnittlig løftehøyde fra den eksperimentelle testen sammenlignet med tostegsløftet gav en sikkerhetsmargin på 4,82. Ved sammenlikning av simuleringen med tostegsløftet gav det en sikkerhetsfaktor på 4,35. Vanlig sikkerhetsfaktor for mekaniske konstruksjoner er 2, siden Silisium er et spøtt materiale og waferene er meget tynne og skjøre, er det ønskelig med en sikkerhetsfaktor godt over 2.

Sprekker med lengde 1,2mm eller større vil alltid finnes i wafere, men da kan det stilles spørsmål ved egnetheten av disse til solcelleproduksjon.

Det er derfor sannsynlig at tostegsløftet ikke vil bidra til brekkasje av wafere i stor grad, med unntak av wafere som er skadde i utgangspunktet. Lagt til grunn det utvalget av wafere som ble testet i bøyningstesten.

7. Referanser

1. Brun, X.F., *Analysis of Handling Stresses and Breakage of Thin Crystalline Silicon Wafers*, in *Institute of Technology*. 2008, George W. Woodruff School of Mechanical Engineering: Georgia. p. 151.
2. Callister, W.D. and D.G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*. 2007, New York: Wiley. XXV, 721, [82] s.
3. Xavier F. Brun, S.N.M., *Analysis of stresses and breakage of crystalline silicon wafers during handling and transport'*. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2009. **93**(8): p. 1238 - 1247.
4. Rupnowski, P., Sopori, *Strength of silicon wafers: fracture mechanics approach*. *International Journal of Fracture*, 2009. **155**(1): p. 67 - 74.
5. Roark, R.J. and W.C. Young, *Roark's formulas for stress and strain*. 1989, New York: McGraw-Hill. XIV, 763 s.
6. Finstad, T., *UiO, Epost, styrkeberegninger av wafer*. 11.05.2010.
7. Pearce, C.A. and S. Guruswamy, *New Biaxial Flexure Test Device for Ultrathin Single Crystal Wafers*. *Journal of the American Ceramic Society*, 2008. **91**(12): p. 4023-4028.
8. Funke, C., et al., *Biaxial Fracture Test of Silicon Wafers*. *Advanced Engineering Materials*, 2004. **6**(7): p. 594-598.



HØGSKOLEN i Buskerud

Avdeling for Ingeniørutdanning
Institutt for Teknologi

Vedlegg V – Systemtester

TopValg - Tørrsingulering av Multikrystallinske Silisium wafere/solceller
TopValg - Dry singulation of Mc-Si wafers/solarcells

Fag(nr./navn):

SFH03200 – Hovedoppgave med prosjektstyring

Gruppemedlemmer:

Gruppe 2010-3

Lars Rimmereid, Per Sveinung Norendal, Tor Olav Sviggum, Viggo Røneid, Andreas Budak, Gunbjørn Kjernaas

Sensorer:

Olaf Hallan Graven

Jamal Safi

Morten Nordengen

Veiledere:

Jamal Safi

Morten Nordengen

Dato: 28. mai. 10

Innholdsfortegnelse

1.	Introduksjon til testing	1
1.1.	Innledning	1
1.2.	Definisjoner av testnivåer	1
1.2.1.	Modultest:	1
1.2.2.	Modulintegrasjonstest:	1
1.2.3.	Systemtest:	1
1.3.	Test metoder	2
1.3.1.	V-modellen	2
1.3.2.	Testutførelse	3
1.3.3.	Metoder for feilbekjempelse	3
2.	Modultest	4
1.4.	Test forbreddelser	4
2.1.	Utføring	4
2.1.1.	Pre-test / smoke test:	4
2.1.2.	Hovedtest:	4
2.1.3.	Ettertest:	4
2.2.	Resultater	5
2.2.1.	Kontrollpanel:	5
2.2.2.	Laser:	6
2.2.3.	Luftdyser:	7
2.2.4.	tostegs løft:	8
2.2.5.	Sugekopper:	9
2.2.6.	Vertikal servoakse:	10
2.2.7.	Horisontal servoakse:	10
2.3.	Konklusjon	11
3.	Modulintegrasjonstester	12
3.1.	Modulintegrasjonstest 1 med Taguchi	12
3.1.1.	Hensikt	12
3.1.2.	Forbreddelser	12
3.1.3.	Oppsett	14
3.1.4.	Gjennomføring	17
3.1.5.	Utrekning og diskusjon	19
3.1.6.	Konklusjon	20
3.2.	Modulintegrasjonstest 2 med Taguchi	21
3.2.1.	Hensikt	21
3.2.2.	Oppsett	21
3.2.3.	Parametere	21
3.2.4.	Gjennomføring	22
3.2.5.	Resultater	23
3.2.6.	Utrekning og diskusjon	25
3.2.7.	Konklusjon	26

3.3.	Modulintegrasjonstest 3 med Taguchi	27
3.3.1.	Hensikt.....	27
3.3.2.	Gjennomføring	27
3.3.3.	Resultater.....	28
3.3.4.	Utrekning og diskusjon:.....	30
3.3.5.	Konklusjon	31
4.	Systemtest	32
4.1.	Test av Kravspesifikasjon, Wafer	32
4.1.1.	Hensikt.....	32
4.1.2.	Gjennomføring	32
4.1.3.	Resultater.....	35
4.1.4.	Godkjenningsprotokoll.....	41
4.1.5.	Sammendrag av testen:.....	41
4.1.6.	Konklusjon	43
4.2.	Test av Kravspesifikasjon, Solceller	44
4.2.1.	Hensikt.....	44
4.2.2.	Gjennomføring	44
4.2.3.	Dokumentasjon.....	46
4.2.4.	Resultater.....	46
4.2.5.	Godkjenningsprotokoll.....	52
4.2.6.	Konklusjon	53

1. Figurliste

Figur 1, Beskrivelse av testprosessen ved bruk av V-modellen.	2
Figur 2: Kontrollpanel, nødstop, reset og bryter til strøm.....	5
Figur 3, Laser for justering av høyde til heis.	6
Figur 4, Luftdyseblokk, her med to åpne dyser, resten er sperret av.	7
Figur 5, Luftsylinder som er avbildet i sirkelen sørger for første trinn i 2-steps løft.	8
Figur 6, Nærbilde av sugekopp som blir brukt i gripper.	9
Figur 7: Vertikal servoakse og horisontal servoakse.	10
Figur 8, Nedlastning av prototype ved Høyskolen i Buskerud.....	11
Figur 9, Vatring av prototype og klargjøring til testing.....	11
Figur 10, Gul pil viser første steg i to-stegsløftet som blir gjort med luftsylinderen.	13
Figur 11, Parameter8: Laserhøyde og posisjon. Variabel ; 1: 29.5 mm, 2: 27 mm, 3: 31mm.	14
Figur 12, Parameter6: Plassering av dyser. Variabel ; 1:13 mm, 2:11 mm, 3: 9 mm.	15
Figur 13, Plassering av luftdyse.....	16
Figur 14, Kantene på de fleste wafere er tydelig skadet.	19
Figur 15, Viser innvirkning av hver testparameter. Høyest betyr best singulering.	19
Figur 16, Grafen viser innvirkningen av hver parameter på singuleringen.	25

Figur 17, Grafen viser hvilken innvirkning parametrene har på singuleringen.	30
Figur 18, Braketten som skal holde de øverste wafere på plass.	33
Figur 19, Avstanden til db måler og vegg i forhold til ramme.	35
Figur 20, Måling av DB-nivå. Gjennomsnittlig registrert DB-nivå er 75.3 DB.	36
Figur 21, Viser temperatur og slutt-tiden.	37
Figur 22, Plasseringen av waferen på transportbåndet.	38
Figur 23: Bildet viser wafere som er separert av luften på toppen av bunken.	42
Figur 24: Optimal svev av wafere.	42
Figur 25 TV. Bildet viser full waferbunke ligger opp til kanten av isoporesken. TH. Bildet viser isoprboxen fylt med 100 solceller	45
Figur 28, Bildet viser plasseringen av solcellen på transportbåndet.	47

Tabelliste

Tabell 1, Fullstendig tabell over L18 matrisen.	17
Tabell 2, Resultattabell fra, modulintegrasjonstest1 med Taguchi.	18
Tabell 3, Fullstendig tabell over L9 matrisen.	22
Tabell 4, Fullstendig tabell over L4 matrisen.	28
Tabell 5, Test av kravspesifikasjon, wafer.	40
Tabell 6: Godkjeningsprotokoll test mot kravspec, wafere *Se tredje avsnitt av sammendrag av testen.	41
Tabell 7, Resultattabell av systemtest.	51
Tabell 8, Godkjeningsprotokoll fra test mot kravspesifikasjon.	52

1. Introduksjon til testing

1.1. Innledning

Målet med disse testene er å systematisk teste forskjellige oppsett og parametere for å finne optimale kombinasjoner. Testprosessen er en viktig og tidskrevende del av ferdigstillingen. Systemet blir satt på prøve og ut ifra resultatene kan justeringer og endringer utføres.

Målet er å oppfylle kundens krav, dette krever at testingen er gjort omfattende. Med omfattende menes det at testresultatene ikke er tilfeldige, testene må prestere resultater som gjentar seg gjennom lengre tid. Feil og mangler rettes opp før systemet tas i bruk, et system som innehar feil er kostbart. Etter utført testing skaffes god kunnskap og erfaring om hvordan systemet fungerer. Dette er kunnskap som kan gis videre til kunden.

På prototypen som har blitt testet, er det mange parametere som kan endres. For å unngå ukontrollert testing av forskjellige parametre, er det viktig med målrettett arbeid, slik at det ble opprettholdt en god og kontrollerbar oversikt på hva som ble gjort.

1.2. Definisjoner av testnivåer

1.2.1. Modultest:

Test av enkeltstående komponenter for å bekrefte at disse fungerer slik de skal.

1.2.2. Modulintegrasjonstest:

Bekrefte at komponentene fungerer og kommuniserer mellom hverandre slik de skal. Målet er å finne grensesnittfeil og kompatibilitetsfeil. Dette vil forenkle og kvalitetssikre fremtidig testing.

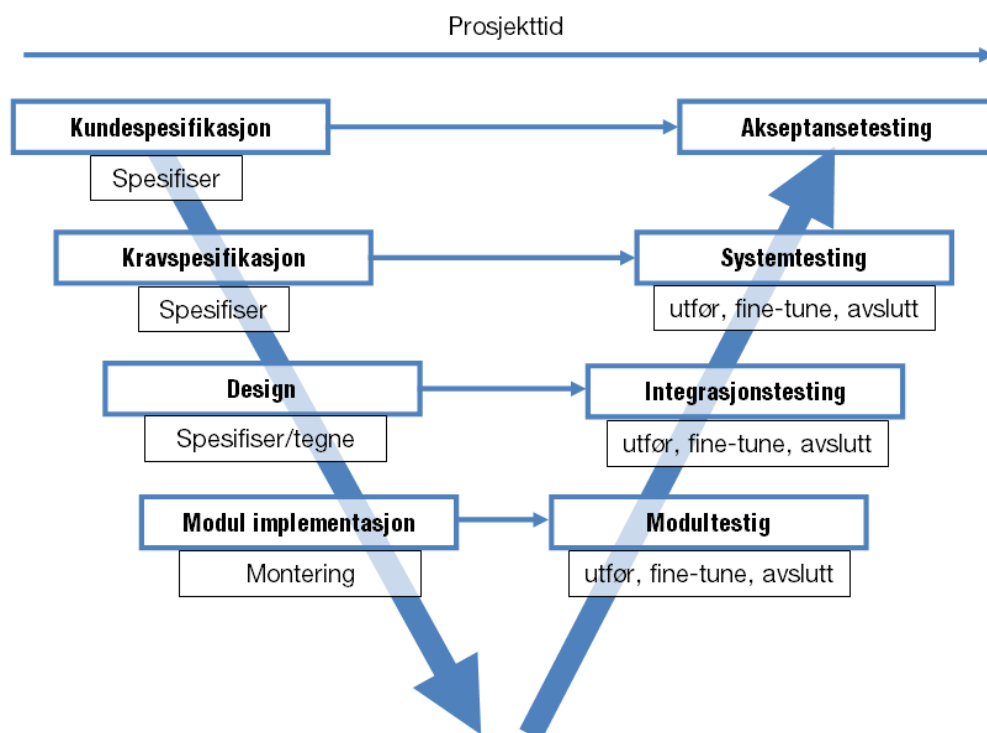
1.2.3. Systemtest:

Test mot kravspesifikasjon.

