

# FERDIGSTILLING OG REDESIGN AV ADIGO TUBESTACKER

COMPLETMENT AND REDESIGN OF ADIGO TUBESTACKER.

TERJE BRANDSHAUG

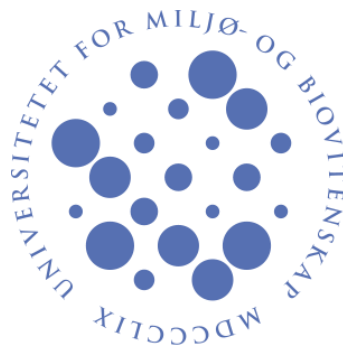
UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI  
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2012



# FERDIGSTILLING OG REDESIGN AV ADIGO TUBESTACKER

Av  
Terje Brandshaug



Mastergradsarbeid ved Universitetet for miljø- og biovitenskap,  
Institutt for matematiske realfag og teknologi  
Vårsemesteret 2012

## FORORD

Når jeg skulle velge masteroppgave var tanken min helt fra starten av at jeg ønsket å ta denne for en bedrift. Jeg anså det som gunstig å kunne skrive en oppgave som ga meg innsikt i hvordan man arbeider ute i arbeidslivet, i tillegg til at man arbeidet med en reell problemstilling som ville gi et håndfast resultat. Jeg så også at dette ville gi meg økt motivasjon og større læringsutbytte. Når jeg lette etter relevant masteroppgave, tok jeg kontakt med flere bedrifter. Jeg ønsket å kontakte relativt små bedrifter, da jeg ser på disse som mer gunstig med tanke på variasjon og bredde innen produktutvikling. I denne søkeprosessen kom jeg over Adigo, som virket som en bedrift som var ideell i forhold til hva jeg var på utkikk etter. De hadde stor bredde når det gjaldt produktene de utviklet og de hadde i tillegg stor variasjon i fagfeltene de arbeidet innenfor. Jeg sendte dem en e-post sommeren 2011 med en forespørsel om de hadde noen relevante oppgaver jeg kunne se på i min masteroppgave. Siv.ing. Anders Aker, daglig leder av bedriften, kalte meg inn til møte og ga meg informasjon om en mulig oppgave. Denne omhandlet andregenerasjons-utgaven av en maskin som skal stable ventilasjonsrør i paller. I det praktiske arbeidet med konstruksjonen kom jeg i kontakt med maskiningeniør Per Andersen som var hovedingeniøren på den forrige utgaven av maskinen. Vi jobbet tett sammen under hele perioden og fant i samråd løsninger på problemer som dukket opp underveis. Under byggingen av maskinen var vi i kontakt Thornæs Jern og metall AS, som hadde i oppgave å sammenstille enkeltkomponentene til maskinen. Vi satt sammen og testet maskinen på Almeq AS på Langhus, og den ferdige maskinen ble montert på Ventistål AS' lokaler på Vinterbro. I prosessen var vi i kontakt med mange flinke håndverkere som hjalp oss underveis. Under skriveprosessen fikk jeg mye hjelp og støtte fra mine medstudenter på lesesalen, i tillegg til at jeg fikk veiledning av flere ansatte på instituttet.

Disse ønsker jeg å rette en spesiell takk til: Førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for veiledning og hjelp under hele prosessen. Stipendiat Anders Myhr og førsteamanuensis Geir Terjesen for veiledning på utregninger og valg av løsningsmetoder. Alle mine medstudenter på TF 209. Alle gutta på verkstedet på Almeq AS for hjelp med sammenstilling av maskinen og generell hjelpsomhet. Daglig leder på Adigo AS siv.ing. Anders Aker for å gi meg muligheten til å skrive denne oppgaven. Jeg vil også takke ham for all den hjelpen han har gitt under hele prosessen. Maskingeniør Per Andersen for godt samarbeid og den uvurderlige innføringen han har gitt meg i praktisk maskinkonstruksjon.

Ås 15.05.2012

Terje Brandshaug

## SAMMENDRAG

I samarbeid med Adigo AS har jeg i denne oppgaven utviklet en ny versjon av deres maskin Adigo Tubestacker. Denne maskinen skal brukes til stabling av spiroproduerte ventilasjons rør på stell til videre lagring. Formålet er å lette arbeidet for operatøren av spiromaskinen, som normalt sett ville lagt rørene i stellene manuelt. Maskinen vil i tillegg øke produksjonsraten.

I denne oppgaven har jeg kartlagt maskinen og dens funksjoner som grunnlag for videre utvikling. Her avdekkes kritiske mål på maskinen og grunnlaget for dimensjonering ble utredet.

Det er blitt utviklet en tredimensjonal modell ut fra eksisterende tegningsgrunnlag. Denne modellen har blitt brukt for å kontrollere dimensjoner og for å vurdere maskinen med tanke på modularisering. Under dette arbeidet ble det avdekket og rettet på dimensjoneringsfeil.

I denne oppgaven er det gjort rede for dimensjonering av enkelte kritiske komponenter. Dette er blitt gjort på bakgrunn av resultatene som forelå etter kartleggingen av maskinen. Her har enkelte av de tiltenkte løsningene blitt erstattet med nye konsepter. De nye konseptene har blitt dimensjonert ved håndberegninger og analyser i SolidWorks.

Det har blitt utviklet en fungerende prototype som ble sammenstilt under oppgaveperioden. Det vil her bli gitt en oversikt over problemområdene som ble avdekket under selve byggingen og løsninger på disse. Oversikter over innkjøpte komponenter og samarbeidspartnere er presentert i dette kapittelet.

Det er foretatt en risikoanalyse av maskinen med tanke på en fremtidig CE merking. En kartlegging av farekilder og forslag til tiltak er utarbeidet. Ut fra resultatet av arbeidet ble det genererte nye sikkerhetsanordninger som ble implementert i prototypen.

Avslutningsvis er det foretatt en kritisk gjennomgang av maskinen som ble grunnlaget for redesignet av enkelte komponenter. Disse komponentene ble utviklet for å optimalisere maskinen ut fra økonomiske, tekniske og konstruksjonsmessige hensyn. Disse ble selektert på bakgrunn av seleksjons matriser og en ny modell ble utviklet.



## ABSTRACT

In collaboration with Adigo AS I have in this thesis developed a new version of their machine Adigo Tubestacker. This machine will be used for stacking spiro produced vent pipes on racks for further storage. The purpose is to reduce the manual labor for the operator of the spiro machine, who normally put the pipes in racks manually. The machine will also increase the production rate.

In this thesis I have mapped out the machine and its functions as a basis for further development. Hence revealing critical measurements of the machine which made the basis for further dimensioning.

Based on existing drawings CAD models have been designed. This model has been used to control the dimensions and to consider the machine in terms of modularization. During this work it was discovered and corrected the design errors.

The design of some critical components have been further examined in this thesis. This has been done on the basis of the results available after investigation of the machine. Some of the intended solutions were replaced with new concepts. The new concepts have been designed by hand calculations and analysis in SolidWorks.

During the exercise periode a working prototype was compiled. Problem areas uncovered during this work will be explained and solutions will be presented. Overviews of purchased components and partners are presented in this chapter.

A risk analysis of the machine has been made in terms of a future CE marking. A study of the hazards and proposed measures have been prepared. The product of this work resulted in new safety devices that were implemented in the prototype.

Finally, there has been a critical review of the machine that became the basis for the redesign of some components. These components were developed to optimize the machine based on economic, technical and structural considerations. These were selected on the basis of selection matrices and a new model was developed.

# INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD .....	III
SAMMENDRAG .....	IV
ABSTRACT .....	V
INNHOLDSFORTEGNELSE .....	VI
1 INNLEDNING .....	11
1.1. Bakgrunn .....	11
1.2 Problemstillinger .....	12
1.3 Oppdragsbeskrivelse .....	14
1.4 Prosesstrinn .....	14
2 PROSJEKTPLANLEGGING .....	16
2.1 Hovedmål.....	16
2.2 Delmål.....	16
2.3 Arbeidsplan.....	17
2.4 Begrensninger.....	18
3. TERMINOLOGI .....	19
3.1 Standarder og definisjoner .....	19
3.2 Symbolbruk og enheter .....	20
3.3 Generelle formler .....	23
3.4 Koordinatsystemet .....	25
4. KONSEPTUTREDNING .....	26
4.1 Tidligere arbeid med Adigo Tubestacker .....	26
4.2 Eksisterende konsepter og patentgranskning .....	26
4.3 Funksjonsbeskrivelse.....	29
4.3.1 Kravspesifikasjon .....	29

	Side:
4.4 Teknisk beskrivelse av Adigo Tubestacker. ....	32
4.4.1 Heisene.....	32
4.4.2 Overføring av rør og fallem .....	34
5 KONSEPTSEPESIFIKASJON.....	35
5.1 Dimensjonsgivende faktorer.....	35
5.2 Kartlegging av belastninger .....	37
5.3 Sikkerhetsfaktorer .....	44
5.4 Materialvalg.....	45
6. UTVIKLING AV 3D-KONSTRUKSJON.....	46
6.1 Overføre konstruksjonen fra 2D til 3D.....	46
6.2 Organisering av konstruksjonen og modularisering .....	48
6.3 Modularisering .....	52
6.4 Testelementer.....	53
6.5 Endringer på bakgrunn av konstruksjon i 3D .....	54
7 KRITISKE ELEMENTER .....	55
7.1 Utvalg av kritiske elementer.....	56
7.2 Vurdering av planlagte løsninger på kritiske elementer .....	58
7.2.1 Løpekattene .....	58
7.2.2 Innfesting av kjedehjul .....	62
7.2.3 Planlagt løsning på stabilitet til konstruksjonen.....	63
7.2.4 Planlagt løsning på kjedeinnfesting.....	64
7.3 konseptforslag til løpekattene .....	66
7.3.1 Konsept A .....	66
7.3.2 Konsept B .....	67
7.4 Konsept forslag til innfesting av kjedehjul .....	68
7.4.1Konsept A .....	68

	Side:
7.4.2 Konsept B .....	69
7.5 Konseptforslag til stabillieringselementer.....	70
7.5.1 Konsept A .....	70
7.5.2 Konsept B .....	72
7.5.3 Stabilisering mellom motorsøyle og søyle til stableramme.....	73
7.6 Konseptvalg. ....	74
7.7 Grunnlagsberegninger .....	76
7.7.1 Kartlegging av belastninger på løpekatter.....	76
7.7.2 Løpehjul .....	76
7.7.3 Hjulaksel .....	76
7.7.4 Utmatting av sveis i henhold til Det Norske Veritas.....	81
7.7.5 Resultater av fem analyser. ....	84
7.8 Kjedehjul på løpesøyle.....	86
7.8.1 Kjedehjulsaksel .....	86
7.8.2 Hullkant trykk i klassisk fasthetslære. ....	89
7.8.3 Fem analyse .....	89
7.9 Stabilitet til konstruksjon .....	93
7.9.1 Beregning på kritisk last på løpesøyle .....	94
8. PROTOTYPEBYGGING.....	97
8.1 Innkjøpsdeler .....	97
8.2 Samarbeidspartnere .....	98
8.3 Sammenstilling av maskinen.....	98
8.4 Valgte løsninger.....	102
9. RISIKOANALYSE .....	103
9.1 Grunnlag.....	103
9.1.1 CE-merking.....	103

	Side:
9.1.2 Direktivutvalg .....	103
9.1.4 Gjeldene krav .....	103
9.1.5 Behov for notifisert organ .....	104
9.1.6 Konformitet.....	104
9.2 Mekaniske farekilder .....	106
9.2.1 Fare for knusing .....	106
9.2.2 Fare for klipping .....	107
9.3 Farekilder fremkalt av støy.....	110
9.3.1 Fare for støy.....	110
9.4 Svikt ved maskin kan medføre fare .....	111
9.4.1 Maskinsvikt .....	111
9.5 EMC Direktivet .....	111
9.6 Dokumentasjon av maskinen .....	112
9.6.1 Dokumentasjon for gjeldene maskin .....	112
9.6.2 Dokumentasjon ved videre utvikling.....	112
9.7 CE-merking.....	112
10 REDESIGN OG OPTIMALISERING AV TUBESTACKER.....	113
10.1. Vurderingsgrunnlag.....	113
10.2 Utvalg av deler som skal optimaliseres.....	114
10.3 Søylar .....	114
10.3.2 Konstruksjons forslag til nye løpesøylar.....	115
10.3.3 Motorsøylar .....	117
10.3.4 Søyle for stableramme .....	119
10.4 Portalprofil.....	121
10.5 Mottaksbord .....	123
10.6 Stableramme.....	126

	Side:
10.7 Konseptseleksjon .....	130
10.7.1 Vekting av kriterier .....	130
10.7.2 Seleksjonsmatrise løpesøyer .....	131
10.7.3 Seleksjonsmatrise motorsøyle .....	131
10.7.4 Seleksjonsmatrise søyle for stableramme.....	131
10.7.5 Seleksjonsmatrise portalprofil .....	132
10.7.6 Seleksjonsmatrise mottaksbord .....	132
10.7.7 Seleksjonsmatrise stableramme .....	132
10.8 Resultater av seleksjonsmatrisen .....	132
10.8.1 Andre tiltak .....	133
10.9 Teknisk optimalisering .....	134
10.10 Økonomisk optimalisering .....	134
10.11 Beregninger på redesign.....	134
10.12 Konstruksjon av søyer.....	137
10.13 Kostnadsoversikt over redesignet av Tubestacker.....	138
11. PROSESSDISKUSJON.....	139
12. KONKLUSJON .....	141
12.1 Resultater og anbefalinger .....	141
12.2 Vider arbeid.....	143
13. LITERATURREFERANSER .....	144
VEDLEGG .....	146

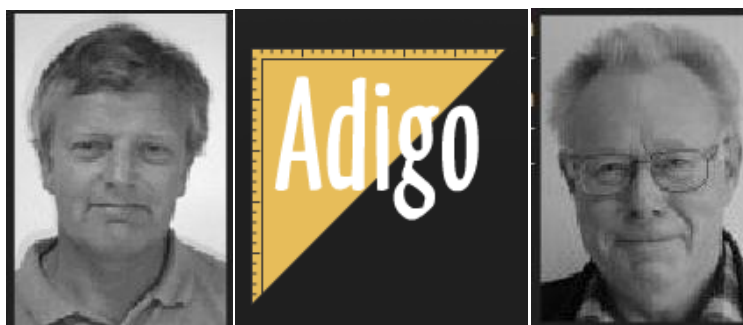


# 1 INNLEDNING

## 1.1. Bakgrunn

Adigo AS ble etablert i 1995 av Øyvind Overskeid og Anders Aker.