1.3. Test metoder

1.3.1. V-modellen.

Hvert testnivå er rettet mot tilsvarende nivå i prosjektfasen. Det er mange komponenter og systemer som skal justeres for å fungere optimalt, V-modellen gir en oversiktlig testprosess.



Figur 1, Beskrivelse av testprosessen ved bruk av V-modellen.

1.3.2. Testutførelse

Pre-test / smoke test:

Utfør for-test for å bekrefte at prototypen fungerer slik den skal.

Hovedtest:

Utfør den planlagte testen.

Ettertest:

Utfør ekstra testgjennomføring.
Gjennfør test etter feilretting og finjustering.

1.3.3. Metoder for feilbekjempelse

Gjennomganger / inspeksjoner

Inspeksjon av mål på prototype mot 2D tegninger.

Black box test (Funksjonell test)

Teste systemets indre oppbygging.

2. Modultest

Planlagt deadline: 26.04.2010

Utført: 30.04.2010

Test av enkeltstående komponenter for å bekrefte at disse fungerer som de skal. I tillegg er det viktig å forsikre seg at hvert komponent utfører oppgaven som den er tiltenkt å utføre.

1.4. Test forbredeleser

Plan: Plan for test av komponenter.

Spesifiser: Analyser funksjonene til komponentene.

Forbered: Bruk testdata mal og fordel arbeidsoppgaver.

Utfør: Kjør testene.

1. Kontroller resultatene.
2. Testdata noteres.
3. Rett feil og kjør testene om igjen.
4. Avslutt: Skriv ferdig testdokument. Oppretthold det ryddig og rent slik at det er klart til neste test. Rapporten skal være klar senest dagen etter at testen er kjørt.

2.1. Utføring

2.1.1. Pre-test / smoke test:

Kontroller at komponentet fungerer slik det skal.

2.1.2. Hovedtest:

Test alle funksjonene på komponentene som skal brukes. Viktig å fokusere på kun et komponent og dens funksjon av gangen.

2.1.3. Ettettest:

Utfør ekstra testtilfelle.

Gjennomfør ny test etter feilretting og fintuning (regresjonstest)

2.2. Resultater

2.2.1. Kontrollpanel:

Testen går ut på å teste kontrollpanelet som styrer prototypen. Stabilitet og forutsigbarhet er viktig hvis videre testing skal bli vellykket. Her styres også nødstop som har stor betydning for sikkerheten.



Figur 2: Kontrollpanel, nødstop, reset og bryter til strøm.

Testpunkter:

- Oppkobling til strøm. Starter prototypen og skjermen?
- Kjør nullstilling.
- Test av funksjoner og kontrollmekanismer fra panelet.
- Nødstop.

Komponent fungerer: ok

2.2.2. Laser:

Laseren sender signal til heisen i det blir brudd i laserstrålen. Heisen stopper umiddelbart og skal stå i riktig posisjon i forhold til luftdyser og sugekopper.

Sugekopper og luftdysene har faste posisjoner. Justering av laser bør ta utgangspunkt fra disse posisjonene når det skal justeres høyde og plassering av laserstrålen.

Testpunkter:

- Plassering. Står den i veien for heis/ transportbånd/ servoakser og wafere som blir transportert?
- Høydeplassering. Justering i forhold til luftdyser og vertikal servoakse med sugekopper.
- Refleksjon. Reflekteres strålen tilbake slik at brudd i strålen blir registrert når det forekommer?
- Sikkerhet. Kan det komme forstyrrelser som fører til at heisen ikke stopper på vei opp? Det vil føre til at paletten vil krasje med vertikal servoakse og forårsake skader på materiell og personell.

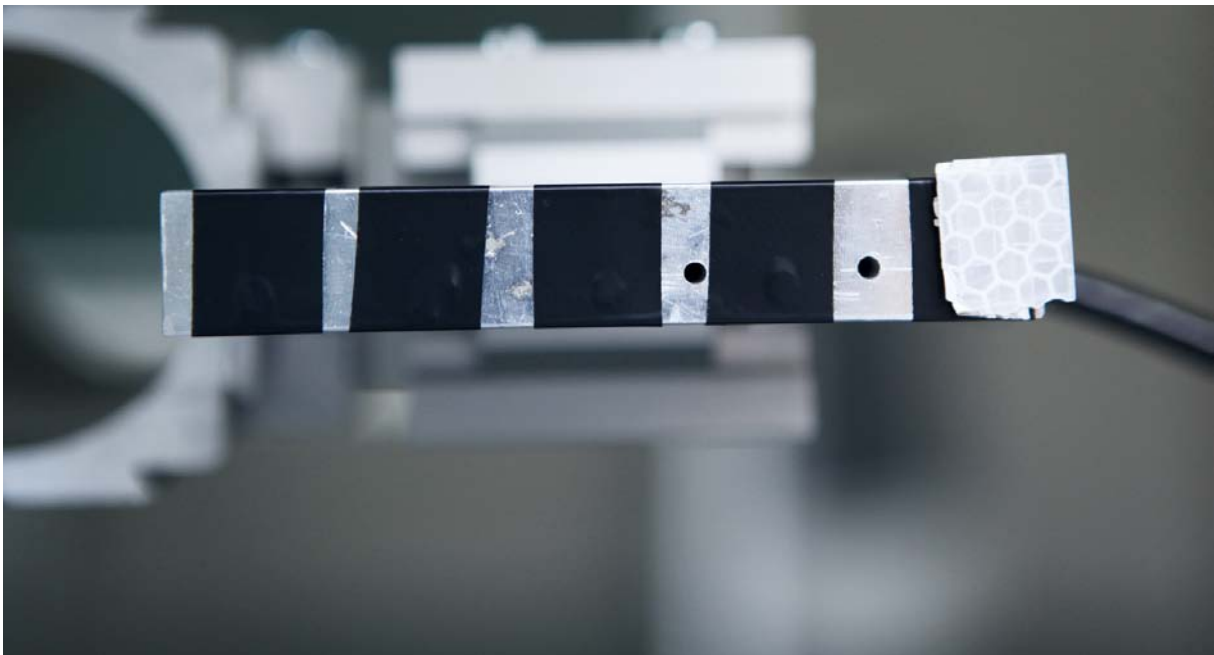


Figur 3, Laser for justering av høyde til heis.

Komponent fungerer: ok

2.2.3. Luftdyser:

Luftdysene som blåser trykkluft fra siden mot waferbunken er nøkkelen til en vellykket singulering. Her er det mange justeringsmuligheter. Dyseblokken kan justeres i og rundt alle akser og det er viktig å dokumentere hva som blir gjort. Reflektoren til laser er montert på luftdyseblokken. Dette må det tas hensyn til når justering på blokken blir utført.



Figur 4, Luftdyseblokk, her med to åpne dyser, resten er sperret av.

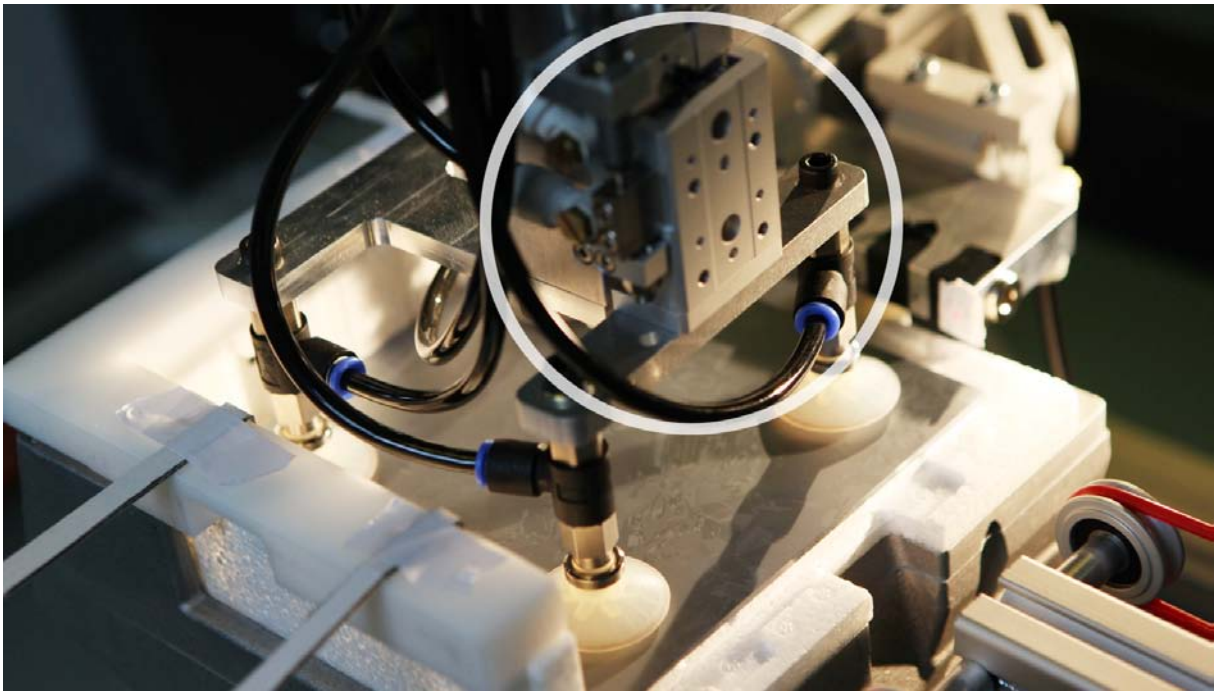
Testpunkter:

- Plassering. Avstand fra waferbunke, høyde og vinkel må testes og justeres.
- Luftmengde. Finn optimal trykk.
- Kontroller at det ikke er konflikt med heisen som kjører opp under palletlastning.
- Refleks for laser er påmontert på dyseblokken. Ta hensyn til det når blokken justeres.

Komponent fungerer: ok

2.2.4. tøstegs løft:

2-stegsløftet skal hjelpe til i singuleringsprosessen.



Figur 5, Luftsylinder som er avbildet i sirkelen sørger for første trinn i 2-stegs løft.

Testpunkter:

- Kontroller at den faktisk løfter til riktig høyde.

Komponent fungerer: ok

2.2.5. Sugekopper:



Figur 6, Nærbilde av sugekopp som blir brukt i gripper.

Testpunkter:

- Kontroller vakuum. Minst mulig er ønskelig.
- Sjekk for skader forurensning og slitasje.

Komponent fungerer: ok

2.2.6. Vertikal servoakse:

Løfter wafer vertikalt. Skal ha så lite løft som mulig, uten at den drar med seg wafere på grunn av turbulensen som oppstår i den horisontale bevegelsen bort til transportbåndet.

Testpunkter:

- Kontroller at vertikale servoaksen løfter tilstrekkelig.
- Noter lengde og tid på løft.

Komponent fungerer: ok



Figur 7: Vertikal servoakse og horisontal servoakse.

2.2.7. Horisontal servoakse:

Transporterer wafer horisontalt. Skal ha så kort avstand som mulig til transportbåndet for å spare tid. Må transportere uten å ødelegge wafer.

Testpunkter:

- Kontroller at horisontal akse transporterer tilstrekkelig.
- Noter lengde og tid på transport.

Komponent fungerer: ok

2.3. Konklusjon

Etter en hektisk og krevende monteringsperiode hos Tronrud Engineering ble prototypen transportert til Høyskolen i Buskerud, Kongsberg 27.04.2010. Siden hele konstruksjonen veier 316 kg ble denne flyttet med truck. Prototypen ble plassert på et egnet sted der det kunne jobbes med den uforstyrret.



Figur 8, Nedlastning av prototype ved Høyskolen i Buskerud.

Først måtte rammen stabiliseres og justeres slik at den sto i vannrett stilling. Dette er meget viktig siden testperioden vil gå over flere uker. For å oppnå godkjente testresultater som er brukbart i rapport må man ha lik utgangspunkt for alle tester som blir kjørt. Oppkobling av luft og strøm gikk uproblematisk.



Figur 9, Vatring av prototype og klargjøring til testing

Det ble kjørt noen runder med pre-test for å kontrollere at alle funksjoner fungerte som forventet. Observasjonene som ble gjort Variabel positive. Alle komponenter utførte oppgavene sine som forventet. Dermed Variabel alt klart for å begynne med modulintegrasjonstesting.