Selskapet er delt i to hovedseksjoner; den ene driver med salg og prosjektering av varmeteknikkløsninger og den andre driver med mekatronikk og industriell produktutvikling. Adigo omsetter for ca 22 millioner i året. De har et bredt nedslagsfelt og har blant annet produsert produkter rettet mot presisjonsjordbruk, offshoreindustri, industriell produksjon, teknisk medisinsk utstyr og forbrukere. Adigo bistår i alle ledd fra innovasjon, via prosjektering, til ferdig produkt. De er lokalisert på Oppegård og er per i dag 17 ansatte med kompetanse innen fagfeltene industridesign, maskinkonstruksjon, teknisk kybernetikk, informatikk og termodynamikk. Adigo AS har også et prototypverksted og pilotserieverksted med bl.a. CNC fres og rapid prototypingmaskiner som gjør veien fra ide til ferdig produkt svært kort, samtidig som alt kan foregå i samme lokale. Jeg kontaktet Adigo AS i juli 2011 og vi fikk avtalt møte i august. Det var flere oppgaver som kunne være aktuelle, men det var noen som var mer presserende enn andre. Etter noen møter kom vi fram til at jeg skulle se nærmere på en maskin som hadde som oppgave å stable spiroproduserte ventilasjonsrør i paller. Det eksisterer allerede en utgave av maskinen som er i drift på Ventistål AS' produksjonslokale på Bryn. Det er ønskelig å lage en forbedret utgave av denne maskinen som er enklere å produsere og som kan lages i enkle moduler. Det var allerede kjøpt inn mye materialer til den nye utgaven, og en presserende oppgave ville være å se på kritiske deler og konstruere disse. I denne oppgaven vil man være innom konstruksjon, design, redesign, styrkeberegninger, modultilpasset konstruksjon, utvikling av sikkerhetsdokumentasjon og CE-merking. I samarbeid med Adigo AS vil jeg i denne oppgaven se på de manglende delene i utviklingen av maskinen og videre se hvordan man kan optimalisere maskinen ytterligere.



*Figur 1.1 Siv.ing. Anders Aker(t.v.) som er ansvarlig for prosjektet og maskiningeniør Per Andersen(t.h) som var min læremester og samarbeidspartner under prosjektet.*

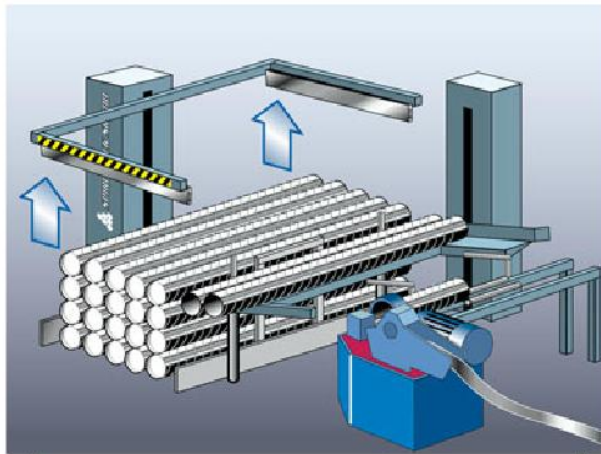
## 1.2 Problemstillinger

I produksjon av spiroproduserte ventilasjonsrør har det konvensjonelt vært en del av det manuelle arbeidet å legge ferdigproduserte rør på paller. Dette er en tidkrevende og fysisk belastende jobb man ønsker en løsning på.

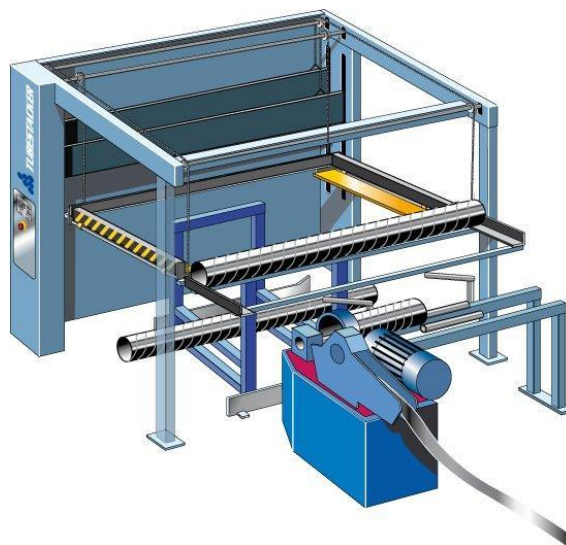
Med Adigo Tubestacker blir dette leddet automatisert og man kan lette arbeidsoppgaven for operatøren betraktelig. Man blir også i større grad frigjort til å utføre andre oppgaver i denne prosessen, som å finkutte endene på rørene og sette på plastlokk.

Den eksisterende utgaven av maskinen består nå av to separate heiser (figur 1.2.1. A). Det er ønskelig å forbedre denne konstruksjon slik at styringsenheter og motorer blir samlet i en enhet og samtidig øke stabiliteten på konstruksjonen (figur 1.2.1. B).

A)



B)



*Figur 1.2.1. Utkast tegninger. A) Maskinen slik den er i dag [23]. B) Utkast til hvordan maskinen er tenkt i utgave 2.[23]*

I utviklingen av den andre versjonen av Adigo Tubestacker er det flere problemstillinger som man må granske nærmere:

- I heisesystemet var det i utgangspunktet tenkt å bruke løpekatter tiltenkt garasjeportsystemer. Det viste seg at de ønskede modulene som skulle bli brukt i maskinen var gått ut av produksjon, og dermed er det nødvendig å se nærmere på dette. Man må avgjøre om man skal modifisere en utgave av allerede eksisterende løpekatt eller om man skal gå for en annen løsning.
- Konstruksjonen er tenkt å bestå av fire søyler som skal ha føreskiner til to heiser. Problemet som kan oppstå med disse er ustabilitet på grunn av høyden på søylene og på grunn av belastningene disse blir utsatt for. Derfor er det viktig å kartlegge stabiliteten til konstruksjonen og se hvilke tiltak som kan gjøres for å få denne mer stabil.
- Det er også ønskelig at jeg ser nærmere på andre kritiske elementer på konstruksjonen og ser om disse vil holde slik de er i dag, eller om de må endres.
- Maskinen er per i dag noe overdimensjonert, men dette er ikke nødvendigvis et problem, da man ønsker å selge et produkt som ser robust ut. Det er tenkt at man på sikt skal selge maskinen på et internasjonalt marked. Da vil en vektreduksjon være hensiktsmessig med tanke på transport. Dette vil jeg se nærmere på i redesign av konstruksjonen.

### 1.3 Oppdragsbeskrivelse

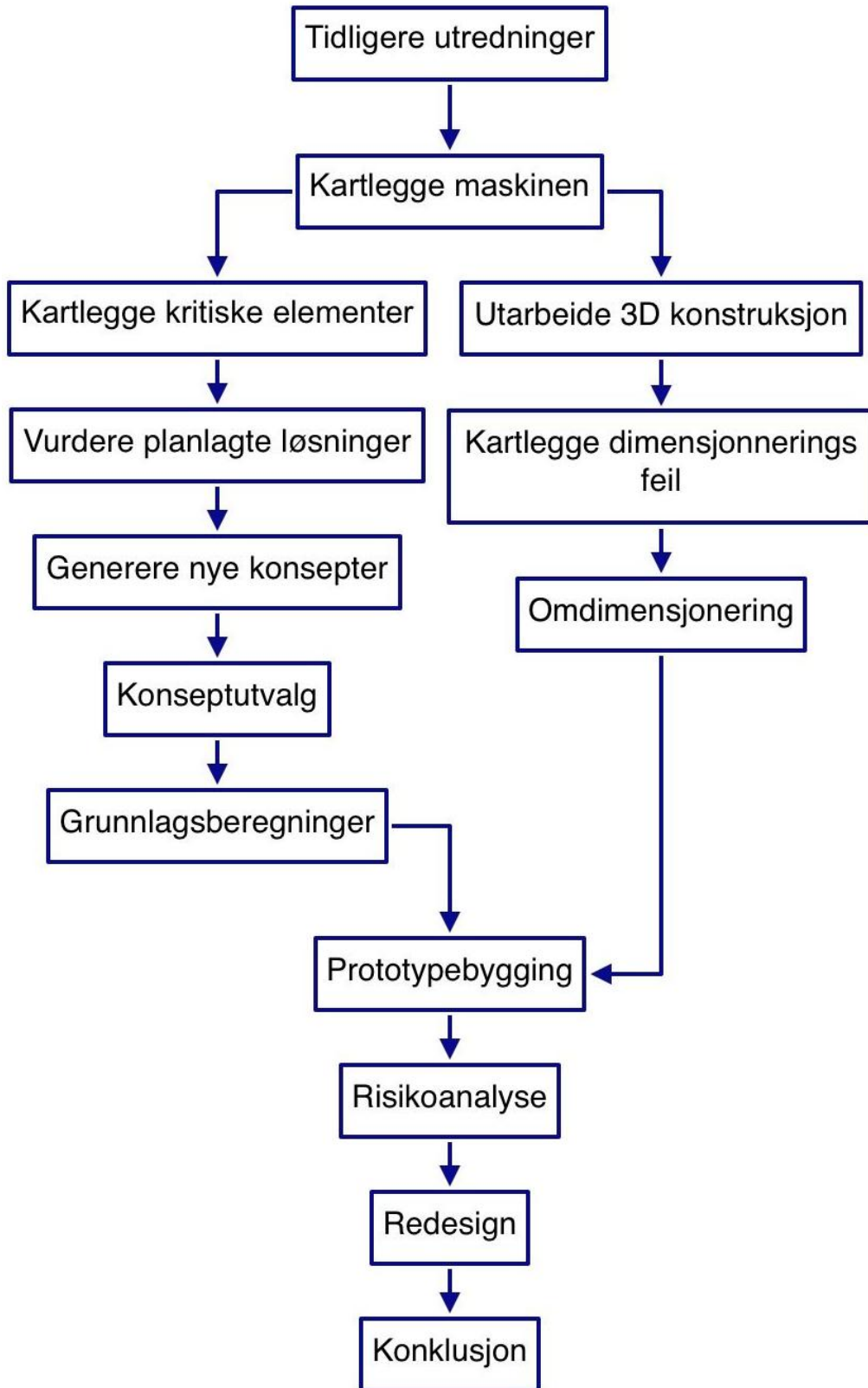
Bedriftens hovedønske med å få gjennomført prosjektarbeidet vil være å forenkle konstruksjonen, redusere materialbruken og lage maskinen i enkle moduler som er lette å sette i sammen. Dette vil bli gjort ved å konstruere og analysere maskinen i SolidWorks og ved håndberegninger. Et undermål er å ferdigstille den tiltenkte utgaven som allerede er under produksjon. Denne vil ikke gi særlig rom for forbedringer, da mye av materialene allerede er innkjøpt. Under dette sekundære målet vil det være aktuelt å se på de mest utsatte komponentene som løpekattene, kjedehjul på ytre ramme, innfesting av kjede og stabilitet til konstruksjonen. Det vil i denne fasen være nødvendig å konstruere maskinene i 3d slik at man kan kartlegge og beregne de enkelte komponentene.

I forbindelse med ferdigstilling av konstruksjonen er det også aktuelt å se på faremomenter slik at man kan lage et sikkerhetsdokument som tilfredstiller aktuelle direktiver for maskinen slik at man kan CE-merke den. Her vil det være nødvendig å utføre en risikoanalyse og videre utarbeide et dokument man kan vise til ved godkjenning av maskinen.

### 1.4 Prosesstrinn

Gjennomføringen av prosjektet vil bestå av fem hovedmomenter:

1. Se på tidligere utredninger som er foretatt av den første versjonen av maskinen og kartlegging av den andre versjonen.
2. Foreta beregninger på kritiske elementer og utarbeide en 3d-konstruksjon.
3. Bygging av prototyp.
4. Foreta en risikoanalyse og implementert sikkerhetslementer.
5. Redesign av maskinen med utarbeiding av ferdig rapport.



*Figur 1.5* Diagram over prosessen i utvikling av denne oppgaven.

## 2 PROSJEKTPLANLEGGING

Dette kapittelet vil redegjøre for hvilke målsettinger som er gjort for dette prosjektet og hvilke begrensninger man har satt.

### 2.1 Hovedmål

Følgende hovedmålsetting er definert for mastergradarbeidet:

”Å utvikle og konstruere en forbedret versjon av bedriften Adigos produkt Tubestacker. Reduksjon av materialbruk og utvikling av enkle delmoduler som forenkler sammenstillingen, er sentrale elementer i den overordnede målsettingen.”

### 2.2 Delmål

Følgende delmål inngår i arbeidet med å nå frem til hovedmålet for prosjektet:

1. Gjennomgå eksisterende produktspesifikasjoner, tegningsgrunnlag, produksjon og bruk av Tubestacker i samarbeid med Adigo.
2. Utvikle oppdaterte tegningsgrunnlag i SolidWorks på basis av Autocad-tegninger som allerede er utviklet.
3. Finne løsninger på enkelt komponenter det knytter seg usikkerhet til i denne konstruksjonen.
4. Foreta en risikoanalyse av maskinen for å finne hvilke sikkerhetstiltak som må implementeres. Dette fordi vi ønsker at maskinen skal fylle kravene for maskindirektivet i forhold til CE-merking av maskinen.
5. Redesigne elementer i konstruksjonen som ønskes forandret til neste versjon av maskinen.
6. Foreta enkle beregninger på kritiske elementer av redesignet.
7. Utforme prosjektrapport fra arbeidet. Rapporten skal inneholde:
  - Komplette analyse av tiltenkt maskin.
  - Fullstendig konstruksjon av andre utgave av Tubestacker i SolidWorks.
  - Konseptutvikling og beregninger av utvalgte kritiske.
  - Ferdig utarbeidet risikoanalyse og kartlegging av sikkerhetstiltak.
  - En komplett utarbeiding av konsepter til redesignet med seleksjonsmatriser.
  - Utrekning på kritisk del av redesignede elementer med fullstendige sammenstillingstegninger og ny modell i SolidWorks.



## 2.3 Arbeidsplan

*Tabell 2.3 Arbeidsplan for prosjektet*

Arbeidsoppgaver	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai
<b>Kartlegge maskin</b>									
<b>SolidWorks-konstruksjon</b>									
<b>Kartlegge og beregne kritiske komponenter</b>									
<b>Prototypebygging</b>									
<b>Test og montering på Ventistål AS</b>									
<b>Risikoanalyse</b>									
<b>Redesign</b>									
<b>Beregning på nye komponenter.</b>									
<b>Ferdigstille Rapport</b>									

Det som kommer til å beslaglegg mye tid under produksjonen av masteroppgaven, er utviklingen av SolidWorks-konstruksjon og prototypbygging. Dette er erfaringsmessig tidkrevende arbeid og vil bli jobbet med kontinuerlig under hele prosessen. Denne oppgaven ble skrevet over to semestre da prototypbyggingen medførte at jeg ble jobbende med sammenstillingen av maskinen fra november til februar. Jeg vurderte det som fornuftig å utsette innleveringen slik at jeg hadde en ferdigstilt maskin med erfaringene fra denne ved innlevering. Jeg har i tillegg hatt en annen jobb i denne perioden som gjorde det vanskelig å skrive masteren parallelt med prototypbyggingen. Enkelte deler av perioden har hatt lavere arbeidsintensitet og jeg har bevilget meg noen små friperioder.

## 2.4 Begrensninger

Det vil være nødvendig å sette enkelte begrensninger på denne oppgaven da dette er en relativt stor og kompleks maskin. Det som blir hovedmålet for denne oppgaven vil være å avdekke de tekniske løsningene og man vil nedprioritere dimensjoneringsbiten. Redesignet av maskinen vil bli gjort men ikke en fullstendig styrkeberegning av denne. Andre begrensninger i denne oppgaven er:

- Styringselektronikk med PLS, frekvensomformere og pulsgivere vil ikke bli gjennomgått i denne oppgaven, men en funksjonsoversikt vil bli produsert for å gjøre maskinen reproducerbar.
- Det vil ikke bli kartlagt noe om programmeringen av maskinen i denne oppgaven.
- Det vil ikke bli gått inn på valg av motorer og kraftberegninger av disse i denne oppgaven.
- Kjedehjul og valg av kjede vil ikke bli dimensjonert i denne oppgaven.
- En total stabilitetsanalyse til maskinen vil ikke bli gjort, men man vil heller ha en enkel betraktning av stabiliteten til det jeg anser som den svakeste søylen.
- Dimensjonering av portalprofiler, motveker, motorsøyle, søyle til stableramme, mottaksbord, stableramme og stabiliseringsramme vil bli lagt til videre arbeid.
- Det vil ikke blitt gjort rede for kostnadsbesparelser ved innføring av maskinen eller gjort rede for besparing ved redesignet.

## **3.TERMINOLOGI**

Dette kapitlet dekker sentrale begreper og terminologi som vil bli brukt i oppgaven. Kapitlet vil også redegjøre for hvilke formler som er brukt og hvilke standarder som ligger til grunn for utregningene.

### **3.1 Standarder og definisjoner**

I beregning av stålkonstruksjoner finnes det to typestandarder som er relevante. Eurocode 3 og Veritas sin standard for offshorekonstruksjoner. I tillegg har det i denne oppgaven blitt brukt beregninger etter konstruksjonselementerboka som er basert på klassisk fasthetslære. Eurokode 3 er en harmonisert standard som gjelder for konstruksjoner innen EU. Veritasstandarden er en verdensanerkjent standard spesielt når det kommer til utmatting, og jeg har brukt den til dette i oppgaven. Under forundersøkelsene ble det klart at maskinen ikke gikk under kategorien løfteutstyr, da man ville implementere sikkerhetsordninger som hindret persontilgang under heisdelen. Maskindirektivet er grunnlaget for å CE-merke maskinen. Jeg har valgt å benytte dette direktivet i utarbeiding av risikoanalysen i oppgaven. Ved videre arbeid på maskinen er det et poeng at vi ser nærmere på dimensjoneringen av hele konstruksjonen slik at vi kan henvise til enten eurokoden eller Veritasstandarden som dokumentasjon ved CE-merking.

## 3.2 Symbolbruk og enheter

Tabell 3.2.1 Symboler, betydning og enheter.

Symbol	Beskrivelse	Enhet
$l_l$	Avstand mellom løpekattene.	$mm$
$F_{kj}$	Kjedekraft.	$N$
$M_m$	Totale momentet på mottaksbordet.	$Nmm$
$F_l$	Kraften som løpekatten blir utsatt for.	$N$
$F_{lt}$	Kraft på løpekatt ved tomt bord.	$N$
$F_{lmaks}$	Den maksimale kraften løpekatten blir utsatt for.	$N$
$F_{l800}$	Kraften løpekatten blir utsatt for ved last av 800 mm rør.	$N$
$F_{l600}$	Kraften løpekatten blir utsatt for ved last av 600 mm rør.	$N$
$F_{khs}$	Resultantkraft på kjedehjul til stableramme.	$N$
$F_{khm}$	Resultantkraft på kjedehjul til mottaksbord.	$N$
$F_{lr}$	Vertikal og horisontal kraft på løpesøyle.	$N$
$F_{Rl}$	Resultantkraften på løpesøylen.	$N$
$l_{Xlr}$	Avstand fra ytterkant av løpesøyle og til angrepspunktet til resultantkraften.	$mm$
$l_{Ylr}$	Avstand fra toppen av løpesøyle og til angrepspunktet til resultantkraften.	$mm$
$l_{Zlr}$	Avstand fra senter av søyle til angrepspunktet	$mm$
$l_{bls}$	Lengde belastnings del av aksel	$mm$
$\sigma_{till}$	Tillat spenning.	$MPa$
$Rm$	Bruddgrensespenning til materialet.	$MPa$
$M_{lmaks}$	Maks moment på løpehjuls aksel.	$Nmm$
$\sigma_{ba}$	Bøyespenning på løpehjulsaksel.	$MPa$
$W$	Tverrsnittsmodulen.	$mm^3$
$D_l$	Diameter til løpehjulsaksel.	$mm$
$\gamma_f$	Lastfaktor.	
$\gamma_{M2}$	Materialfaktor.	
$\eta_{fr}$	Sikkerhetsfaktor	
$\beta_w$	Korrelasjonsfaktor.	
$\sigma_{bs}$	Bøyespenning på sveis.	$Mpa$

Tabell 3.2.1 Fortsetter.

Symbol	Beskrivelse	Enhet
$\sigma_d$	Dimensjonerende spenning.	MPa
$D_{ls}$	Diameter utfra aksel med tillegg av a-mål på sveis.	mm
$I_{s_l}$	Annet arealmomentet til sveisen på løpehjulaksel.	mm <sup>4</sup>
$y$	Avstand fra senter til ytterkant til a-målet.	mm
$\tau_{b_{s  }}$	Skjærkraften på sveisen pga bøyning.	MPa
$A_s$	Areal til sveis på løpehjulaksel.	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{s\perp}$	Bøyespenning normal.	MPa
$\tau_{s\perp}$	Skjærspenning normal.	Mpa
$\sigma_{jfs}$	Jevnførende spenning på sveisen.	MPa
$M_l$	Moment på løpehjulaksel.	Nmm
$\sigma_w$	Jevnførende spenning på sveis med tanke på sprekkdannelse ved utmatting.	MPa
$M_l$	Moment på løpehjulaksel	Nmm
$\sigma_{wmin}$	Minste jevnførende spenning på sveisen.	MPa
$\sigma_{wmaks}$	Største jevnførende spenning på sveisen.	MPa
$\Delta\sigma_w$	Spenningsvariasjonen.	MPa
$nl$	Antall belastninger per dag.	
$Nl$	Totalt antall sykluser før risiko for brudd.	
$M_{k_{hm}}$	Moment på kjedehjulakselen.	MPa
$\sigma_{lh_{till}}$	Tillat spenning på løpehjul	MPa
$\sigma_{bakh}$	Bøyespenning på kjedehjulaksel.	MPa
$W_{kh}$	Tverrsnittsmoduleen til kjedehjulaksel.	mm <sup>3</sup>
$D_{kh}$	Diameter til kjedehjulaksel.	mm
$t$	tykkelse på godset	mm
$Dh$	Diameter på hull	mm
$\sigma_h$	Hullkantspenning	MPa
$E$	E-modulen.	Mpa
$Fk_{till}$	Tillat kraft i med hensyn på utknekking.	N
$M_{ls}$	Moment på løpesøyle.	Nmm
$M_{flyt}$	Momentet søylen kan utsettes for før den går i flyt.	Nmm
$Fls_{kr}$	Kritisk sideveis belastning på løpesøyle	N

Tabell 3.2.1 Fortsetter.

Symbol	Beskrivelse	Enhet
$\Delta Fls_{kr}$	Endring i den kritiske sideveis belastningen	$N$
$Re$	Flytgrense til materialet.	$MPa$
$hls$	Høyde på løpesøyle fra forankring og opptil angrepspunkt.	$mm$
$hlssr$	Høyde på løpesøyle fra stabiliseringsramme og opp til angrepspunktet.	$mm$
$b_{ls}$	Bredde på løpesøyle.	$mm$
$d_{ls}$	Dybde på løpesøyle.	$mm$
$I_{ls2}$	Annet arealmoment på redesignet løpesøyle	$mm^4$
$w_{ls2}$	motstandsmomentet til søylen	$mm^3$
$I_{y_{UPN80}}$	Annet arealmomentet om y akse for en UPN 80 bjelke.	$mm^4$
$W_{UPN80}$	Tverrsnittsmodulen til en UPN 80 bjelke.	$mm^3$
$I_{y_{ls}}$	annet arealmomentet til løpesøylen.	$mm^4$
$Fls_{kr}$	Kritisk sideveis last på løpesøylen.	$MPa$
$I_{X_{upn80}}$	Annet arealmomentet til UPN 80 bjelke om x akse	$mm^4$
$I_{X_{ls}}$	Annet arealmoment til løpesøyle	$mm^4$



### 3.3 Generelle formler

Her henviser formel nummeret til hvilket kapittel og underkapittel formelen er brukt første gang.

Tabell 3.3.1 Formler ved kartlegging av belastninger.

Beskrivelse	Formel	Formel nr:
Kraft per løpekatt	$F_l = \frac{M_m}{l_l}$	5.2.1
Resultant kraft av to like store krefter som virker normalt på hverandre	$F_R = \sqrt{2F^2}$	5.2.2

Tabell 3.3.3 Beregninger i henhold til klassisk fasthetslære.

Beskrivelse	Formel	Formel nr:
Jevnt fordelt last.	$q_l = \frac{F_{lmaks}}{l_{bls}}$	7.7.1
Tillat spenning .	$\sigma_{till} = \frac{Rm}{\eta}$	7.7.2
Bøyespenning.	$\sigma_{ba} = \frac{M_{lmaks}}{W}$	7.7.3
Utregning av diameter ved utledning av bøyespennings formelen	$D_l = \sqrt[3]{\frac{M_{lmaks} * 32}{\pi * \sigma_{till}}}$	7.7.4
Tverrsnittsmodule av sirkulær profil.	$W = \frac{\pi * D_l^3}{32}$	
Hullkantspenning.	$\sigma_h = \frac{F_{khmaks}}{t * Dh}$	7.7.17

Tabell 3.3.4 Beregning av sveisen på løpehjulsakselen i henhold til eurokode.

Beskrivelse	Formel	Formel nr:
Dimensjonerende spenning.	$\sigma_d = \frac{Rm}{\gamma_{M2} * \beta_w}$	7.7.5
Yterdiameter til sveis	$D_{ls} = D_l + 2 * a - \text{mål}$	7.7.6
annet arealmoment til sveis.	$I_{sl} = \frac{\pi}{64} * (D_{ls}^4 - D_l^4)$	7.7.7
Avstand til spenningstopp sveis.	$y = \frac{D_l}{2} + a - \text{mål}$	7.7.8
Bøyespenning.	$\sigma_{bs} = \frac{M_{lmaks}}{I_{sl}} * y * \gamma_f$	7.7.9
Arealet til sveisen.	$A_{sl} = \pi(y^2 - D_l^2)$	7.7.10
Skjærspenning parallelt.	$\tau_{bsll} = \frac{F_{lmaks} * \gamma_f}{A_{sl}}$	7.7.11

Tabell 3.3.4 Fortsetter.

Beskrivelse	Formel	Formel nr:
<b>sigma normal = tau normal (i vårt tilfelle).</b>	$\sigma_{s_{\perp}} = \tau_{s_{\perp}} = \frac{\sigma_{bs}}{\sqrt{2}}$	7.7.12
<b>Jevnførende spenning i kilesveis.</b>	$\sigma_{jfs} = \sqrt{\sigma_{s_{\perp}}^2 + 3\tau_{s_{\perp}}^2 + 3\tau b_{sll}^2}$	7.7.13

Tabell 3.3.5 Utmatting av sveis i henhold til DNV sin standard for offshore konstruksjoner.

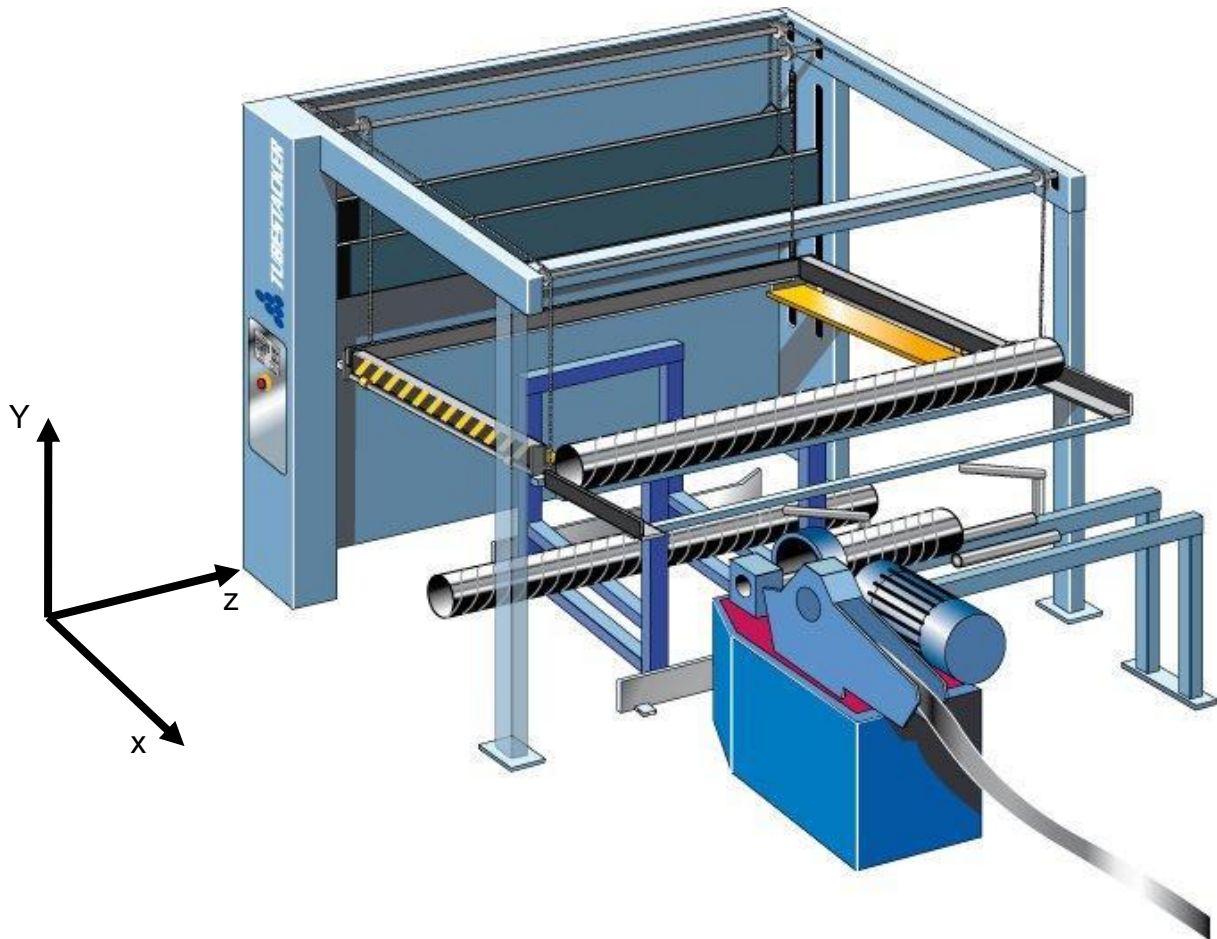
Beskrivelse	Formel	Formel nr:
<b>jevnførende spennig på kilesveis ved sprekkdannelse.</b>	$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{s_{\perp}}^2 + 3\tau_{s_{\perp}}^2 + 0,2\tau b_{sll}^2}$	7.7.14
<b>Utbøyning av bjelke.</b>	$\Delta\sigma_w = \sigma_{wmaks} - \sigma_{wmin}$	7.7.15
<b>Miner-Palmgren utregning .</b>	$\sum \frac{nl}{Nl} \leq 1$	7.7.16

Tabell 3.3.6 Utregning av kritisk sideveis belastning på løpesøylen.