3. Modulintegrasjonstester

3.1. Modulintegrasjonstest 1 med Taguchi

Observatør: Lars Rimmereid
Referent: Andreas Budak
Medhjelper: Viggo Røneid
Sted: HiBU Kongsberg **Dato:** 29.04.2010

3.1.1. Hensikt

Hensikten med denne testen er å finne ut parametre som har størst innvirkning på systemet med tanke på singulering. Det er tidkrevende med eksperimenter for å finne den mest korrekte innstillingen for hvert komponent i vårt system. For en effektiv testing ble det besluttet å kjøre statistisk planlagte eksperimenter for å redusere antall kombinasjoner til et minimum, og dette reduserer dermed antall eksperimenter som må utføres. Denne metoden heter Taguchis ortogonale rekker.

3.1.2. Forbredelser

For hver testrunde kjøres femti wafere. Isoporeske med wafere blir da bare delvis fylt opp og lastes på nytt for hver testrunde. Moduler som skal testes i denne testen er følgende:

Parameter 1: Ikke i bruk

Parameter 2: Vinkel på luftdyse

Variabel 1: 0°, Variabel 2: 3°, Variabel 3: 6°

Parameter 3: Plassering og antall åpne dyser

Variabel 1: Tre dyser fra høyre åpen

Variabel 2: Alle dyser åpen

Variabel 3: Andre dyse fra høyre åpen

Parameter 4: Lufttrykk

Variabel 1: 0,3 bar, Variabel 2: 0,6 bar, Variabel 3: 1.0 bar

Parameter 5: 1-steps vertikal løft

Variabel 1: 4 mm, Variabel 2: 0 mm, Variabel 3: 8 mm

Parameter 6: Høyde på dyser

Variabel 1: 13mm, Variabel 2: 11 mm Variabel 3: 9 mm

Parameter 7: Vakuum i sugekopper med wafer.

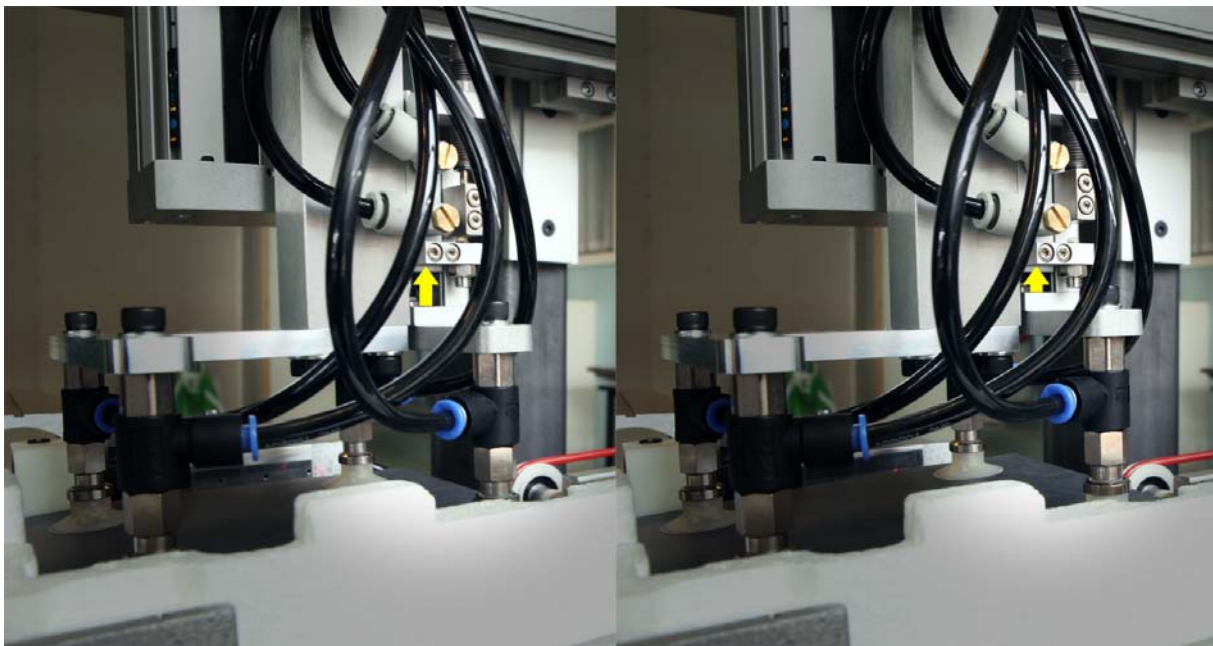
Variabel 1: -8.2 kPa, Variabel 2: -6 kPa, Variabel 3: -10kPa

Parameter 8: Laserhøyde

Variabel 1: 29.5 mm, Variabel 2: 27 mm, Variabel 3: 31 mm

Taguchi method L18 matrisen ble valgt siden syv moduler som skal testes med tre variabler hver.

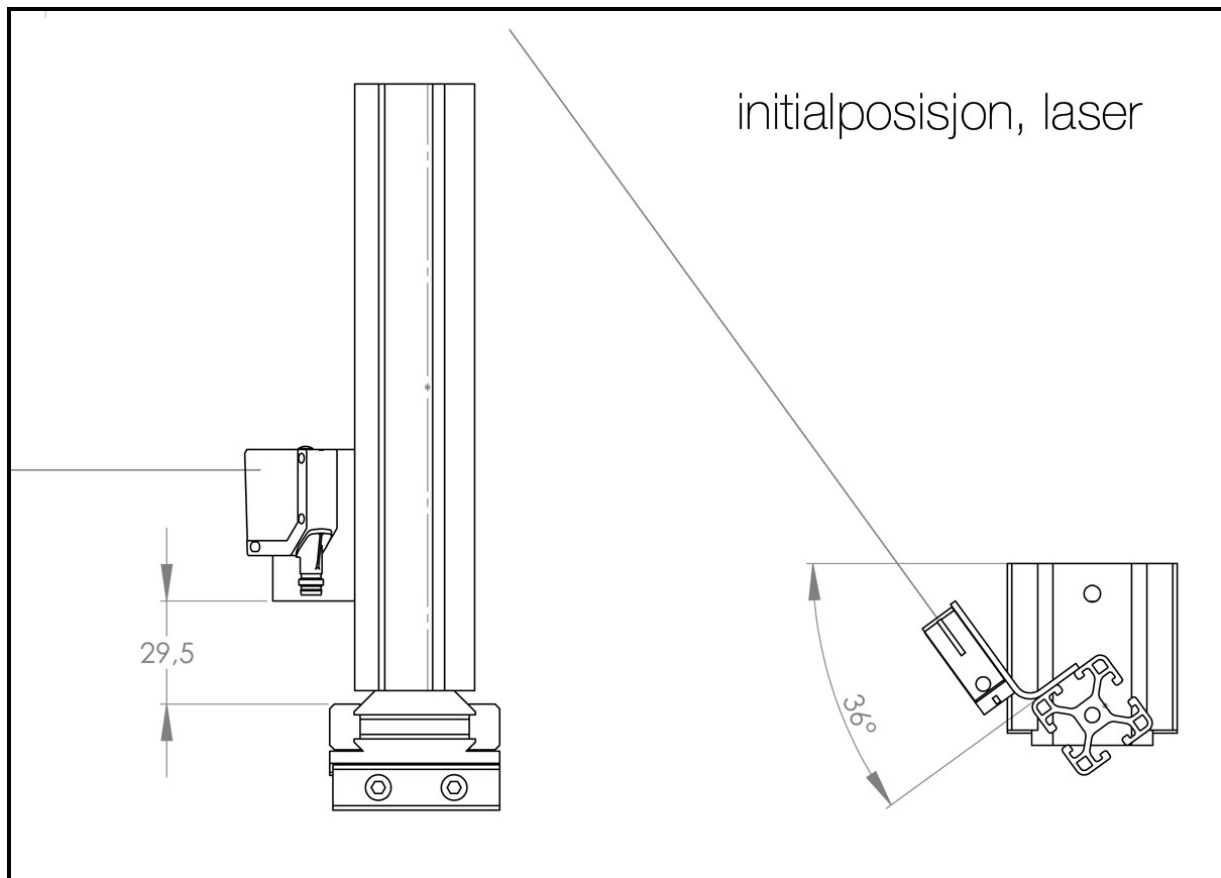
Resultatet fra denne testen vil legge grunnlag for å beregne de mest optimale verdiene til modulene på prototypen. Dette er nødvendig siden selv marginale endringer vil føre til store endringer i prosessen med å singulere og transportere wafere.



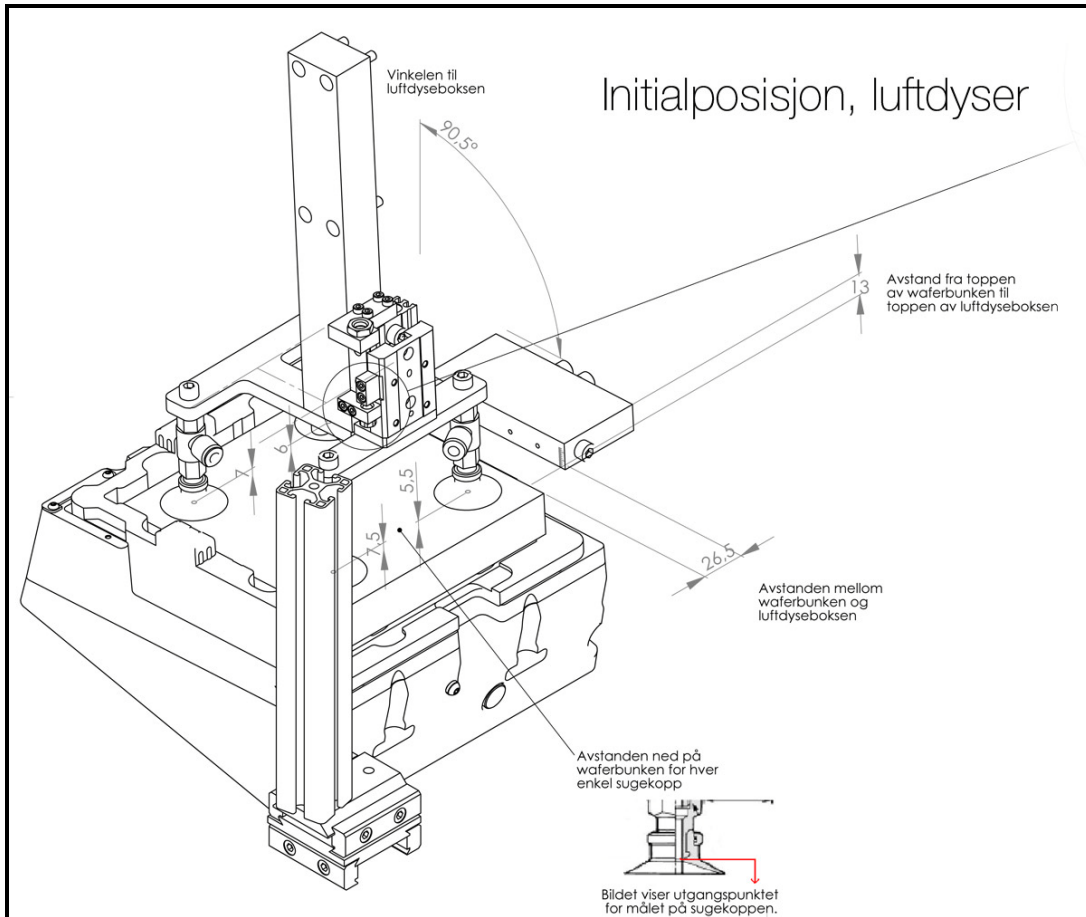
Figur 10, Gul pil viser første steg i to-stegsløftet som blir gjort med luftsynderen.