Beskrivelse	Formel	Formel nr:
<b>Samtidig moment og vertikal belastning på søyle</b>	$\frac{F_{lr}}{Fk_{till}} + \frac{1,5 * M_{ls}}{M_{flyt}} \leq 1$	7.9.1
<b>Kritisk knekkekraft.</b>	$Fk = \frac{\pi^2 E * IX_{ls}}{l_k^2}$	7.9.2
<b>Tillat knekklast .</b>	$Fk_{till} = \frac{Fk_{ls}}{3}$	7.9.3
<b>Flytgrense til bjelken ved bøyning.</b>	$W_{ls} = \frac{IX_{ls}}{(d_{ls}/2)}$	7.9.4
<b>Maksimal overflate stress før flyt ved moment.</b>	$M_{flyt} = Re * W_{ls}$	7.9.5
<b>Moment på løpesøyle.</b>	$M_{ls} = F_{kr} * h$	7.9.6
<b>Maksimal kritisk kraft.</b>	$F_{lskr} = \left(1 - \frac{F_{lr}}{Fk_{till}}\right) * \frac{M_{flyt}}{1,5 * h}$	7.9.7
<b>Annet arealmoment på en rektangulær profil.</b>	$I_{ls2} = \frac{1}{12} * (b * d^3 - bi * di^3)$	10.11.1
<b>Tverrsnitts modulen til en rektangulær profil.</b>	$W_{ls2} = \frac{1}{6} * (b * d^2 - bi * di^2)$	10.11.2

### 3.4 Koordinatsystemet

I oppgaven vil det bli brukt følgende koordinatsystem ved angivelser av kraftretninger og målsetting:



*Figur 3.4 Koordinatsystemet som skal brukes videre i denne oppgaven.[23]*

## 4. KONSEPTUTREDNING

I dette kapitlet skal man lage en fullstendig kartlegging av maskinen og forarbeidet til denne. Dette innebærer fullstendig funksjonsbeskrivelse og teknisk beskrivelse som vil tydeliggjøre hvilke krav som er satt til maskinen og hvordan den oppfyller disse.

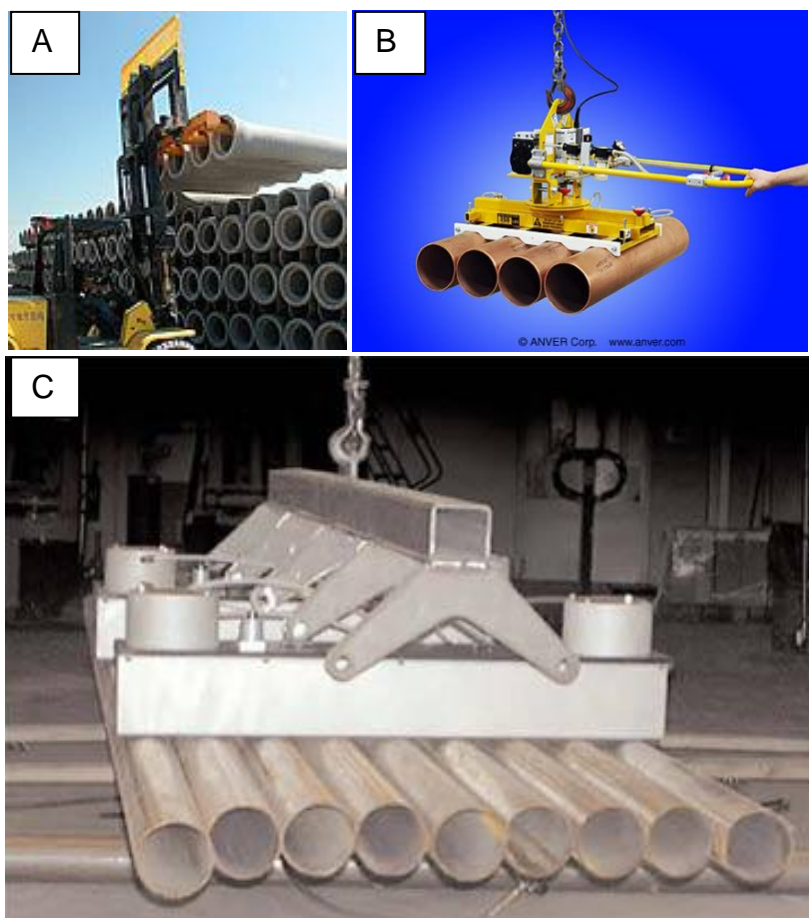
### 4.1 Tidligere arbeid med Adigo Tubestacker

Det eksisterer allerede en fungerende utgave av maskinen som nå står på Ventistål AS' fabrikklokaler på Bryn. Denne versjonen ble utviklet av Per Andersen og Anders Aker fra Adigo. I utviklingen av denne maskinen ble det kartlagt hvilke krav brukerne ønsket at maskinen skulle innfri, og ut fra dette ble flere konsepter utarbeidet. I den endelige løsningen baserte man seg på at rørene rullet nedover skinner. Da det knyttet seg usikkerhet til hvordan rørene ville rulle på grunn av rørenes spiralprofil, så man det nødvendig å ta en forundersøkelse hvor man utviklet en prøverigg for å kartlegge dette. Dette resulterte i en rapport som konkluderte med at spiralprofilen ikke hadde nevneverdig innvirkning på rørenes rullebane (vedlegg V). Dermed gikk man videre med konseptet og utarbeidet den endelige løsningen som nå står på Bryn. Den eksisterende løsningen har noe ustabilitet og man ble nødt til å lage portaler mellom de to motorsøylene til føring av kabler. Det er derfor ønskelig at man i den neste versjonen ser på mulighetene for å få bort ustabilitet og finne en bedre løsning på motordrift og styring av disse.

### 4.2 Eksisterende konsepter og patentgranskning

Det er allerede utarbeidet et konsept om hvordan den andre utgaven av Tubestacker skal være. Det er basert på de erfaringene man fikk etter den første versjonen. Dermed er den videre utviklingen begrenset rundt det utviklede konseptet, og store endringer vil ikke være hensiktsmessig fordi mange komponenter allerede er innkjøpt og produsert. Det er uansett interessant å se på hvilke konsepter som allerede er utviklet og undersøke om man kan bruke noe av dette i videre utviklingen av maskinen.

Stabling og transport av sirkulære elementer har det blitt spekulert mye i. Alt fra tømmerhogst til oljedrilling er avhengig av at man finner fornuftige måter å stable elementene på. Transportbånd, vakuumløftere og magneter er noen av de mange løsningene på dette. Kravet til hurtighet og vern mot støt gjør at mange av disse konseptene ikke kan overføres direkte til vår maskin. Men enkeltelementer i noen av konseptene kan være interessante å se på i den videre utviklingen av prosjektet. En annen faktor som gjør at man ikke finner eksisterende løsninger man kan bruke direkte i denne sammenhengen er samhandlingen med spirorørmaskinen og stellene.



*Figur 4.2.1 Ulike løsninger for forflytning av rør. A) Gaffeltruck med flere gaffer [22]. B) Vakuumløfter [20]. C) Magnetløfter [25].*

I forarbeidet til den første maskinen ble det kartlagt mulighetene for å patentere maskinen (vedlegg VI). Under dette arbeidet kom man fram til at det allerede finnes stablemaskiner som var like, men med en litt annen funksjon. Det at denne maskinen er såpass enkel både i konstruksjon og funksjon gjør at man i patenteringsøyemed ikke anser den til å ha stor oppfinnerhøyde, noe som vanskeliggjør patenteringen.[9] Det ble dermed konkludert at man ikke ønsket å jobbe videre med patenteringen av denne maskinen.





## 4.3 Funksjonsbeskrivelse

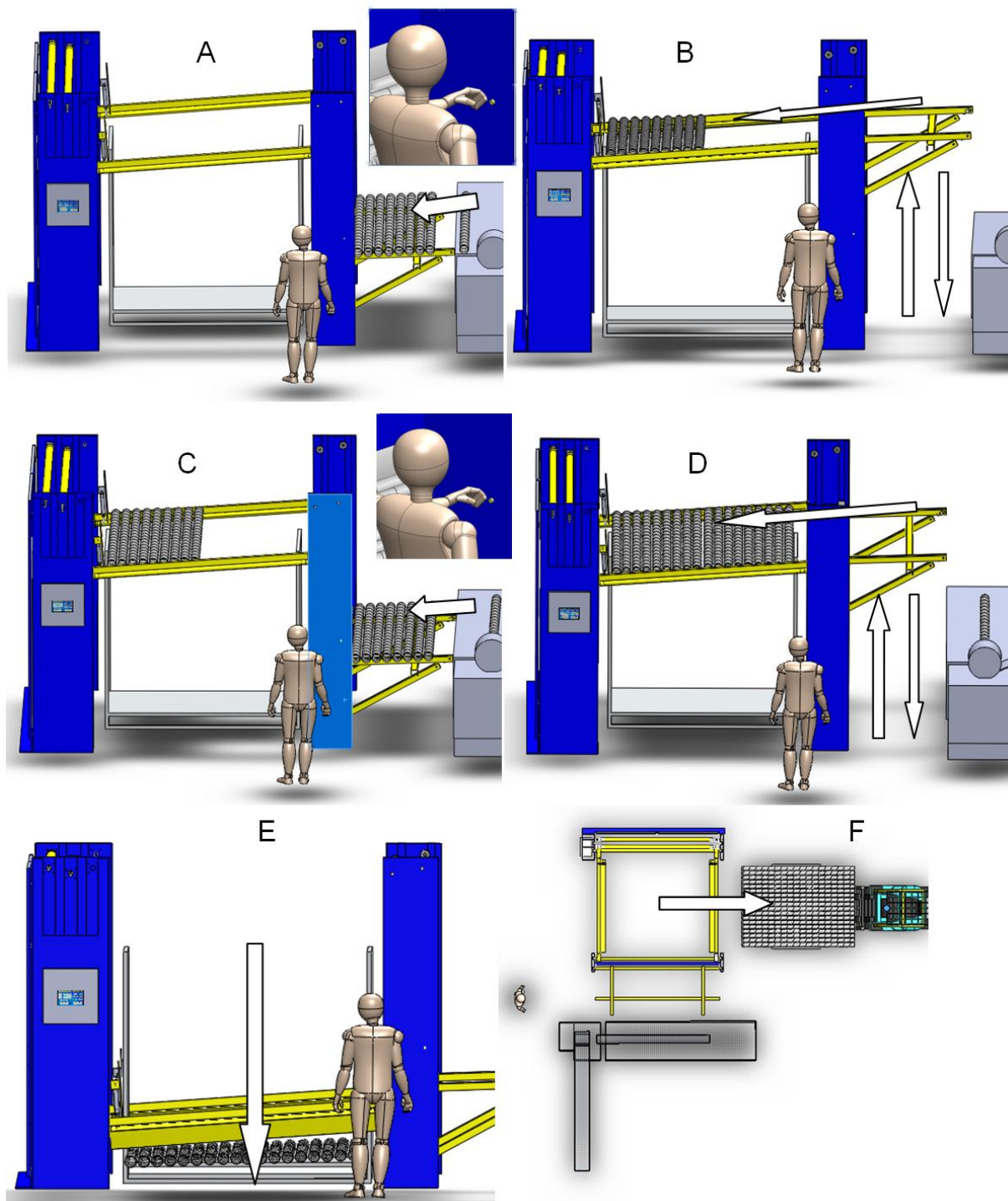
Denne maskinen er et samarbeid mellom Ventistål AS og Adigo AS. I utviklingen av maskinen ble det kartlagt hvilke funksjoner Ventistål ønsket at maskinen skulle inneha.

### 4.3.1 Kravspesifikasjon

De krav som er satt til maskinen er et resultat av diskusjon med kunde og egenervering av produktet.

- Rørhåndtering : Maskinen skal kunne legge rør sentrert nedi stell slik at det ikke blir ubalanse ved transport. Den skal kunne stable rørene i stellene på en skånsom måte slik at rørene ikke får skade.
- Automatisering : Maskinen skal virke sammen med spiromaskinen og kunne telle rørene som produseres og stable dem i stellene fortløpende. Det er ønskelig at begge maskinene skal gå automatisk slik at operatøren er fristilt til å gjøre andre oppgaver.
- Maskindrift: Heising og stabling av rør skal gå jevnt uten ustabilitet i konstruksjonen og løftedeler.
- Transport og montering : Maskinen skal bestå av moduler som enkelt kan fraktes til produksjonslokalet og monteres. Monteringens bør kunne foretas med enkle verktøy og med løfteutstyr det er rimelig å anta at et produksjonslokale har.
- Byggelementer: Maskinen skal så langt det lar seg gjøre bli sammensatt av standard stålprofiler og ferdigproduserte innkjøpsdeler for å holde kostnadene nede.

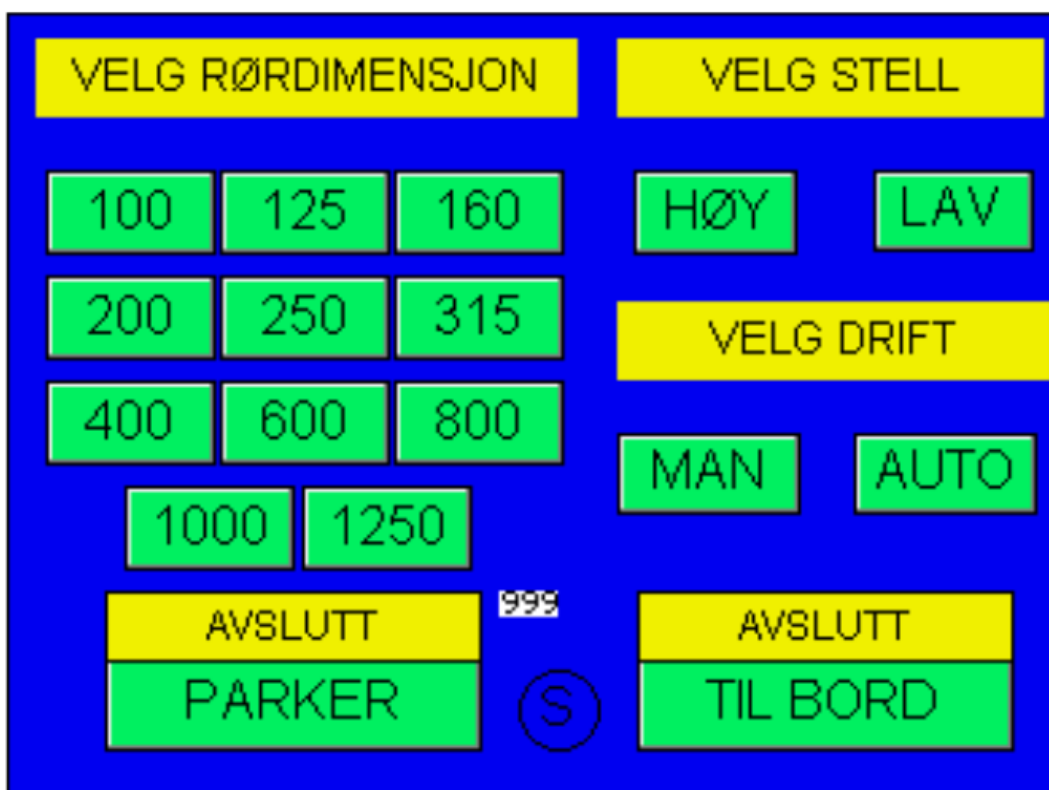
Adigo Tubestacker er en maskin som skal legge ferdigproduserte spirorør i stell for videre lagring. Disse stellene har sidevegger som kan være opptil 2100 mm høye, noe som vil kreve et høyt løft før rørene legges ned. Det er ønskelig at maskinen som legger ned rørene ikke tar opp for stor grunnflate og at operatøren enkelt kan styre maskinen. Det er også ønskelig at maskinen fortløpende teller rørene som blir produsert og legger disse lagvis i pallene slik at man får maksimal utnyttelse av pallene ut fra størrelsen på rørene.



*Figur 4.3.1 Produksjonssyklus ved manuell kjøring og høyt stell*

A) Mottaksbordet fylles med en halv stellbredde med rør. B) Ved innpressing av knappen går mottaksbordet opp til stablerammen og rørene ruller over. Mottaksbordet går ned til utgangsposisjon igjen. C) Mottaksbordet fylles med neste stellbredde rør. D) Ved trykk på knapp går mottaksbordet opp og stablerammen fylles opp. E) Stablerammen går ned og slipper rørene i stellet. F) Når stellet er fylt opp går maskinen i parkert stilling og stellet med ferdige rør kan kjøres ut med gaffeltruck.

Maskinen blir styrt av en programmerbar logisk styring (PLS) som betjenes via en trykkfølsom skjerm (figur 4.3.2). Her er det ønskelig at betjeningen er enklest mulig slik at operatøren raskt kan sette i gang ønsket funksjon på maskinene. Ved manuell kjøring teller operatøren selv rørene som skal legges ned i stellet og velger selv når maskinen skal heises opp og overføre rørene fra mottaksrampen til stableramme. Ved automatisk kjøring velger man først rørdimensjon, deretter teller maskinen rørene selv ved hjelp av en induktiv giver montert på spiromaskinen. Man kan da la spiromaskinen produsere rør og la heisen legge rørene i pallen fortløpende. Videre velger man om det er høyt eller lavt stell. Dette angir hvor høyt den indre og ytre heisen skal gå før rørene overføres.

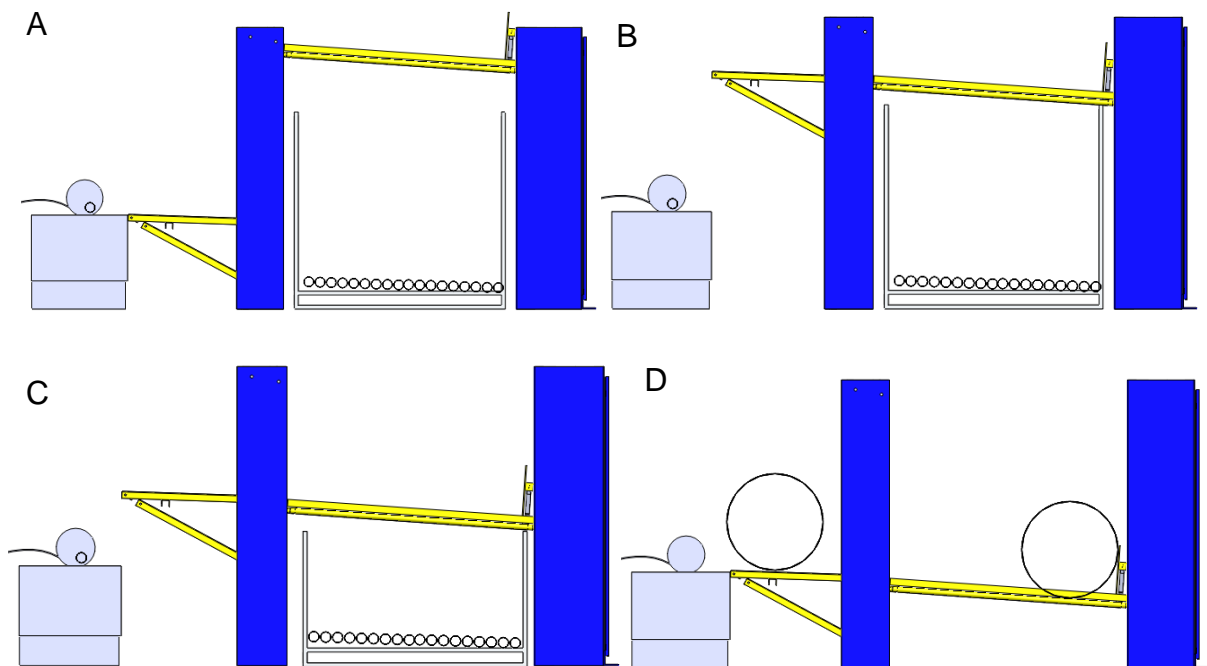


*Figur 4.3.2 Displayet til styring av PLS. Her ser man at man velger rørdiameter, høyde på stell, manuell eller automatisk kjøring. Parker angir at heisen går til høyeste posisjon slik at gaffeltrucken kan ta ut stellet. Knappen "Til bord" angir at maskinen går til posisjonen hvor man overfører rørene. Denne posisjonen er da avhengig av om man har valgt høyt eller lavt stell.*

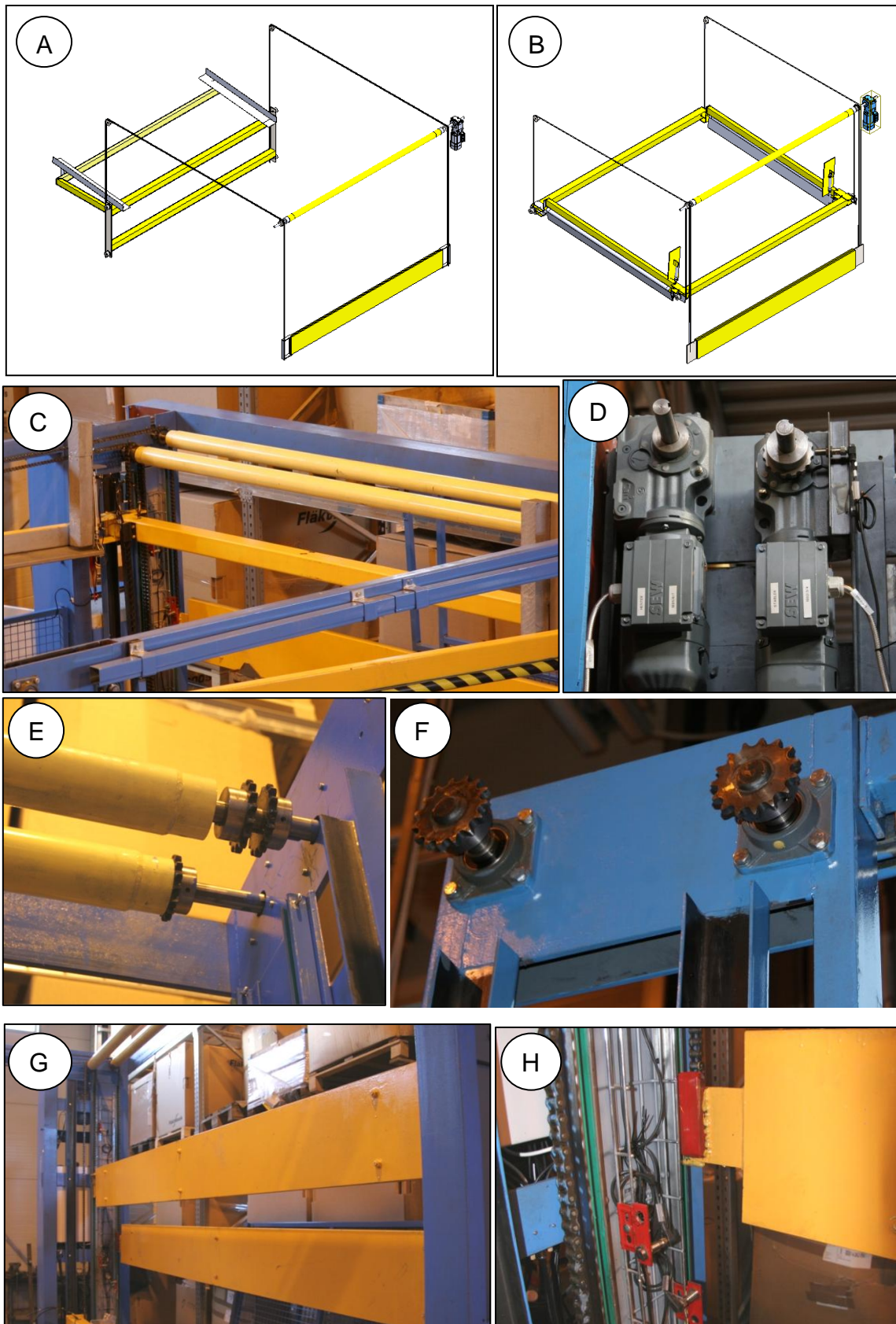
## 4.4 Teknisk beskrivelse av Adigo Tubestacker.

### 4.4.1 Heisene

Denne maskinen består av to heiser, mottaksbord (figur 4.4.2 A) som tar imot spirorørene fra spiromaskinen og stableramme (figur 4.4.2. B) som legger rørene ned i pallen. Disse blir løftet ved hjelp av kjeder som blir drevet av en elektromotorer fra Sew Eurodrive (Figur 4.4.2. D). I andre enden av kjedet er det en motvekt som sørger for at belastningen på motoren blir minst mulig (figur 4.4.2. G). Styring av disse heisene skjer via en programmerbar logisk styring (PLS) som får signaler fra induktive givere som er plassert langs føringene til motvektene, samt en teller ved motoren (figur 4.4.2. D, G, og H). Posisjoneringen av givere angir stopposisjonene til heisen. Begge heisene har tre faste posisjoner som er angitt i (figur 4.4.1). Ytre heis blir løftet av to kjeder og indre heis av fire. Det er en motor dedikert for hver heis og kraftoverføringen skjer ved hjelp av bommer med kjedehjul i hver ende. Det er valgt et rør med relativt stor diameter på bommen for å unngå torsjonsvridning som vil føre til at kjedehjulene får ulike vinkler ved ulike belastninger (figur 4.4.2. E)



*Figur 4.4.1. Faste posisjoner til heisene. A) Ytre heis i posisjon ved spiromaskin og indre heis i parkert posisjon. B) Indre og ytre heis i overføringsposisjon for høyt stell. C) Indre og ytre heis overføringsposisjon for lavt stell. D) Indre og ytre heis i posisjon for statisk bruk av maskinen ved store rørdimensjoner.*

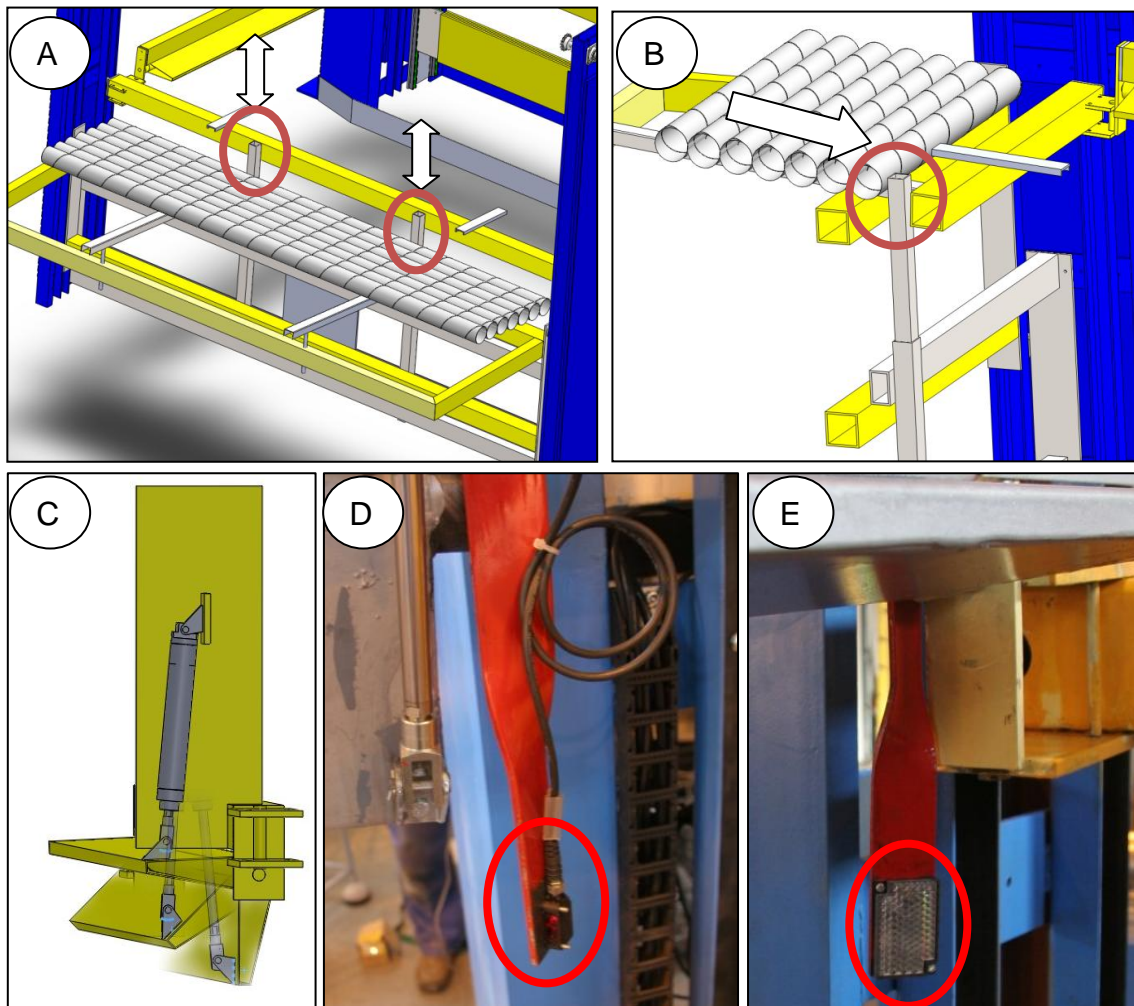


*Figur 4.4.2 A) Oversikts tegning ytre heis. B) Oversikts tegning indre heis. C) Bom til kjedehjul. D) Motorer som driver kjedene. E) Kjedehjul på bom. F) Kjedehjul på ytre heis. G) Motvekter. H) Induktive givere og flagg på motvekter.*



#### 4.4.2 Overføring av rør og falllem

Da mottaksbordet skal samle opp et halvt stell med rør før de overføres til stablerammen, må man ha en stoppefunksjon mellom mottaksbordet og stableramme. Det er her valgt å sette inn to vertikalgående teleskoprør mellom stablerammen og mottaksbordet. (Figur 4.4.2 A, B) Dermed kan man sette røret i høy eller lav posisjon avhengig av om man har høyt eller lavt stell. Stablerammen har montert to stoppeklosser som skal stoppe rørene uten å lage merker i dem. Når heisen er full går den ned og slipper rørene ned i stellet. Dette skjer ved at to optiske stråler, som går i kryss under heisen, detekterer om det er noe under heisen. Når den optiske strålen blir brutt åpner fallemmene seg og slipper rørene ned. (Figur 4.4.2 C, D og E) Heisen går da tilbake til posisjon for mottak av neste legg med rør. Når stellet er fullt og den optiske sensoren blir brutt nær mottaksposisjonen går indre heis opp til parkert posisjon. Grunnen til at de optiske strålene går i kryss er for å detektere rør selv om de skulle legge seg skjevt i stellet.