3.1.3. Oppsett

Testtriggen skal monteres etter dokumentet som beskriver fulldefinering av prototype. I tillegg er montering av enkeltkomponenter illustrert med 2D tegninger nedenfor:

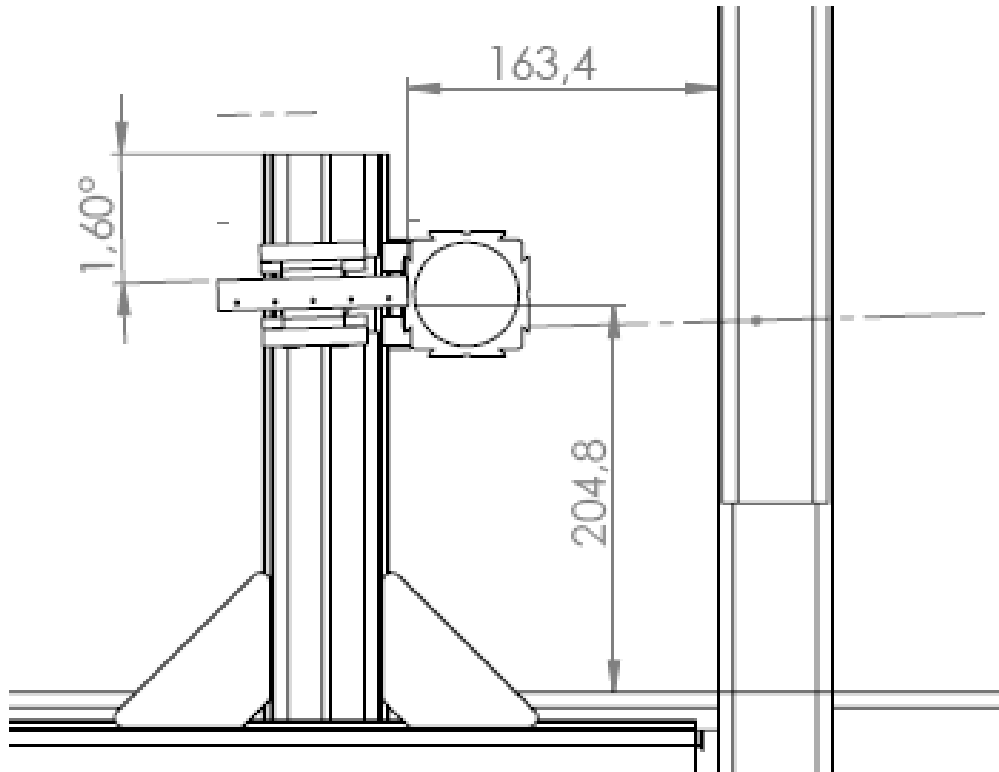


Figur 11, Parameter8: Laserhøyde og posisjon. Variabel ; 1: 29.5 mm, 2: 27 mm, 3: 31mm.



Figur 12, Parameter6: Plassering av dyser. Variabel ; 1:13 mm, 2:11 mm, 3: 9 mm.

Gruppe 2010-3
Tørresingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller



Figur 13, Plassering av luftdyse.

3.1.4. Gjennomføring

Lars Rimmereid og Andreas Budak gjennomførte testen. Viggo Rønneid Variabel medhjelper. Utstyret ble montert etter monteringsanvisningen. Instillinger og plassering av modulene ble endret gjennom testens gjennomgang. Det ble fulgt L18 matrisen.

Vi fikk en blanding av 180 μm , 200 μm , 220 μm og 240 μm wafere som måtte sorteres før testen ble kjørt. Tykkelsen på wafere er avgjørende når prototypen skal settes opp, spesielt med tanke på stepping av heis og lufttrykk i dysene. Derfor er det viktig å ha så like wafere som mulig.

Parameter: Ikke brukt Dysevinkel Dyseråpning Dysetrykk 1. stegs løft Dysehøyde Vakuum Laserhøyde
Eksperiment

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2	2
14	2	2	2	3	1	2	2	3	3
15	2	2	3	1	2	3	1	1	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1	1

Tabell 1, Fullstendig tabell over L18 matrisen.

1.4.1. Resultater

Resultatdokument				
Eksperimentnummer	Tid	Kommentar	Antall wafere	Feilsingulering
1	09:50	Vertikalløft ikke tilstrekkelig. Tar med seg flere på vei til TP.	50	8 stk
2	10:10	Ubrukelig.	50	14 stk
3	10:30	Totalt ubrukelig.	50	40 stk
4	10:40	Ubrukelig, dysene treffer ikke bunken.	stoppet	45 stk
5	10:56	1 brekajse, 2 reset av heis	50	13 stk
6	11:15	6 reset av heis. Mister vakuüm. Bra med tanke på singulering, men mye reset av heis.	50	1 stk
7	12:20	Etter 15 kjøringar kom heisen i riktig prosisjon og kjørte feilfritt.	50	7 stk
8	12:47	Lufta blåser langt over.	50	27 stk
9	13:03	Dysene blåser langt over waferbunke.	50	24 stk
10	13:09	Mye vibrasjon og blafring i waferbunken. Hittil testens beste.	50	1 stk
11	13:30	Problemer med singulering	50	12 stk
12	13:46	Bra start, singuleringsproblemer etterhvert som den jobber seg nedover.	50	23 stk
13	13:58	Total fiasko. Heis for lav, lufta for høy i forhold til bunken.	50	49 stk
14	14:03	Makstrykk ikke anbefalt i kombinasjon med alle dysehull åpne.	50	29 stk
15	14:12	Mye turbulens, dysa treffer dårlig	50	24 stk
16	14:25	Dårlig singulering	50	28 stk
17	14:41	Luftdysene treffer dårlig	50	26 stk
18	15:24	Fungerte meget dårlig.	50	39 stk

Tabell 2, Resultattabell fra, modulintegrasjonstest1 med Taguchi

3.1.5. Utregning og diskusjon

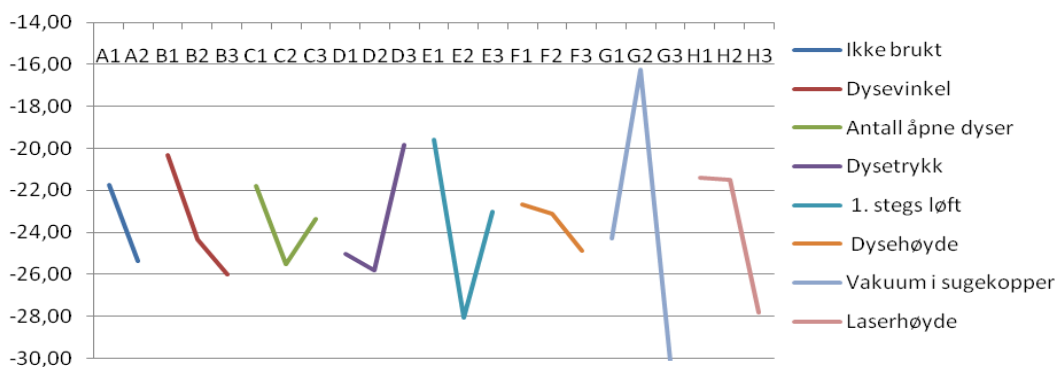
Det ble observert at det Variabel forskjellig tykkelse på waferne. I tillegg hadde mange waferer skade på kanten. Dette er uheldige variasjoner for testresultat og gir et dårlig utgangspunkt for en optimal justering av prototypen. Det anses at så store variasjoner ikke vil forekomme i vanlig produksjon.

Stepping av heisen er ikke optimal, det konkluderes med at det må kjøres flere runder med testing for å få justert denne riktig. Problemet er at den stepper for lite for hver "pick and place", og dermed blir høyden opp til sugekoppene for stor til at sugekoppene klarer å ta tak i waferer.



Figur 14, Kantene på de fleste waferer er tydelig skadet.

Fullstendig utregning finnes på ark 2 i medfølgende på cd: *Taguchi L9 Proto1 test1*.



Figur 15, Viser innvirkning av hver testparameter. Høyest betyr best singulering.

Parameter 1: Ikke i bruk

Parameter 2: Vinkel på luftdyse, Variabel 1: 0°

Parameter 3: Plassering og antall åpne dyser, Variabel 1: Tre dyser fra høyre åpen

Parameter 4: Lufttrykk, Variabel 3: 1.0 bar

Parameter 5: 1-stegs vertikal løft, Variabel 1: 4 mm

Parameter 6: Høyde på dyser Variabel 1: 13mm

Parameter 7: Vakuum i sugekopper med wafer Variabel 2: -6 kPa

Parameter 8: Laserhøyde, Variabel 1: 29.5 mm

Siden dette Variabel den første omfattende testen måtte vi velge "grove" verdier til komponentene for å treffe noenlunde fornuftig. Dermed fikk vi store variasjoner på resultatene som det kommer fram i rapporten.

Syklustiden er for tiden for høy, noe som også bidrar til mer feilsingulering. Vi antar at hvis hastigheten settes ned vil det kunne minske dragsug-effekten av wafer som er på vei til produksjonsbåndet.

I denne testen er det ikke tatt hensyn til reset av palett, antall stopp og oppetid. Kun feilsinguleringer og brekkasjer har blitt notert.

Ideelle parametre som kom fram ved hjelp av Taguchi ga oss de beste resultatene fra denne testen.

3.1.6. Konklusjon

Under testing Variabel det mange av settingene som Variabel ulogiske. Men alle eksperimenter måtte kjøres for å få riktig resultat fra utregningene.

Dette er et godt utgangspunkt til videre testing. Men dog, det er mer testing som gjenstår. Taguchis metode har gitt sVariabel på hva som må testes videre og det kommer tydelig fram variablene som har størst utslag på testresultatene.

3.2. Modulintegrasjonstest 2 med Taguchi

Observatør: Lars Rimmereid (Andreas Budak)
Referent: Viggo Røneid
Sted: HiBU Kongsberg
Dato: 30.04.2010

3.2.1. Hensikt

Hensikten med denne testen er å bruke Taguchi metoden til å videre justere de parameterne som hadde størst innvirkning på en vellykket wafer singulering i Modulintegrasjonstest 1 med Taguchi. Parametere som skal justeres i denne testen er: Dysetrykk, vakuüm i sugekoppene, høyde på tostegsløft og høyde på tostegsløft. Siden det er fire parametere med tre verdier hver skal L9 matrisa brukes til å gjøre beregningene.

3.2.2. Oppsett

Teststriggen skal monteres etter vedlagt tegning.

3.2.3. Parametere

I: A Luftrykk i dyse 1: 0,5 bar 2: 0,6 bar 3: 0,7 bar

Av resultatene fra *Proto1-Test 1 med Taguchi* ble det observert at luftrykk parameteren hadde stor innvirkning på singuleringen. Verdien med best resultat fra den testen Variabel 0,5 bar. Det ble derfor valgt å teste verdier rundt denne verdien. Det bør noteres at trykkregulatoren som brukes på prototypen er vanskelig å lese av ved verdier rundt 0,5 bar. Så det vil ikke være mulig å være 100 prosent nøyaktig.

II: B Høyde på tostegsløft 1: 4 mm 2: 5 mm 3: 6 mm

Resultatene fra *Proto1-Test 1 med Taguchi* hadde betydelig innvirkning på vellykket singulering. Her Variabel det 4 mm som ga det beste resultatet. Test verdiene ble derfor satt til verdier rundt denne verdien.

III: C Vakuüm i sugekoppene 1: -0,4 kpa 2: -0,5 kpa 3: -0,6 kpa

Proto1-Test 1 med Taguchi ga resultater som viste at laveste vakuüm ga mest vellykket singulering. Det laveste som ble testet Variabel -0,6 kpa. De nye testverdiene ble derfor satt til denne verdien og lavere.

IV: D Høyde på dysene 1: -1 mm 2: 0 3: 1 mm

Høyden på dysene i forhold til waferbunken Variabel også et viktig kriterium for vellykket singulering. Verdiene som er valgt til denne testen: innblåsning 1 mm under øverste wafer, rett på øverste wafer og 1 mm over øverste wafer.

3.2.4. Gjennomføring

Det skal gjøres tester etter L9 matrisa. Det skal gjøres to målinger pr innstilling. Måten hver av testene skal gjennomføres er som følgende. Det skal kjøres 50 løft med pick and placen. Det skal noteres hvor mange av de 50 løftene som er på mer enn en wafer. Hvis et løft ikke inneholder en wafer, så telles dette ikke som et løft. Antallet løft med mer enn 1 wafer skal noteres og brukes i beregningene av S/N og Mean, Hvis noe uventet skjer ved en test, så skal dette skrives ned og kommenteres.

TEST	Parameter: Luftrykk i dyse	Høyde tostegsløft	Vakuumb i sugekopp	Høyde på dyse
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabell 3, Fullstendig tabell over L9 matrisen.

Lars Rimmereid og Viggo Røneid gjennomførte testen. Andreas Budak overtok for Lars Rimmereid på de 3 siste parameter innstillingene. Utstyret ble montert etter monteringsanvisningen. Alle de justerbare parameterne ble innstilt etter L9 matrisen. Deretter ble testene gjennomført etter den samme matrisen. Av L9 matrisen ble det kjørt tester med 9 forskjellige parameter innstillinger. Det ble gjort to målinger på hver parameter innstilling.

3.2.5. Resultater

Testrunde 1

Test 1

Her ble det notert 9 løft inneholdt mer enn en wafer Etter det 20. løftet klarte ikke sugekoppene å ta tak i den øverst waferen. Heisen som holder waferbunken ble derfor stilt inn på nytt.