*Figur 4.4.3 A) Teleskoprør mellom indre og ytre heis. B) Rørene må over teleskoprørene før de ruller over til stablerammen. C) Pneumatisk stempel på falllem. D) Optisk sensor. E) Speil til optisk sensor. (Foto: Terje Brandshaug)*

## 5 KONSEPTSEPEKASJON

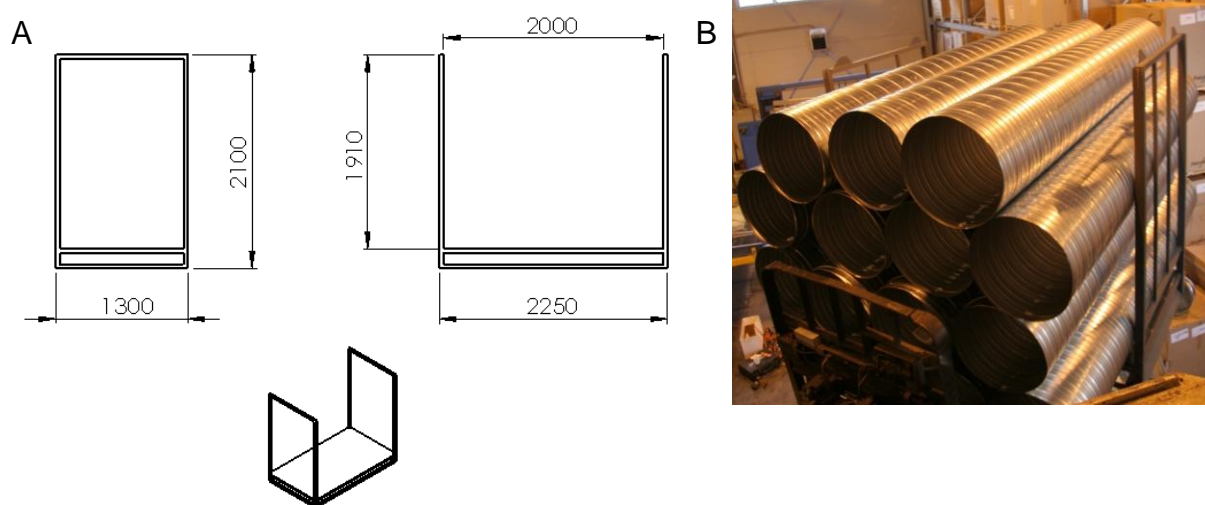
I dette kapitlet redegjøres det for dimensjoner og belastninger på maskinen.

### 5.1 Dimensjonsgivende faktorer.

Maskinen vil være knyttet opp til spirorørmaskinen og tar imot rørene fortløpende fra denne. Det vil i all hovedsak være stellene til rørene og rørdiameter og lengde som vil være anslagsgivende for dimensjonen på maskinen. Det finnes to standard stell som blir brukt, henholdsvis høyt og lavt stell. Rørenes dimensjon er gitt i tabell 5.1.2

*Tabell 5.1.1 Dimensjonsgivende størrelser til maskinen.*

Komponent	Dimensjoner
Høyt stell	D1300 B2250 H 2100
Lavt stell	D1300 B2250 H1360
Rør	Ø100-1250 L3000 og L2500



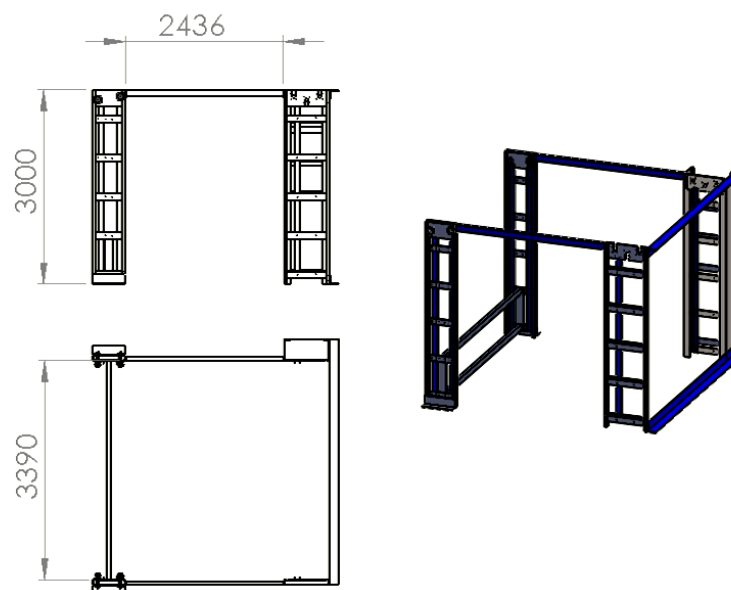
*Figur 5.1.1 A) Dimensjoner på høyt stell. B) Rør i høyt stell. (Foto: Terje Brandshaug)*

*Tabell 5.1.2 Beregning av vekt av rør på en full rad i stell.*

Beregning av belastning på løftekonstruksjonen				
Diameter	Antall i stell	Vekt pr 3m (kg)	Vekt per rad stableramme(N)	vekt per rad mottaksbord (N)
100	20	4,2	824	412
125	16	5,1	804	402
160	13	6,8	863	431
200	10	9,9	971	485
250	8	12,3	961	480
315	7	15,6	1069	534
400	4	26,4	1039	519
500	4	33	1294	648
630	3	42	1236	618
800	3	54	1589	794
1000	2	83,1	1628	814
1250	2	99	1942	971

Det produseres spirorør fra 100-1250 mm i diameter og med lengder på 2500 mm og 3000 mm. Vi ser her at maksimumslasten blir på 198 kg på stableramme og 99 kg på mottaksbordet. Ut fra dette kan vi sette dimensjonen på konstruksjonen.

I dimensjoneringen tar vi her også hensyn til hva som er normal kapplengde på innkjøpt materiale.



**Figur 5.1.2** Dimensjoner på den statiske konstruksjonen. (Avstanden her er gitt i mm)



Tabell 5.1.3 Oversikt over dimensjoner på statisk konstruksjon.

Komponenter	Minimums dimensjon	Valgt dimensjon
<b>Søylar</b>	2500mm	3000mm
<b>Bom mellom indre og ytre del</b>	2250mm	2436mm
<b>Bredden mellom søylar</b>	3120mm	3390mm

Mottaksbord og stableramme blir dimensjonert ut fra rørene og stellene. Vi vet at mottaksbordet skal ta imot en halv stellbredde med rør og at stablerammen skal ta en hel stellbredde med rør. Motvektene skal gå i skinner mellom motorsøyle og søyle for stableramme. Dermed blir bredden mellom disse dimensjonerende for motvektene.

Tabell 5.1.4 Oversikt over dimensjoner på dynamiske konstruksjoner.

Komponent	Minimums dimensjon	Valgt dimensjon
<b>Mottaksbord</b>	Bredden 3000mm	3390mm
	Dybde 1125mm	1400mm
<b>Stableramme</b>	Bredden 3000mm	3390mm
	Dybde 2250mm	2950mm
<b>Motvektar</b>	Bredden 3390mm	3390mm

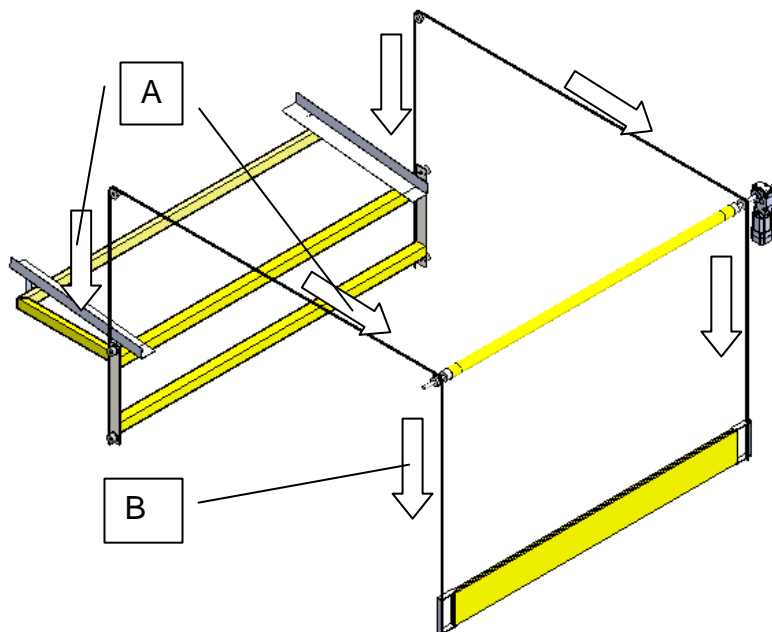
## 5.2 Kartlegging av belastningar

Da man allerede har bestemt hvordan denne maskinen skal bygges kan man bruke dette til å kartlegge hvor belastningene vil være på maskinen. Det er ikke mulig å gjøre beregningar på alle komponentene i maskinene. Derfor er det viktig å finne ut av hvilke deler som er utsatt for mest belastning og ut fra dette velge de kritiske delene å regne på. Maskinen vil drive to heiser ved hjelp av kjededrift og dermed vil det være naturleg å se nærmere på kjede, kjedeinnfestingar og kjedehjul. For å finne maksimal belastning bruker jeg vektene på rørene som vi fant i tabell 5.1.2 og finner vektene til enkeltkomponenten.

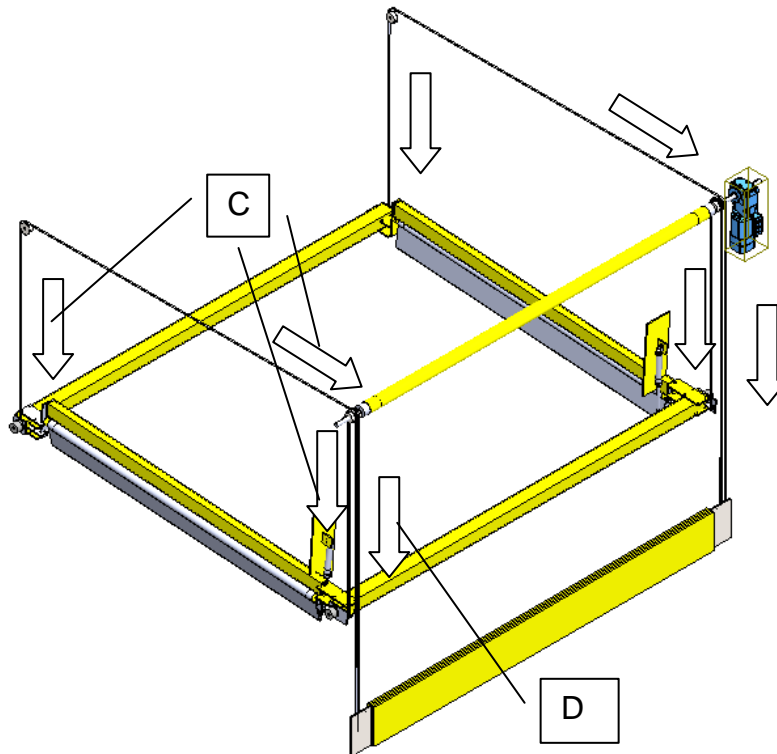
Tabell 5.2.1 Vekt på bevegelige elementer.

Funksjons del	Komponent	Vekt	Totalvekt
<b>Ytre heis</b>	Mottaksbord	205 kg	
	Motvekt	350 kg	
	Rør (maks vekt)	99 kg	
			654 kg
<b>Indre heis</b>	stableramme	220kg	
	Motvekt	350 kg	
	Rør (maks vekt)	198 kg	
			768 kg
<b>Totalt</b>			1417 kg

Da all belastning på denne maskinen er på kjeder vil vekten på den statiske konstruksjonen være gitt ut fra disse.



Figur 5.2.1 Krefter fordelt på mottaksbord og motvekt. A) krefter i vertikal og horisontal retning pga mottaksbord med rør. B) Krefter i vertikal retning pga motvektene

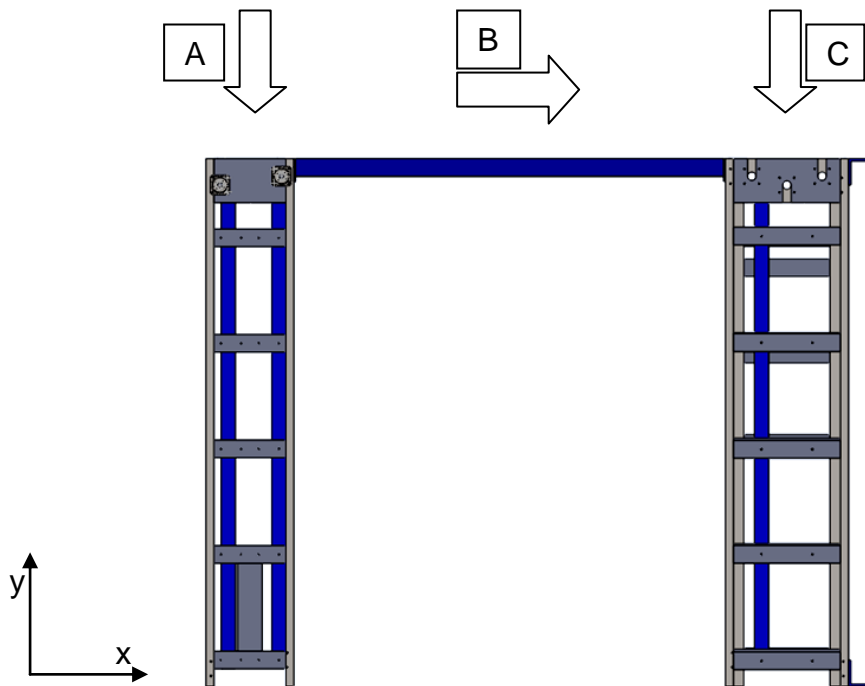


*Figur 5.2.2* Krefter fordelt på stableramme og motvekt.

*Tabell 5.2.2* Fordeling av vekt på kjedeseksjonene.

Kjede seksjon	Komponentvekt	Belastning på kjede	Krefter
A	304 kg	152 kg	$F_{kjA} = 1491 N$
B	350 kg	175 kg	$F_{kjB} = 1717 N$
C	418 kg	104,5 kg	$F_{kjC} = 1025 N$
D	350 kg	87,5 kg	$F_{kjD} = 858 N$

For å kunne vurdere dimensjoner på den statiske konstruksjonen vil jeg fordele kreftene på kjedene i vertikal og horisontal retning (figur 5.3.2.). Fordelingen vil også si noe om hvilke tiltak som bør igangsettes for å stabilisere konstruksjonen.



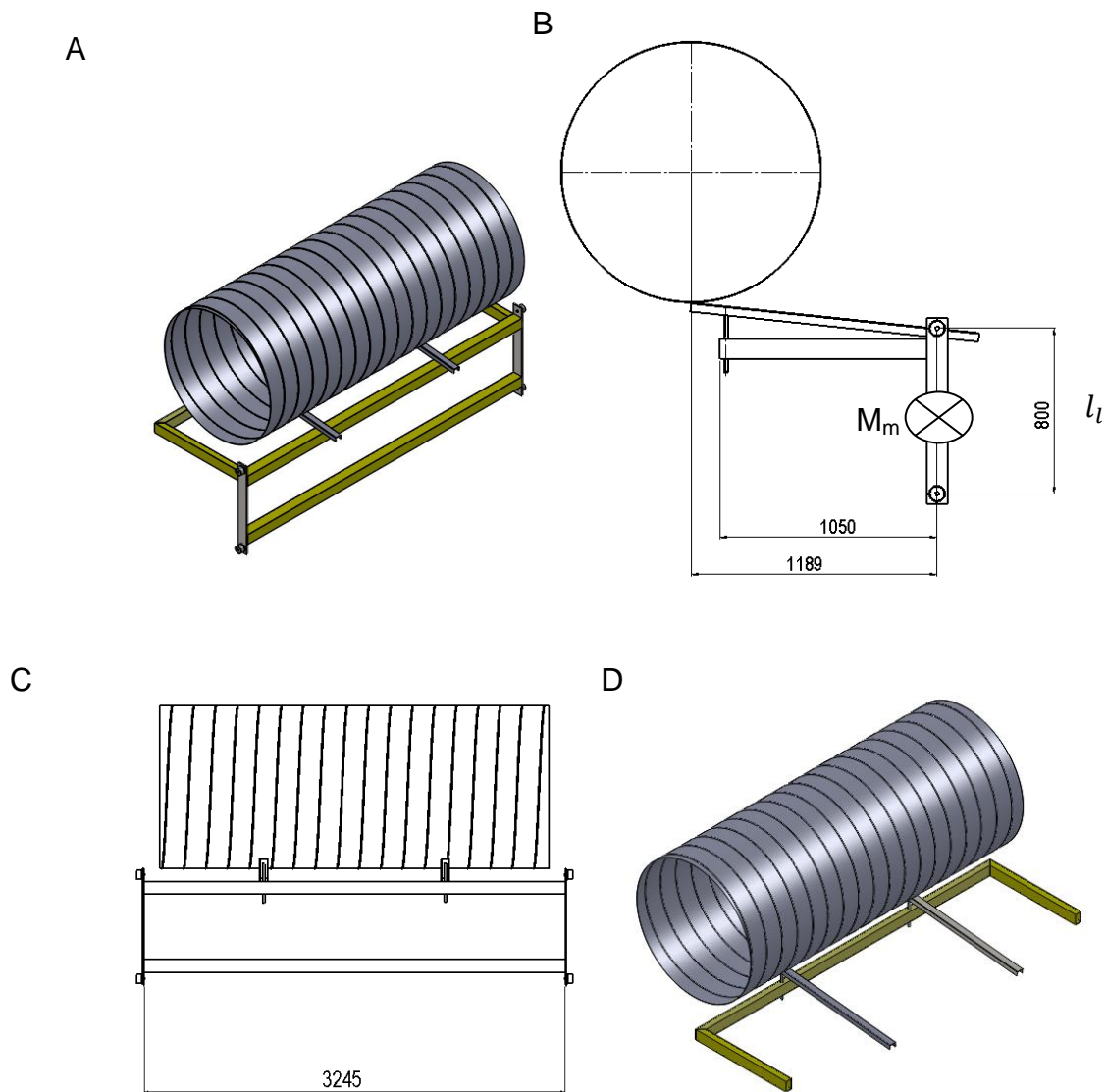
*Figur 5.2.3 Belastninger fordelt på den statiske konstruksjonene.  
A) Belastning på løpesøyler. B) Belastning på horisontalbommer. C) Belastning på motorsøyle og søyle til stableramme.*

*Tabell 5.2.3 Oversikt over maks statisk belastning på statisk konstruksjon.*

Konstruksjons del	Total belastning	Kraft
Løpesøylene (per søyle)	254 kg	$F_{lr} = 2492 N$
Motorsøyle	454,5 kg	4459 N
Søyle til stableramme	454,5 kg	4459 N
Horisontal bom. (per bom)	255 kg	2502 N

Løpesøylene vil være de mest utsatte i denne konstruksjonen da de kun er låst i x-retning. Jeg ønsker derfor å kartlegge belastningen på denne spesielt.

Kartlegging av belastninger på løpekattene.



*Figur 5.2.4 A) Mottaksbord med rør. B) Maks belastningssituasjon med den største rørdiameteren. C) Total bredde på mottaksbordet. D) Elementene som bidrar til moment om  $M_m$ .*

For å regne ut belastningene på løpekattene vil jeg først kartlegge vekten av enkeltelementer på mottaksbordet som bidrar til det totale momentet. Deretter bruker jeg det tyngste røret og setter det i den posisjonen som vil gi størst moment. Dette vil til sammen gi maks belastning på løpekatten. Jeg tar også med belastningene av to rørdimensjoner til, da dette vil være aktuelt å se på ved utmattingsberegninger.

Her bruker jeg følgende formel for å finne belastningen per løpekatt.

$$F_l = \frac{M_m}{2 l_l} \quad (5.2.1)$$

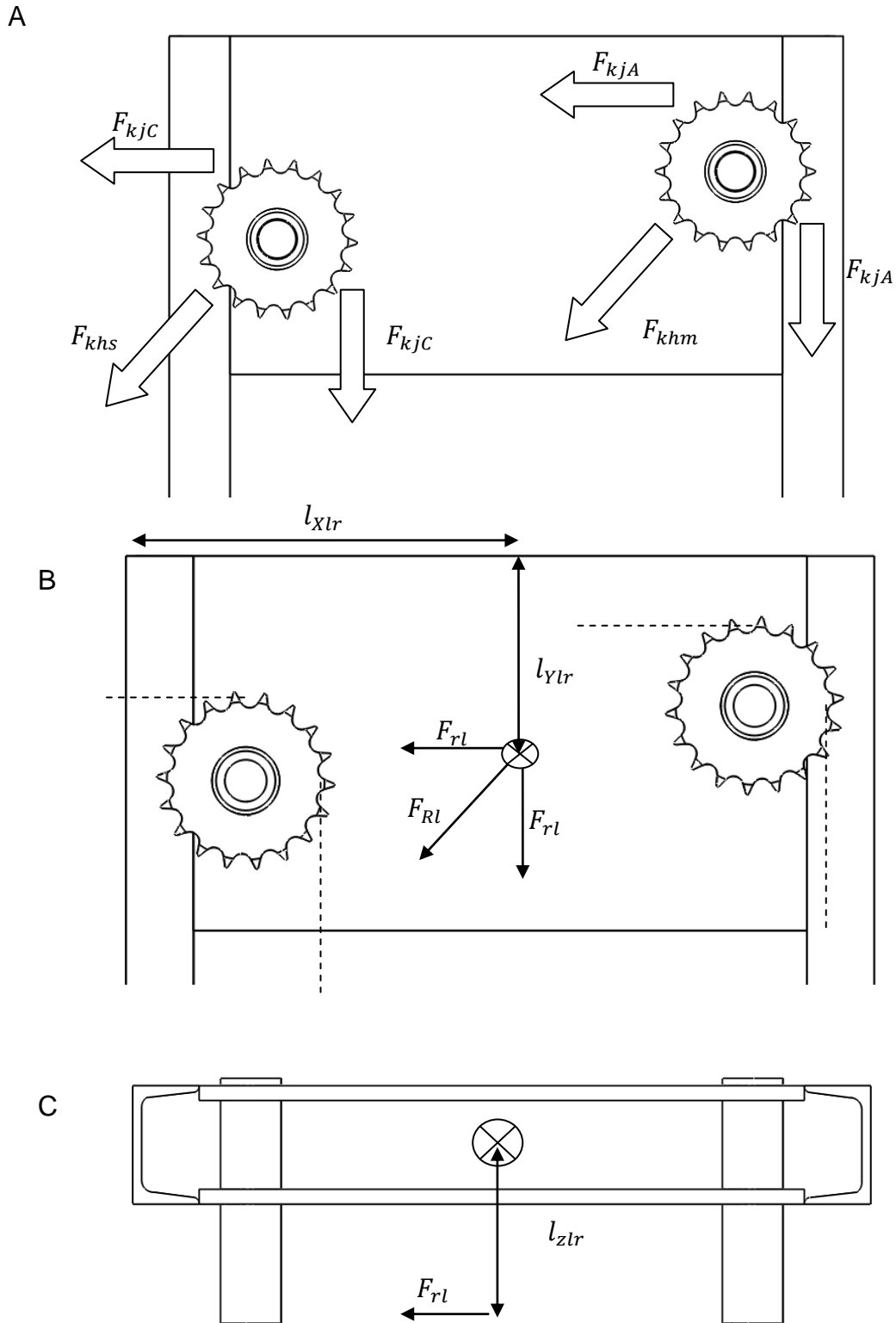
*Tabell 5.2.4 Oversikt over elementer som bidrar til momentet.*

Element del	Vertikal kraft (N)	Avstand til nøytralaksen (mm)
Rulle skinner	88	595
Ytre bom mottaksbord	432	1020
Bommer mellom ytre bom og mottaksbord	255	525
1250 rør maks	971	1189
800 rør	795	525
600 rør	618	525

*Tabell 5.2.5 Belastninger som løpekatten blir utsatt for. Bruker punktet  $M_m$  for å finne momentet til rammen og fordeler dette på løpekattene.*

Element	Moment bidrag om $M_m$ (Nmm)	Belastning per løpekatt $F_l$ (N)
Rør 1250mm	1154745	722
mottaksbord	626667	$F_{lt} = 392$
maks last totalt()	805875	$F_{lmaks} = 1114$
Mottaksbord med 800mm rør	417165	$F_{l800} = 913$
Mottaksbord med 600mm rør	324450	$F_{l600} = 797$

Kartlegging av belastinger på løpesøyle



*Figur 5.2.5 A) Kraftene som løpekattene blir utsatt for pga kjede. B) Resultantkraftene på søyla og avstander til angrepspunkt. C) Avstand til resultantkraftene sett ovenfra.*

Resultant kreftene er funnet ved:

$$F_R = \sqrt{2F^2} \quad (5.2.2)$$

Tabell 5.2.6 Oversikt over belastninger og avstander på løpesøyle.

Symbol	Formel	verdi
$F_{khs}$ (Stableramme)	$\sqrt{2F_{kjC}^2}$	1450 N
$F_{khm}$ (Mottaksbord)	$\sqrt{2F_{kjA}^2}$	2074,7 N
$F_{rl}$	$F_{kjA} + F_{kjC}$	2492 N
$F_{Rl}$	$\sqrt{2F_{rl}^2}$	3524 N
$l_{Xlr}$		333 mm
$l_{Ylr}$		68 mm
$l_{Zlr}$		135 mm

### 5.3 Sikkerhetsfaktorer

Her vil jeg kartlegge hvilke sikkerhetsfaktorer som skal benyttes i konstruksjonen. Da jeg benytter ulike standarder velger jeg å dele opp i sikkerhetsfaktorer i Eurocode 3 og sikkerhetsfaktorer benyttet ved håndberegninger etter konstruksjonselementerboka.

Tabell 5.3 Oversikt over sikkerhetsfaktorer.

Faktor	omfang	Symbol	Verdi
<b>Eurokode 3</b>			
<b>Lastfaktor</b>	Settes på last for å få dimensjonerende last.	$\gamma_f$	1,5
<b>Materialfaktor</b>	Sikkerhet mot imperfeksjoner i materialet.	$\gamma_{M2}$	1,4
<b>Fasthetslære som brukt i konstruksjonselement boka.</b>			
<b>Totale reduserende sikkerhet på dynamisk belastet aksel</b>	Den totale sikkerhetsfaktoren	$n_{fr}$	4



Disse faktorene er gitt ut fra hvilken beregningsmetode man ønsker å bruke.

## 5.4 Materialvalg

Konstruksjonen vil i all hovedsak bli konstruert i stål. Dette er en permanent installert maskin og kravet til vekt vil ikke være avgjørende. Kravet til stabilitet vil også bli oppfylt ved bruk av tunge komponenter som pga sin egenvekt vil gi økt stabiliteten. Andre avgjørende faktorer for materialvalget var pris, bearbeidingsmulighet og tilgjengelighet. Vi har i tillegg benyttet polyoxymethylen (POM) på de delene som skal gli eller rulle mot stål. Dette fordi friksjonskoeffisienten til POM mot stål er på 0,2 som er tilstrekkelig for vårt bruk. [8]

Tabell 5.4.1 Oversikt over materialer som er brukt i konstruksjonen.

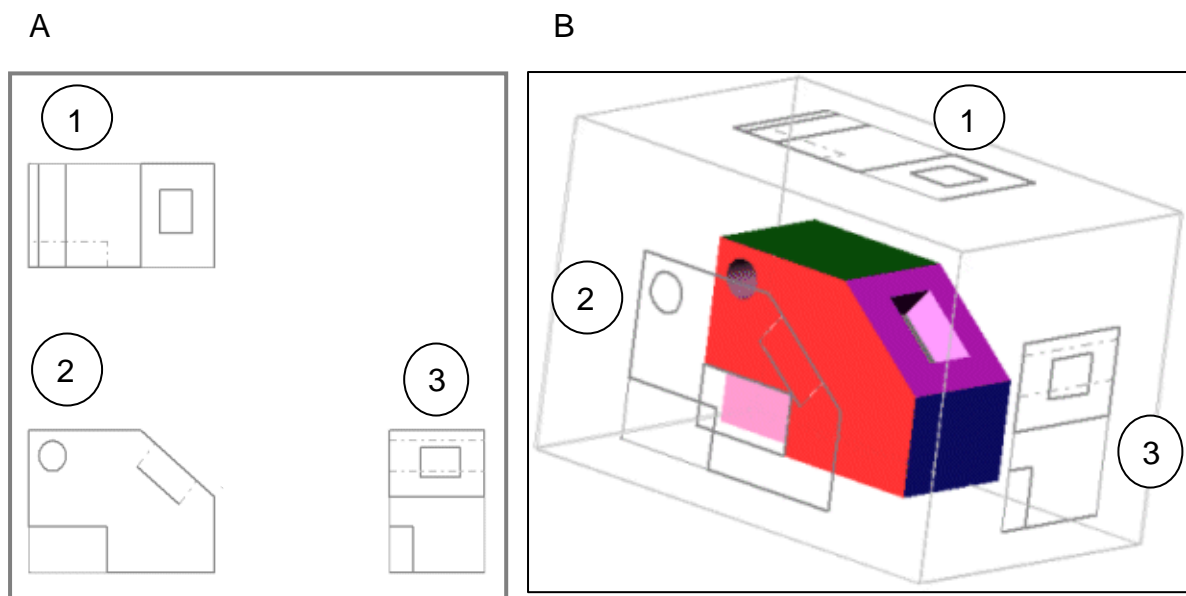
Komponenter	Matriale	kvalitet	Flytgrense	Bruddgrense
<b>Bygg elementer</b>	Stål	s355M	355 MPa	510 MPa
<b>Aksler</b>	Stål	s355j2	355 MPa	510 MPa
<b>Bolter</b>	Stål	fasthetsklasse 8.8	640 Mpa	800 MPa
<b>Hjul til heisene</b>	POM		78 Mpa	

## 6. UTVIKLING AV 3D-KONSTRUKSJON

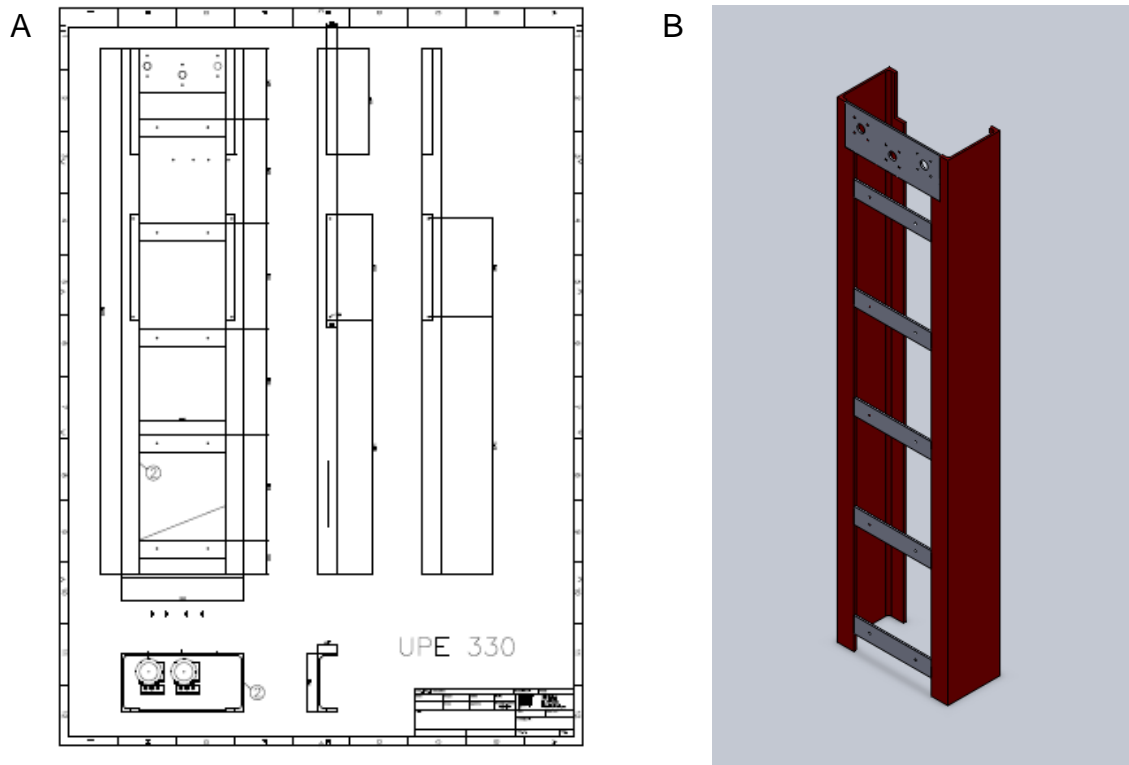
I dette kapitlet vil jeg ta for meg konstruksjonen av den andre utgaven av Tubestacker i SolidWorks. Her vil jeg ta for meg hvordan man bygger opp en 3d-konstruksjon fra et 2d-grunnlag. Hvordan man strukturerer elementene i programmet og hvordan man kan kontrollere maskinen virtuelt før man bygger den. Det vil også blitt gjort rede for hvordan man på bakgrunn av disse tegningene kan tenke seg en oppdeling av konstruksjonen med tanke på transport.