Test 2

Her ble det notert 10 løft som inneholdt mer enn en wafer. Etter det 26. løftet klarte ikke sugekoppene å ta tak i den øverst waferen. Heisen som holder waferbunken ble derfor stilt inn på nytt.

Testrunde 2

Test 1

Her ble det notert 5 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 2

Her ble det notert 1 løft som inneholdt mer enn en wafer

Testrunde 3

Test 1

Her ble det notert 5 løft som inneholdt mer enn en wafer. Det ble observert at løftet kunne gå noen sykluser uten å ta med seg wafer. Dette fordi waferbunken sto for lavt i forholdt til løfteposisjonen til sugekoppene. Her Variabel det også en brekkasje.

Test 2

Her ble det notert 7 løft som inneholdt mer enn en wafer. Det ble observert at løftet kunne gå noen sykluser uten å ta med seg wafer. Dette fordi waferbunken sto for lavt i forholdt til løfteposisjonen til sugekoppene.

Testrunde 4

Test 1

Her ble det notert 6 løft som inneholdt mer enn en wafer. Den ene bunken inneholdt mellom 10-12 wafere. Dette gjorde at heisen ikke steppet riktig, noe som førte til at heisen måtte gå flere sykluser uten wafere før heisen Variabel i riktig høyde.

Test 2

Her ble det notert 8 løft som inneholdt mer enn en wafer. Det ble observert at løftet kunne gå noen sykluser uten å ta med seg wafer. Dette fordi waferbunken sto for lavt i forholdt til løfteposisjonen til sugekoppene.

Testrunde 5

Test 1

Her ble det notert 9 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 2

Her ble det notert 6 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Testrunde 6

Test 1

Her ble det notert 2 løft som inneholdt mer enn en wafer. Det første løftet inneholdt ingen wafer.

Test 2

Her ble det notert 3 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Testrunde 7

Test 1

Her ble det notert 2 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 2

Her ble det notert 6 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Testrunde 8

Test 1

Her ble det notert 2 løft som inneholdt mer enn en wafer. Etter det 13. løftet klarte ikke sugekoppene å ta tak i den øverst waferen. Heisen som holder waferbunken ble derfor stilt inn på nytt.

Test 2

Her ble det notert 4 løft som inneholdt mer enn en wafer. Etter det 14,21 og 32 løftet klarte ikke sugekoppene å ta tak i den øverst waferen. Heisen som holder waferbunken ble derfor stilt inn på nytt. Løftene som inneholdt mer enn en wafer kom rett etter at heisen hadde blitt stilt inn på nytt.

Testrunde 9

Test 1

Her ble det notert 7 løft som inneholdt mer enn en wafer.

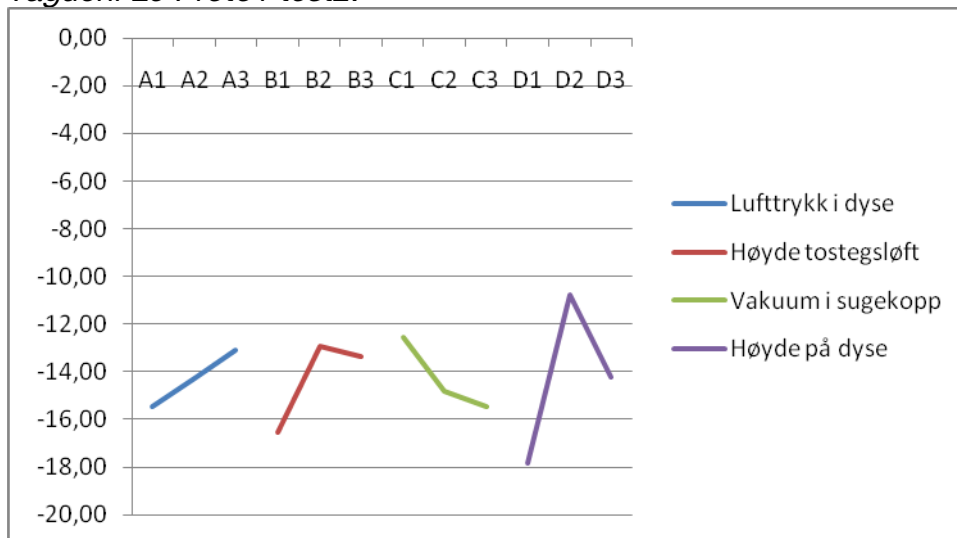
Test 2

Her ble det notert 6 løft som inneholdt mer enn en wafer.

3.2.6. Utregning og diskusjon

Det ble observert at det Variabel forskjellig tykkelse på waferene. Noen av waferne Variabel betraktelig tykkere enn andre.

Fullstendig utregning finnes på ark 2 i medfølgende regneark som finnes på cd'en: *Taguchi L9 Proto1 test2*.



Figur 16, Grafen viser innvirkningen av hver parameter på singuleringen.

Hvor høyere verdi viser en mer vellykket singulering, med andre ord færre løft som inneholdt mer enn en wafer. Grafen viser at den anbefalte innstilling av parameterne er:

- | | |
|-----------------------------|----------|
| I: A Lufttrykk i dyse | 0,7 bar |
| II: B Høyde på tostegsløft | 5 mm |
| III: C Vakuum i sugekoppene | -0,4 kpa |
| IV: D Høyde på dysene | 0 mm |

Prototypen ble stilt inn med disse parameterne og kjørte gjennom en eske med 112 waferer. Vi fikk da to løft med mer enn en wafer på de 70 første løftene. Deretter stoppet løfte på grunn av at heisen med waferne ikke hadde riktig høyde. Heisen ble justert, den klarte da å løfte 20 waferer før den igjen stoppet på grunn av at heisen ikke hadde riktig høyde. Her Variabel det ingen doble waferer. Heisen ble igjen stilt til riktig høyde. Den løftet da de siste 20 waferne, uten at noen lå doble. Dette er bedre enn ved testing av de forskjellige testoppsettene, de siste 20 waferne ble singulert ut av esken på ca 50 sekunder.

Et problem som kom frem av denne testen Variabel at heisen ikke steppet nok per løft. Dette gjorde at etter noen løft Variabel ikke heisen høy nok. Prosessen stoppet opp og heisen måtte stilles inn på nytt.

3.2.7. Konklusjon

Justeringene som ble gjort ut ifra bergningene ved Taguchi hadde positiv innvirkning på vellykket singulering, færre doble waferer. En utfordring blir å justere steppingen til heisen med waferbunken og justere hastigheten på løfte syklusen. Med andre ord, hastigheten på tostegsløftet og transporten av waferer fra bunken til transportbåndet.

3.3. Modulintegrasjonstest 3 med Taguchi

Observatør: Lars Rimmereid

Referent: Viggo Rønneid

Sted: HiBU Kongsberg

Dato: 03.05.2010

3.3.1. Hensikt

Fram til nå har testene vært omfattende med mange komponenter og variabler. Hensikten med denne testen Variabel å finne ut parametre som har størst innvirkning på systemet med tanke på singulering ved å rette fokus mot luftdysen.

Fra "modulintegrasjonstest 1" kunne man observere at tre dysehull fra venstre ga best resultat. Dette ble brukt som standard i "modulintegrasjonstest 2". For denne testen ble det utviklet en ny luftdyse med 2 nye hull med en diameter på 3 mm. Dette er 0,5 mm mer enn det som ble brukt som standard.

Siden vi hadde tre parametre med to variabler ble L4 matrisen valgt ut til å gjøre beregningene.

3.3.2. Gjennomføring

For hver testrunde ble femti wafere kjørt tre ganger, altså 150 wafere totalt. Dette er for å hindre at tilfeldige omstendigheter skal gi utslag på resultatet. Heisen resettes og lastes på nytt for hver testrunde. Parameterene som skal testes i denne testen er følgende:

Parameter 1: Luftdyseblokk

Variabel 1: Standard med tre åpne hull fra høyre side

Variabel 2: Ny blokk med 2 nye og større hull.

Parameter 2: Avstand fra luftdyseblokk til wafere

Variabel 1: Palett går i flukt

Variabel 2: -1 cm fra palett

Parameter 3: Høyde av luftdyser i forhold til øverste wafer i bunken.

Variabel 1: initial

Variabel 2: -0.5 mm

Luftdyseblokk, dyseavstand til waferbunke og høyde av dysehull ned til øverste wafer er parameter som taes med i denne runden. Siden det er tre parametere med to verdier hver skal L4 matrisa brukes til å gjøre beregningene

test	parameter	1	2	3
1		1	1	1
2		1	2	2
3		2	1	2
4		2	2	1

Tabell 4, Fullstendig tabell over L4 matrisen.

Lars Rimmereid og Viggo Røneid gjennomførte testen. Utstyret ble montert etter monteringsanvisningen. Alle de justerbare parameterne ble innstilt etter L4 matrisa. Deretter ble testene gjennomført etter den samme matrisa. Det ble gjort tre målinger med femti wafer for hver testrunde.

3.3.3. Resultater:

Her kommer en enkel oversikt over resultatene fra testingen.

Testrunde 1

Test 1

Her ble det notert 2 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 2

Her ble det notert 2 løft som inneholdt mer enn en wafer. Den ene feilsinguleringen skyldtes dragsugeffekten som oppstår på vei til produksjonsbåndet

Test 3

Her ble det notert et løft som inneholdt mer enn en wafer. Dette skyldtes dragsugeffekten som oppstår på vei til produksjonsbåndet

Testrunde 2

Test 1

Her ble det notert 4 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 2

Her ble det notert 4 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 3

Her ble det notert 3 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Testrunde 3

Test 1

Her ble det notert 12 løft som inneholdt mer enn en wafer. I tillegg måtte palett resettes og lastes opp på nytt flere ganger.

Test 2

Her ble det notert 12 løft som inneholdt mer enn en wafer. Ikke kontinuerlig drift.

Test 3

Her ble det notert 12 løft som inneholdt mer enn en wafer. Meget dårlig singulering uten stabil drift.

Testrunde 4

Test 1

Her ble det notert 10 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 2

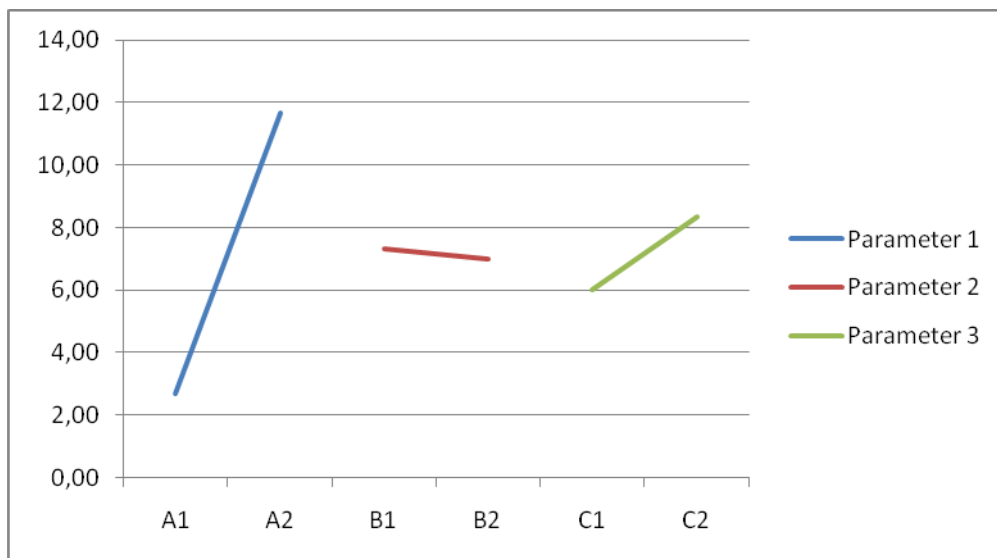
Her ble det notert 11 løft som inneholdt mer enn en wafer.

Test 3

Her ble det notert 10 løft som inneholdt mer enn en wafer. Meget dårlig singulering uten stabil drift.

3.3.4. Utregning og diskusjon:

Verdiene etter testen ble matet inn i matrisen og resultatene som kom fram ga oss tydelige indikasjoner om hva som hadde mest å si på singulering av wafere.



Figur 17, Grafen viser hvilken innvirkning parametrene har på singuleringen.

Jo høyere verdi grafen har, jo bedre singulering. Grafen sier at den anbefalte innstilling av parameterne er:

I: A Luftdyseblokk

II: B Avstand til waferbunke

III: C Høyde av dysehull

Ny type med 2 hull på 3 mm.

Flukt med palett

-0.5 mm fra int.

Ny runde med testing ble kjørt med de anbefalte optimale innstillinger fra matrisen. Dette ga de beste resultatene så langt i denne testen med 3 feilsinguleringer i løpet av 150 wafere. I tillegg Variabel det ikke nødvendig å resette palett på nytt i løpet av kjøring av tester.

3.3.5. Konklusjon

I denne testrunden Variabel fokuset rettet spesielt mot luftdysen siden det har kommet fram at det er det komponenten som har mest betydning for en vellykket singulering. Selv om det Variabel få parametre Variabel det fordelaktig å dokumentere resultatene etter Taguchis metode.

Ut fra resultatene ser man at den nye dyseblokken med 2 større dysehull gir et bedre resultat enn den gamle løsningen med tre litt mindre hull. Ved bruk av den nye dyseblokken ble det også registrert at det Variabel mindre turbulens i waferbunken. Dette er meget positivt. Mye turbulens fører til at frie wafere på toppen blafrer kraftig, noe som fører til belastning på dem.

I tillegg ble det registrert at avstand fra dysehull til waferbunke ikke har så stor betydning. Best resultat ble oppnådd når dyseblokken gikk i flukt med palett. Dette blir standard i videre testing og skal ikke endres på.

4. Systemtest

4.1. Test av Kravspesifikasjon, Wafer

Observatør: Andreas Budak
Medhjelper: Viggo Rønneid
Referent: Lars Rimmereid
Sted: HiBU Kongsberg
Dato: 19.05.2010

4.1.1. Hensikt

Hensikten med denne testen er å sjekke prototypen mot kravene som er gitt i kravspesifikasjonen. Disse krav er gitt fra kunden og er ufravikelig. Denne testen kjøres for å se om systemet oppfyller kontraktskravene og forventninger. Vil systemet fungere i praksis?

Det skal ikke endres på parametre i løpet av testen, denne testen er ment som en avsluttende test med de mest optimale parametre som vi har kommet fram til i løpet av testing og fintuning av prototype.

4.1.2. Gjennomføring

Pre-test/Smoke test

Det ble kjørt tre runder med fullastet isoporboks for å se om prototypen fungerte som forventet og for å kjøre en timeslang test mot kravspesifikasjon.

Etter at testen ble kjørt vise det seg at prototypen ikke fungerte. I første runde ble det registrert ti feilsinguleringer og to brekasjer. I andre runde gikk prosessen veldig tregt og etter hvert ble det full stopp, luftdysene fikk ikke separerte de øverste wafere. Grunnet mangel på vakuum fikk ikke løfteenheten mulighet til å ta med seg wafere. I tredje runde ble det registrert fem brekasjer, to feilsingulering og stopp på grunn av manglende vakuum.

Resultatene fra pre-testen ikke overkommelige. Alt for mange feilsinguleringer og brekkasjer. I tillegg hadde man en tilgjengelighet på 60%. Prototypen Variabel tydeligvis ikke klar for testing.

Prototypen ble analysert og alle mål ble dobbeltsjekket. Det skulle vise seg at luftdysen hadde en lekkasje som førte til at luften blåste feil. Isoleringsteipen som Variabel ment for å tette ubrukke dysehull Variabel ikke sterk nok til å opprettholde god tetning. Trykkluften hadde blåst ut på sidene av teipen og ødela den jevne luftstrømmen mot waferbunken. Ny isoleringsteip ble installert for å løse problemet. Luftdysen ble testet på nytt og separasjonen mellom de øverste wafere Variabel igjen vellyket.



Figur 18, Braketten som skal holde de øverste waferer på plass.

Det andre problemet Variabel det høye brekkasjeantallet. Brekkasjene i pre-testen skyltes braketten som skulle holde de øverste waferer på plass. Denne brakketen ble maskinert ut i løpet av modultesting og Variabel ikke grundig utprøvd.

Uten denne braketten oppstod det problemer med de første tre wafere i bunken svedde ut fra isoporesken, slik at de ikke lenger stod i ideell posisjon.

Den/de øverste waferen/waferene kunne være feilplassert og hvile på kanten av isoporboksen slik at når løfteenhet gikk ned for å ta tak i en wafer, hang waferen igjen på kanten og waferen/waferene ble bøyet slik at den knakk.

Temperatur

Temperaturen noteres ved start og slutt av testen.

Støy

Støymåling skal gjennomføres og noteres ned.

Feilplassering

Det skal monteres et millimetermåleverktøy på tvers av transportbåndet for å notere en eventuell feilplassering.

Tid

Tiden tas når start-knappen trykkes inn og stoppes på tidspunktet når siste wafer er lagt ned på transportbåndet. Palletten blir byttet manuelt og klokken startes igjen når start knappen trykkes inn igjen.

Når stopp på maskinen skjer, hvor en operatør må iverksette manuell betjening, blir denne tiden registrert som utilgjengelighet-tid. Hoved tiden stoppes ikke når en slik situasjon skjer.

Fra testspesifikasjonen er det et krav å teste minimum en time.

Viktige observasjoner

Det skal observeres at waferene kommer en og en på transportbåndet, altså singuleringsfunksjonen fungerer som den skal. Brekkasjen som oppstår noteres. Tidspunktet når disse hendelsene skjer noteres.

Tilgjengelighet

Tilgjengeligheten beregnes etter testen er kjørt ved bruk av totaltid og tiden systemet ikke Variabel tilgjengelig.

Syklustid

Syklustiden beregnes ut ifra antall kjørte produkter og hovedtiden.

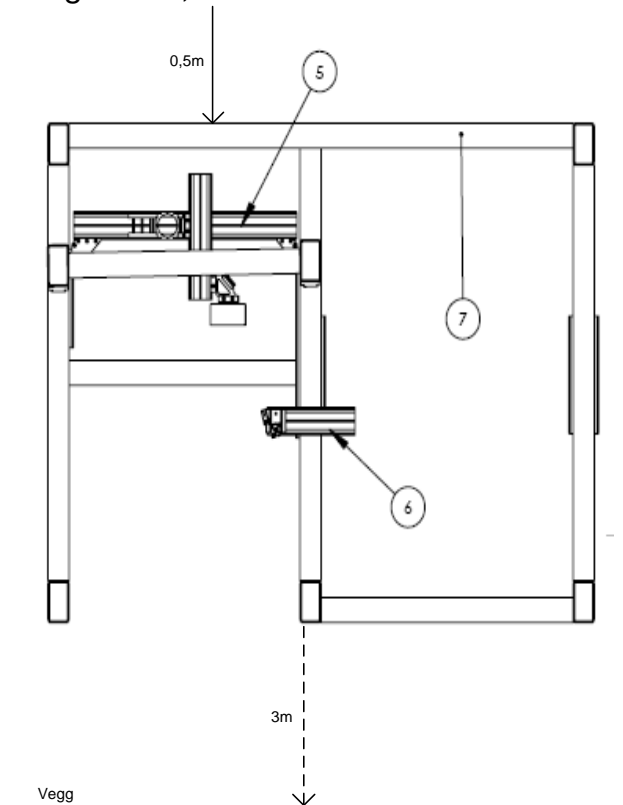
Dokumentasjon

Gjennom testen skal resultatene noteres i "Test dokumentet", se Appendiks A i Testspesifikasjonen. Etter gjennomført test skrives testprotokoll. Hele testens gjennomføring dokumenteres med videofilm opptak som skal medfølge som vedlegg på en CD.

4.1.3. Resultater

Støy

Db målingen viste 75,3db i en avstand på 0,5 meter unna prototyperammen. Målingen er 0,3db over kravet.



Figur 19, Avstanden til db måler og vegg i forhold til ramme.

En mer fornuftig gjennomføring av målingen er å gjøre den på framsiden av prototypen. Det er her en operatør ville vært tilstedet, grunnet plasseringen av komponentene og touch displayet. Problemet med å ta en db måling på framsiden er at vegg er nær, målingen ble utført på bakssiden.

Gruppe 2010-3
Tørrsingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller



Figur 20, Måling av DB-nivå. Gjennomsnittlig registrert DB-nivå er 75.3 DB.

Hvis en tar utgangspunkt i retningslinjene som er gitt av statens vegvesen for utføring av periodiske kjøretøy kontroll[1] skal db målingen utføres utendørs siden dette gir meget små akustisk forstyrrelse. Med tanke på prototypens plassering i forhold til veggen, vil dette ha en akustisk innvirkning på måleresultatet, derfor ble målingen gjort fra baksiden av prototypen for å minimalisere innvirkningen av veggen. Dermed kan resultatet variere litt ettersom dette ble testet i et rom med vegger som sto nærme målingen.

Temperatur



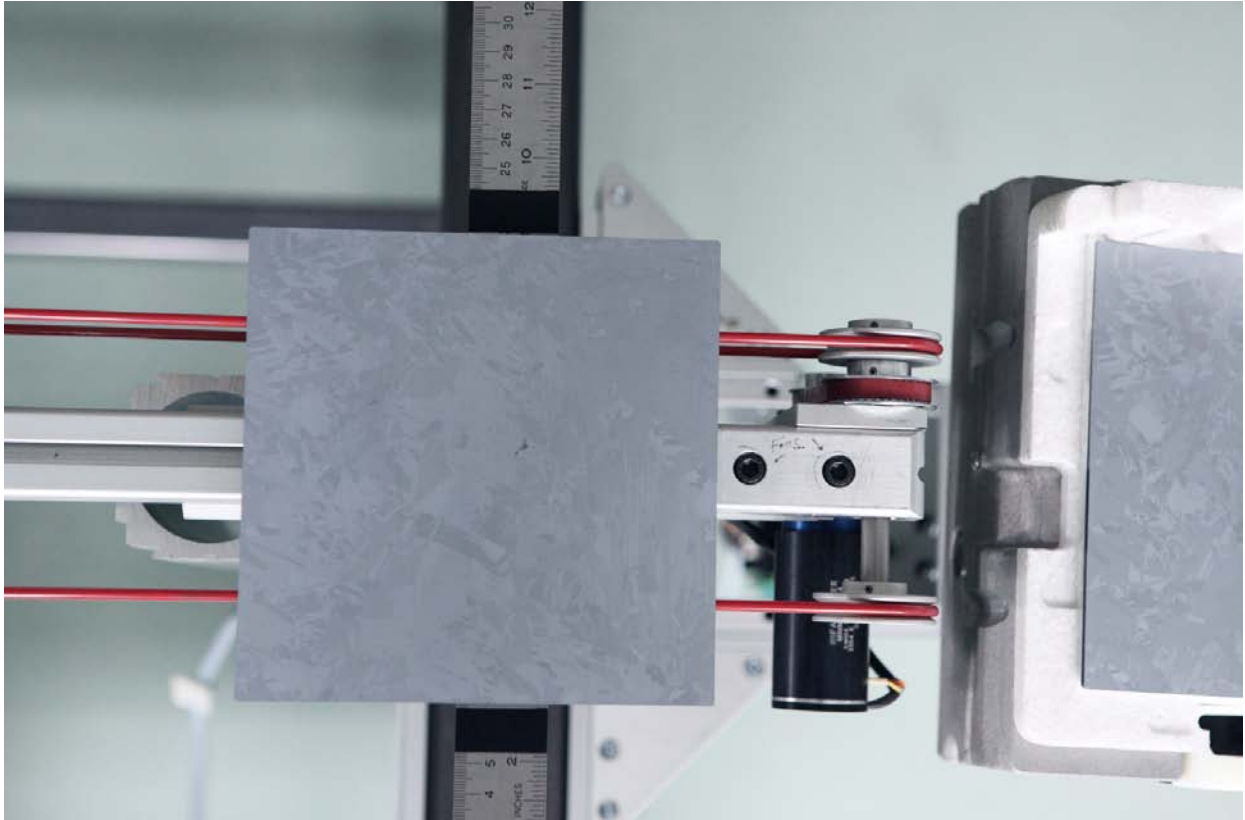
Figur 21, Viser temperatur og slutt-tiden.

Temperaturen ble målt til 20°C ved start og 22°C ved slutt. Dette er innenfor kravet som er $20^{\circ} \pm 5^{\circ}$.

Feilplassering

Prototypen holdt seg innenfor kravet om riktig plassering. For å beregne feilmarginen ble det lagt en linjal rett under båndet, hvor svart teip markerte 5mm, som Variabel maksimal akseptabel feilmargin. Waferen skulle altså ikke overskride denne markeringen.

Gruppe 2010-3
Tørrsingulering av Multikrystallinske -Si waferer/solceller



Figur 22, Plasseringen av waferen på transportbåndet.

Kravet om automatisering

Dette kravet ble ikke overholdt siden braketten ble frakoblet i løpet av gjennomføringen.

Testdokument, resultattabell

Tid (Timer/minutter/sekunder)	Hendelse	Beskrivelse	Palett nr	Utilgjengelighet (Timer/minutter/sekunde r)	Brekkasje
0:01:28	Stopp	Fikk ikke tak i wafer.	1	0:00:15	
0:01:59	Stopp	Stopp, papp hindret løft.	1	0:00:10	
0:02:51	Stopp	Stop, papp hindret løft.	1	0:00:30	
0:04:43	Stopp	Stopp, papp hindret løft.	1	0:00:23	
0:05:23	Stopp	Fikk ikke vakuum.	1	0:00:10	
0:09:00	Brekkasje	Brekkasje før sugekopper tok tak.	1		1
0:10:52	Stopp	Fjernet brakett	2	0:00:04	
0:21:42	Stopp	Mått stoppe pga. en brekkaskje som skjedde i innlastning av boksen på enden av transportbåndet.	4	0:00:28	1
0:22:52	Stopp	Ikke vakuum	4	0:00:10	
0:26:45	Feilsingulering, Dobbel pga. dragsug	For høy heis, dragsugeffekt på wafere som svever på luftpute.	5		
0:27:20	Feilsingulering, Dobbel pga. dragsug	For høy heis, dragsugeffekt på wafere som svever på luftpute.	5		
0:29:09	Feilsingulering, Dobbel pga. dragsug	For høy heis, dragsugeffekt på wafere som svever på luftpute.	5		
0:33:44	Feilsingulering,	For høy heis,	7		

Gruppe 2010-3

Tørssingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller

	Dobbel pga. dragsug	dragsugeffekt på wafere som svever på luftpute.			
0:34:21	Feilsingulering, Dobbel pga. dragsug	For høy heis, dragsugeffekt på wafere som svever på luftpute.	7		
0:36:02	Feilsingulering, Dobbel pga. dragsug	For høy heis, dragsugeffekt på wafere som svever på luftpute.	7		
0:48:49	Stopp	Greide ikke plukke den siste waferen, heisen ble nullstilt og løftet da den siste	10	0:00:18	
0:49:11	Stopp	Stopp grunnet feil påført av operatør.	11	0:00:29	
0:51:11	Brekkasje Stopp Dobbel	Brekkaskje før sugekopp tok tak. Tok dermed en dobbel singulering.[1]	11	0:00:30	2
0:54:30	Stopp	Tok ikke tak i siste wafer. Reset av heis.	11	0:00:37	

Tabell 5, Test av kravspesifikasjon, wafer

Total Kjøretid: 1:00:20.

Total Nedetid: 0:04:04

Antall Kjørte wafere: 2393

Antall stopp: 12.

Antall brekkasjer: 4.

Antall dobbeltsinguleringer: 7

[1]Her ble det observert en brekkasje av operatøren. I forsøket på å fjerne brekkasjen fra båndet kan operatøren ha skadet den underliggende waferen. Det er usikkerhet på om det Variabel en eller to brekkasjer. Ved nærmere granskning av opptaket av testen kan det ses at det kun er den øverste waferen som er ødelagt ved løftet. Det ble likevel valgt å ta med to brekkasjer.

4.1.4. Godkjenningsprotokoll

Godkjenningsprotokoll				
		OK	Ikke OK	Verdi
Syklustid		X		1.5sek/wafer.
Nominell syklustid (Uten nedetid)		X		1.4sek/wafer.
Brekkasje		X		4
Tilgjengelighet %			x	93.3%(95.8%*)
Temperatur		x		20-22°C

Tabell 6: Godkjenningsprotokoll test mot kravspec, wafere *Se tredje avsnitt av sammendrag av testen.

4.1.5. Sammendrag av testen:

I tidsrommet 0 til 5 min og 23 sek (se testdokument). Variabel det et problem med pappen som Variabel festet på kanten av braketten. Den berørte waferene i så stor grad at waferene ble holdt nede. De kunne ikke "flyte" fritt over bunken. Dette problemet ble løst med at braketten ble tatt bort fra paletten når de øverste waferene Variabel singulert.

Men tanke på at maskinen skal være 100% automatisert, ble ikke dette kravet tilfredsstillende, grunnet operatør som fysisk fjerner braketten i løpet av gjennomføringen.

Tilgjengeligheten kom akkurat under kravet. Dette er ikke kritisk, grunnet beregningene er gjort med all utilgjengelighet-tid gjennom hele testen (Gjelder ikke bytte av palett). Ved den første paletten hadde maskinen problemer med at wafere kom borti pappen. Etter at dette problemet ble løst, gikk maskinen med mindre stopp. Hadde det blitt kjørt en helt ny test ville dette problemet være løst. Derfor kan man se bort ifra denne tiden som til sammen er 1 minutt og 8 sekunder.

Det ble også gjort en feil av operatøren som kom borti transportbåndet slik at maskinen måtte stanses. Denne tiden Variabel på 29 sekunder.

Dette gir til sammen en tid på 1 minutt og 37 sekunder som kan trekkes ifra utilgjengelighetstiden og hovedtiden. Resultat på tilgjengeligheten er da 95.8%.

Ved kjøring av palett nummer 5 og 7 er det et mønster som gjentar seg, ved ca. den samme tiden i gjennomføringen skjer det en dobbeltsingulering. Ved å studere opptaket kan man se at luftdysen er for lav i forhold til bunken, grunnen til dette kan være at laseren brytes for sent og heisen stopper ikke i tide slik at paletten for en for høy posisjon. Dermed er posisjonen til waferbunken for høy og luften treffer for langt ned. Dette igjen resulterer i at det er for mange wafere som flyter på en luftpute.

Gruppe 2010-3
Tørresingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller



Figur 23: Bildet viser wafere som er separert av luften på toppen av bunken.

Den høye farten løfteenhet har kan føre til at wafere blir dratt med i dragsuget.



Figur 24: Optimal svev av wafere.

Lufttrykket treffer riktig, ca 6-8 wafere har luftpute mellom seg på toppen. Mindre fare for feilsingulering grunnet dragsugeffekt. Man ser også laser som en rød prikk på venstre side av bunken. Observasjonene viser at høyden på bunken er lavere enn normalt fra starten av når heisen resettes.

4.1.6. Konklusjon

Resultatene Variabel ikke i henhold til kravspesifikasjonen. Tilgjengeligheten, automatiseringskravet og støymålingene Variabel de kravene som ikke ble tilfredsstillt, men testen viser likevel at systemet har stort potensial. Det finnes forbedringspotensiale som kan gjennomføres for bedre resultatet.

For å opprettholde riktig høyde i hver gjennomføring, slik at luften får riktig utgangspunkt for hver gang kan løsningen være å montere en mer nøyaktig laser, og/eller endre oppsettet til laseren. Årsaken til dette kan være at laserens stråle reflekterer den blanke wafer kanten slik at den ikke registrerer et brudd på laserstrålen. Det skal nevnes at dette kun er en hypotetisk teori og at dette ikke finnes noen bekræftelse på dette.

Utformingen av braketten bør forbedres slik at den kan sitte på boksen i løpet av hele gjennomføringen. Denne forbedringa bør legge vekt på at braketten har glatte flater slik at waferne ikke henger fast i veggene. I tillegg bør den sørge for at det ikke er noen kanter waferne/cellene kan henge fast i, og at braketten dekker hele kanten av isoporesken. Dette vil gjøre prosessen 100 % automatisert.

Hastigheten på servoaksenen kan forbedres slik at syklustiden kan gå enda mer ned. På en annen side kan aksene gå med lavere hastighet og lengre vandring på løftehøyden slik at prosessen blir enda stabil. Singuleringssystemet kan eventuelt dupliseres for å øke syklustiden.

4.2. Test av Kravspesifikasjon, Solceller

Observatør:	Viggo Røneid
Medhjelper:	Tor Olav Sviggum
Referent:	Lars Rimmereid
Sted:	HiBU Kongsberg
Dato:	26.05.2010

4.2.1. Hensikt

Hensikten med denne testen er å sjekke prototypen mot kravene som er gitt i kravspesifikasjonen. Disse krav er gitt fra kunden og er ufravikelig. Denne testen kjøres for å se om systemet oppfyller kontraktskrav og forventninger. Vil systemet fungere i praksis?

Det skal ikke endres på parametre i løpet av testen, denne testen er ment som en avsluttende test med de mest optimale parametre som vi har kommet fram til i løpet av testing og fintuning av prototype.

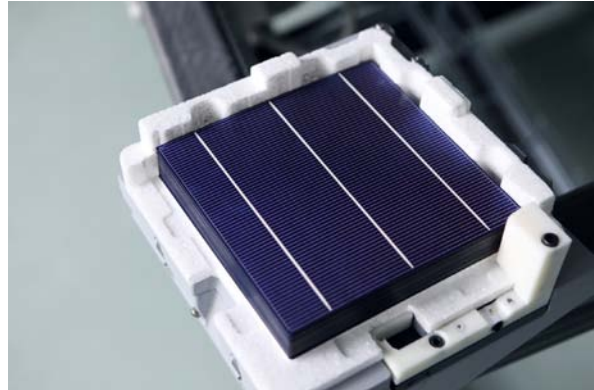
4.2.2. Gjennomføring

Pre-test/Smoke test

Solcellepakkene som prosjektgruppen er i besittelse med ble levert i pakker på 100 stykker, dette Variabel også det antallet som ble putt i isoporboksen. Ved test av wafere ble isoporboksen fylt opp til kanten med wafere. I denne testen ble ikke boksen fylt opp til kanten (se bilde) med solceller. Dermed Variabel ikke nødvendig å bruke brakketen som ble brukt i forrige test kravspesifikasjonen.

Det ble først kjørt åtte pretester, disse gikk overraskende bra. I løpet av disse testene ble det notert en dobbeltsingulering og to stopp. Stoppene kom fordi løfteenheten ikke klarte å løfte opp den siste cellen i isoporesken. I den niende pretesten ble det flere dobbeltsinguleringer og flere stopp. Det ble derfor gjort tre ny tester i samme resultat.

Det ble derfor kjørt en del tuningstester før selve testen ble kjørt, det ble klart at det Variabel unøyaktigheter i steppinga til heisen. Derfor ble luftdyseposisjonen forandret. Det ble også valgt andre luftdyse hull enn i forrige test av kravspesifikasjonen. Denne forandringa førte til at strømmen fra luftdyseboksen separerte flere celler. Dette førte til at øverste celle som ble separert lå høyere enn det øverste wafer lå når test av kravspesifikasjonen på wafere ble gjennomført. Det ble kjørt to pretester før selve testen ble kjørt, i disse Variabel det en dobbelsingulering og en stopp grunnet at løfteenheten ikke tok tak.



Figur 25 TV. Bildet viser full waferbunke ligger opp til kanten av isoporesken. TH. Bildet viser isoporboksen fylt med 100 solceller

Waferplatene har en tykkelse på 0,16mm, når disse blir til solceller øker tykkelsen til 0,18mm, i tillegg er platene stivere. For å få maskinen til å fungere med solceller ble steppingen på heisen endret og luftdyseboksen endret i forhold til innstillingene som Variabel beregnet for waferplater.

Temperatur

Temperaturen noteres ved start og slutt av testen.

Støy

Støymåling skal gjennomføres og noteres ned.

Feilplassering

Det skal monteres et millimetermåleverktøy på tvers av transportbåndet for å notere en eventuell feilplassering.

Tid

Tiden tas når start-knappen trykkes inn og stoppes på tidspunktet når siste wafer er lagt ned på transportbåndet. Palletten blir byttet manuelt og klokken startes igjen når start knappen trykkes inn igjen.

Når stopp på maskinen skjer, hvor en operatør må iverksette manuell betjening, blir denne tiden registrert som utilgjengelighet-tid. Hovedtiden stoppes ikke når en slik situasjon skjer.

Fra testspesifikasjonen er det et krav å teste minimum en time.

Viktige observasjoner

Det skal observeres at waferene kommer en og en på transportbåndet, altså singuleringsfunksjonen fungerer som den skal. Brekkasjen som oppstår noteres. Tidspunktet når disse hendelsene skjer noteres.

Tilgjengelighet

Tilgjengeligheten beregnes etter testen er kjørt ved bruk av totaltid og tiden systemet ikke Variabel tilgjengelig.

Syklustid

Syklustiden beregnes ut ifra antall kjørte produkter og hovedtiden.

4.2.3. Dokumentasjon

Gjennom testen skal resultatene noteres i "Test dokumentet", se Appendix A i Testspesifikasjonen. Etter gjennomført test skrives testprotokoll. Hele testens gjennomføring dokumenteres med videofilm opptak som skal medfølge som vedlegg på en CD.

4.2.4. Resultater

Støy

Det ble ikke tatt noen måling av lydnivået på denne testen.

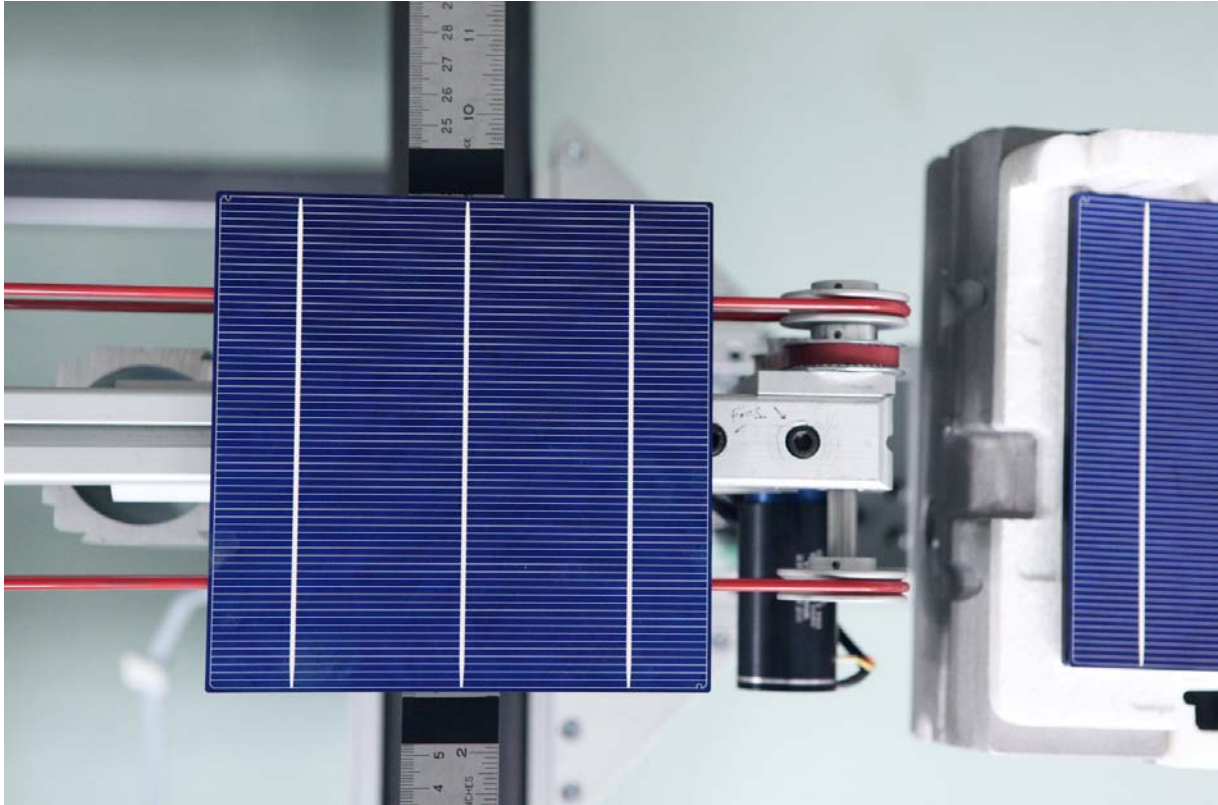
Temperatur

18,5°C

Feilplassering

Prototypen holdt seg innenfor kravet om riktig plassering.

Gruppe 2010-3
Tørrsingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller



Figur 26, Bildet viser plasseringen av solcellen på transportbåndet.

For å beregne feilmarginen ble det lagt en linjal rett under båndet, hvor svart teip markerte 5mm, som Variabel maksimal akseptabel feilmargin. Solcellen skulle altså ikke overskride denne markeringe.

Kravet om automatisering

Dette kravet ble overholdt.

Testdokument, resultattabell

Klokketime (Timer/minutter)	Tid (Timer/minutter/sekunder)	Hendelse	Beskrivelse	Palett nr	Utilgjengelig het (Timer/minutter/sekunder)	Brekkasje
08:52	00:00:00	Start				
	00:00:37	Dobbel singulering		1		
08:56	00:01:59	Bytte av palett		2		
	00:04:01	Stopp		2	00:00:27	
09:00	00:04:29	Bytte av palett		3		
	00:05:19	Dobbel singulering		3		
	00:05:21	Dobbel singulering		3		
	00:05:42	Dobbel singulering		3		
09:05	00:06:24	Bytte av palett		4		
	00:06:31	Dobbel singulering		4		
	00:06:40	Dobbel singulering		4		
	00:06:53	Trippel singulering		4		
09:08	00:08:20	Bytte av palett		5		
	00:08:55	Dobbel singulering		5		
09:13	00:10:19	Bytte av palett		6		
	00:12:29	Stopp	Fikk ikke vakuum	6	00:00:22	
09:19	00:12:40	Bytte av palett		7		
	00:12:46	Dobbel singulering		7		
	00:13:16	Dobbel singulering		7		

Gruppe 2010-3

Tørssingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller

	00:13:53	Dobbel singulering		7		
09:23	00:14:35	Bytte av palett		8		
	00:15:08	Stopp		8	00:00:23	
	00:15:11	Dobbel singulering		8		
	00:15:20	Dobbel singulering		8		
09:28	00:16:57	Bytte av palett		9		
	00:17:04	Tre dobbel singuleringer		9		
	00:18:58	Stopp	Ikke vakuum	9	00:00:20	
09:33	00:19:20	Bytte av palett		10		
	00:19:21	Dobbel singulering		10		
	00:19:23	Dobbel singulering		10		
	00:21:19	Stopp	Greide ikke å ta tak	10	00:00:21	
09:37	00:21:38	Bytte av palett		11		
	00:21:41	Dobbel singulering		11		
	00:21:43	Dobbel singulering		11		
	00:22:15	Dobbel singulering		11		
09:40	00:23:35	Bytte av palett		12		
	00:23:37	Dobbel singulering		12		
	00:23:43	Dobbel singulering		12		
	00:25:30	Stopp		12	00:00:19	
09:45	00:25:52	Bytte av palett		13		
09:43	00:28:09	Bytte av palett		14		
	00:28:19	Dobbel singulering		14		
	00:30:07	Stopp		14	00:00:19	
09:53	00:30:27	Bytte av palett		15		
	00:31:33	Stopp		15	00:01:10	
	00:33:23	Stopp		15	00:00:14	

Gruppe 2010-3

Tørrsingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller

10:00	00:33:42	Bytte av palett		16		
	00:34:15	Dobbel singulering		16		
	00:35:43	Stopp		16	00:00:19	
10:04	00:36:00	Bytte av palett		17		
	00:36:02	Dobbel singulering		17		
	00:37:57	Stopp		17		
10:11	00:38:21	Bytte av palett		18		
	00:39:36	Dobbel singulering		18		
	00:39:50	Stopp		18		
	00:40:22	2 stk. Tripple		18		
10:17	00:40:31	Bytte av palett		19		
	00:40:40	Stopp		19	00:00:19	
	00:41:00	Dobbel singulering		19		
	00:41:10	Dobbel singulering		19		
	00:41:34	Stopp	Stopp pga. operatør	19	00:01:16	
	00:42:56	Brekkasje		19		1
	00:43:40	Stopp		19	00:00:19	
	00:44:10	Dobbel singulering		19		
	00:44:19	Brekkasje		19		1
10:22	00:44:19	Bytte av palett		20		
	00:44:33	Dobbel singulering		20		
	00:44:44	Dobbel singulering		20		
	00:44:50	Trippel singulering		20		
	00:45:43	Stopp		20	00:00:36	
	00:46:24	Stopp		20	00:00:19	
	00:46:56	Dobbel singulering		20		
10:27	00:47:14	Bytte av palett		21		
	00:49:15	Stopp		21	00:00:19	

Gruppe 2010-3

Tørrsingulering av Multikrystallinske -Si wafere/solceller

10:32	00:49:33	Bytte av palett	22		
	00:49:47	Dobbel singulering	22		
	00:49:57	Dobbel singulering	22		
	00:50:03	Dobbel singulering	22		
	00:51:25	Stopp	22	00:00:14	
	00:51:39	Stopp	22	00:00:21	
	00:51:53	Dobbel singulering	22		
	00:51:58	Dobbel singulering	22		
	00:52:06	Dobbel singulering	22		
10:38	00:52:23	Bytte av palett	23		
	00:52:55	Dobbel singulering	23		
	00:54:20	Stopp	23		
10:43	00:54:41	Bytte av palett	24		
	00:56:04	Stopp	24	00:00:19	
	00:56:47	Dobbel singulering	24		
10:46	00:56:58	Bytte av palett	25		
	00:57:10	Stopp	25	00:00:19	
	00:58:58	Stopp	25	00:00:19	
10:50	00:59:16	Bytte av palett	26		
	00:59:16	Dobbel singulering	26		
	00:59:18	Dobbel singulering	26		
	01:00:44	Stopp	26	00:00:17	
	01:01:06	Dobbel singulering	26		
	01:01:07	Dobbel singulering	26		
10:53	01:01:30	Test ferdig	26		

Tabell 7, Resultattabell av systemtest

Total Kjøretid: 1:01:30.
 Total Nedetid: 0:09:11
 Antall Kjørte wafere: 2550
 Antall stopp: 26
 Antall brekkasjer: 2.
 Antall dobbeltsinguleringer: 44
 Antall trippelsinguleringer: 3

4.2.5. Godkjenningsprotokoll

		Godkjenningsprotokoll		
		OK	Ikke OK	Verdi
Syklustid		X		1.4sek/celle.
Nominell syklustid (Uten nedetid)				1.2sek/celle
Brekkasje		X		2
Tilgjengelighet %			x	85.1%
Temperatur		x		18-19°C

Tabell 8, Godkjenningsprotokoll fra test mot kravspesifikasjon

Sammendrag av testen:

Det viste seg at prototypen ikke oppførte seg slik som forventet. Grunnet tidsmangel, ble det bestemt å fullføre testen med gjeldende innstillinger. Dette for å avslutte arbeidet med testing slik at ressurser kunne frigjøres og brukes til å avslutte prosjektet.

En feil som gjentok seg Variabel at løfteenheten ikke greide å løfte opp de siste cellene i bunken, her Variabel luftdyseboksen for høy i forhold til cellebunken slik at ikke luften tok tak under cellen/cellene, dette resulterte i stopp av maskinen.

Det kom i stor grad dobbeltsinguleringer på båndet. Grunnen til dette Variabel at luften ikke singulerte de øverste solcellene tilstrekkelig.

4.2.6. Konklusjon

Resultatene fra denne testen oppfylte ikke kravene fra kravspesifikasjonen. Resultatene Variabel av denne grunn ikke tilfredsstillende. Hovedgrunnen til at testen ikke oppfylte kravene Variabel det store antallet med stopp. De fleste av disse Variabel resultat av at løfteenheten ikke klarte å løfte opp de to tre siste cellene i isoporesken. Dette førte til den lave oppetiden. Nede tiden som kom som et følge av at løfteenheten ikke klarte å ta tak i de 2-3 nederste waferne lå på ca 19 sekunder. På denne tiden måtte systemet stoppes, heisen og løfteenheten måtte resetes, heisen måtte så kalibreres på nytt, før systemet kunne starte igjen. En funksjon i sofwaren som automatisk gjorde dette, ville redusert nede tiden betraktelig. Det ble også 44 dobeltsinguleringer og 2 trippelsinguleringer. Disse singuleringene Variabel antagelig et resultat av at luftdyseboksen ble justert før testen. Justeringen ble gjort fordi det virket til å være ujevn stepping på heisen, som viste forskjellige høyder etter sluttkjørt bunke. Luftboksen ble derfor justert slik at luftstrømmen separerte mange celler i isoporesken. Det er grunnlag til å tro at ved videre finjustering av luftdyseboksen vil det være mulig å redusere antallet doble og triple singuleringer. Det bør også gjøres funksjonstest på heisen. Dette Variabel det ikke tid til på dette tidspunktet. Det Variabel få brekkasjer i testen. Syklustiden på singuleringen i denne testen Variabel innefor kravene til kravspesifikasjonen. Tatt i betraktning den relativt lave oppetiden er dette et godt resultat.