### 6.1 Overføre konstruksjonen fra 2D til 3D

Ved overføring av en konstruksjon fra flate tegninger til romtegninger benytter man tegningsgrunnlaget i 2d som viser objektet i tre plan. Ved å sette opp disse tegningene slik det er vist i figur 6.2.1 kan man ekstrudere planene i SolidWorks og dermed få en romtegning av objektet. I SolidWorks finnes det to ulike fremgangsmåter for dette. Den ene er å importere tegningene i SolidWorks og legge de ut i tre plan. Dette vil være gunstig å bruke hvis man har komplekse figurer som ikke har enkle målsettinger. Den andre fremgangsmåten er å benytte målsettingen man finner i flatetegningene og ut fra dette bygge opp modellen på nytt.



Figur 6.1.1 A) Plantegninger av et tredimensjonalt objekt. B) Eksempel på hvordan man bruker 2d-tegning som grunnlag for 3d-tegning. Her er plantegningene lagt på tre plan i 3d-konstruksjonsverktøyet.[24]

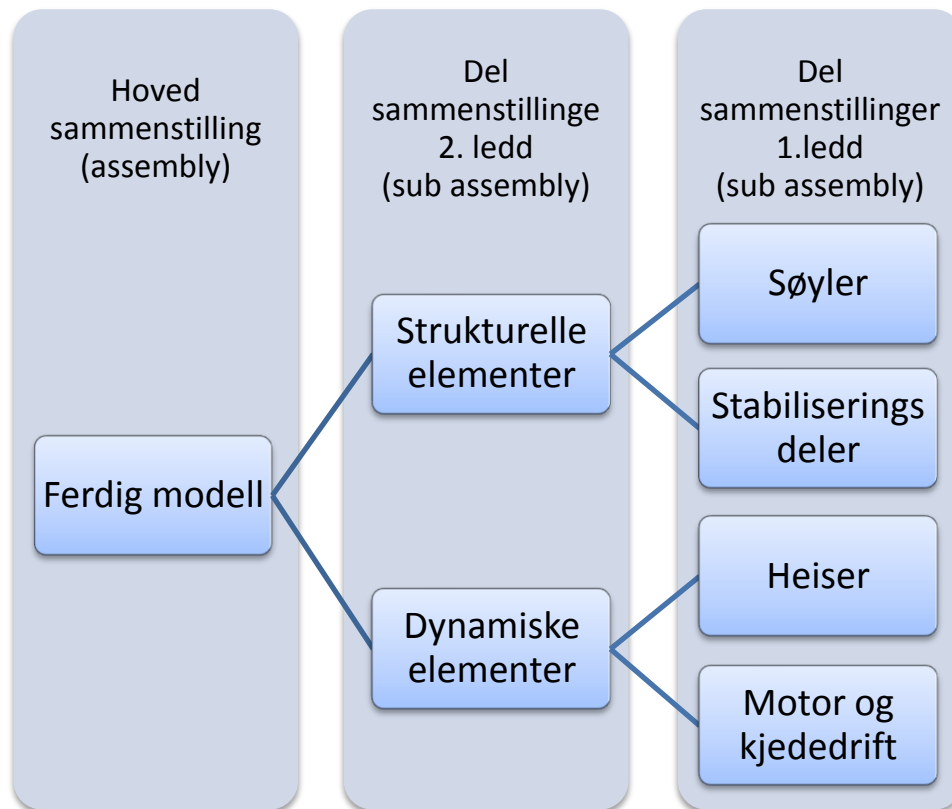


Figur 4.2.2 Eksempel på hvordan man bruker målsettingene i 2d til å lage 3d-modell.  
A) Målsatt 2d-tegning[16]. B) 3D-modell basert på tegning.

I valg av fremgangsmåte kontaktet jeg førsteamanuensis Carlos Salas Bringas som underviser i SolidWorks på IMT, og han gjorde det klart at den mest tidsbesparende måten å gjøre dette på er å bruke målsettingen med å tegne delene på nytt. [17]

## 6.2 Organisering av konstruksjonen og modularisering


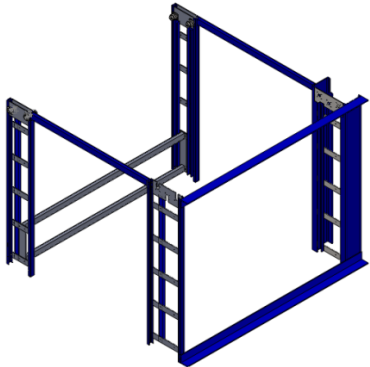


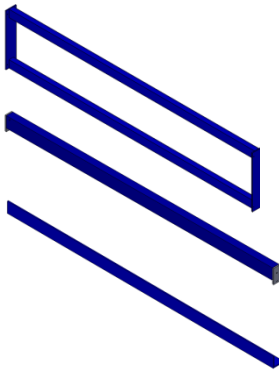
Ett av målene med denne oppgaven var å se på hvordan man kunne dele opp konstruksjonen slik at den ville være enkel å frakte og sette sammen. I utviklingen av 3D-konstruksjonen tok jeg hensyn til det og delte opp maskinen med tanke på dette. I tillegg gir denne type oppdeling en bedre organisering og oversikt i SolidWorks. I tillegg til å dele opp konstruksjonen i moduler, valgte jeg å dele den opp i statiske strukturelle elementer og dynamiske elementer.



*Figur 6.2.1 Oppsett på organiseringen av konstruksjonen.*

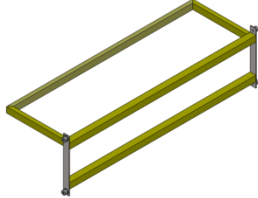
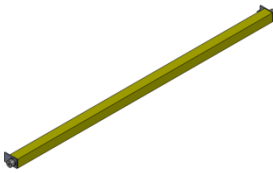
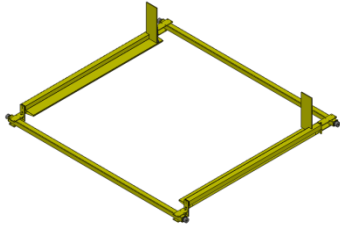
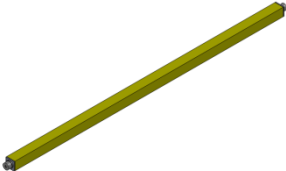
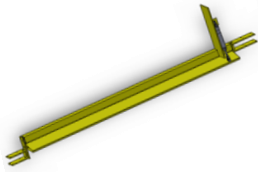

Det er flere valg som kan tas i oppbyggingen av modellen. For å forenkle fremtidige endringer valgte jeg å lage flere delsammenstillinger som jeg kombinerte inn i en hovedsammenstilling.

*Tabell 6.2.1* Oversikt over de statiske strukturelle elementene som er konstruert. Del sammenstilling 1. ledd er her hvordan man tenker modulene som skal fraktes skal være. Delsammenstilling 2. ledd er hvordan den statiske konstruksjonen er satt sammen.

Statiske elementer			
Hovedelementer		Del sammenstillinger 1. ledd	Del sammenstilling 2. ledd
Strukturelle elementer	Motorsøyle 330		
	Søyle for stableramme		
	Løpesøylar 80		
	Stabiliserings elementer		

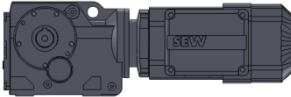
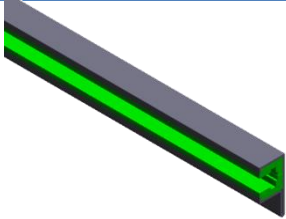

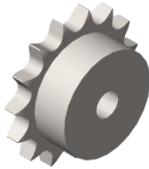
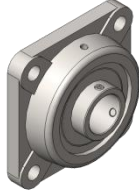
De statiske delene blir delt opp med tanke på transport og sammenstilling. Det er ikke ønskelig med for mange små deler da det vil ta lengre tid å sette maskinen sammen hos kunden.

Tabell 6.2.2 Oversikt over dynamiske elementer. Her er det delt opp i hva jeg anser som fornuftige modulstørrelser og sammenstillingene av disse til hele frittstående elementer som skal brukes i maskinen.

Dynamiske elementer			
Hovedelementer		Del sammenstillinger 1. ledd	Del sammenstilling 2. ledd
mottaksbord	Mottaksbord med løpehjul		
Indre heis	Indre bom med løpehjul		
	Ytre bom med løpehjul		
	Mottaksbom med fall lem.		
Rullebom	Rullebom til tannhjul		

De dynamiske elementene er delt opp i mindre deler i SolidWorks, da det her er tenkt som grunnlag for verkstedstegninger.

*Tabell 6.2.3* Oversikt over innkjøpte deler og hvor modellene er hentet fra.

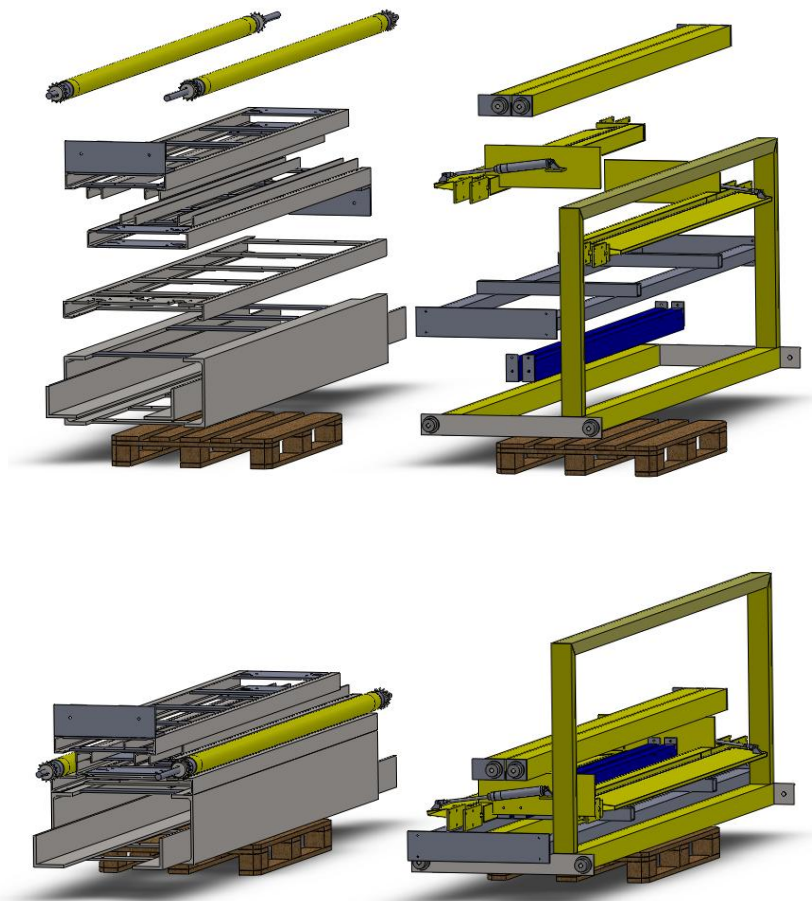
Innkjøpte deler			
Hovedelementer		Del sammenstillinger 1. ledd	Kilde
<i>Innkjøpte deler</i>	Elektromotor		SEW Eurodrive
	Kjedeføring		Traceparts
	Pneumatisk stempel til falllem		Traceparts
	Kjedehjul		3D Content sentral
	Kulelager i lagerhus		3D Content Central

De innkjøpte delene ønsker man i så stor grad det er mulig å finne ferdig konstruerte 3d-tegninger på. Det viste seg i dette tilfellet å gå bra, men noen av delene er ikke helt i samsvar med de delene som ble kjøpt inn. Det som da er viktig å tenke på er å finne tilsvarende deler som har de samme målene, slik at det ikke blir dimensjonskonflikter når man starter byggingen. I tilfellet med motorene brukt i denne konstruksjonen, ble SEW Eurodrive kontaktet og 3d-tegning oversendt, noe som sparte mye tid i tegneprosessen og man er sikrere på at ferdig konstruksjon og 3d-modell er i overenskomst. Til de andre delene benyttet jeg to nettsider for å oppdrive ferdigkonstruerte deler. 3d Content Central er SolidWorks sin egen nettside som har 3d-modeller fra mange ulike produsenter i tillegg til at alle kan legge ut sine egne konstruksjoner.[19] Her er det viktig at man holder seg til produsentenes egne tegninger da man kan bli lurt hvis man benytter noe som andre har laget. På nettsiden Traceparts har man et mye større utvalg og disse tegningene er laget for flere plattformer.[27] Her må man være obs på målsettingen da det er leverandører fra hele verden som er representert og mange ulike enheter som blir brukt. En tommelfingerregel er uansett å vurdere de tegningene man har opp mot reelle deler

med tanke på mål. Det beste er uansett å kontakte leverandøren eller produsenten for å få tegningene rett fra dem.

### 6.3 Modularisering

Det er ønskelig at denne maskinen er lett å emballere og transportere. Dette er noe man har tatt hensyn til under hele konstruksjonsprosessen, hvor man tar utgangspunkt i at maskinen kan pakkes på europaller. Det lengste elementet som skal pakkes er stabiliseringsskinnene mellom motorsøyle og søyle til stableramme som er 3800 mm. Den bredeste delen er mottaksbordet som er 900 mm på den delen som skal ligge på pallen. Det vi ser her er at det er veldig lange elementer som skal pakkes og dermed må dette regnes som spesialgods. Jeg har laget et oppsett på pakking av maskinen i figur 6.3.



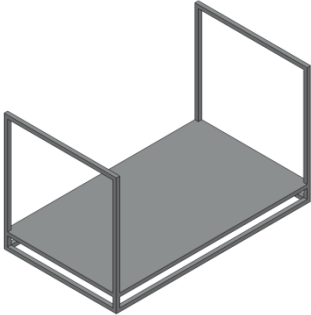
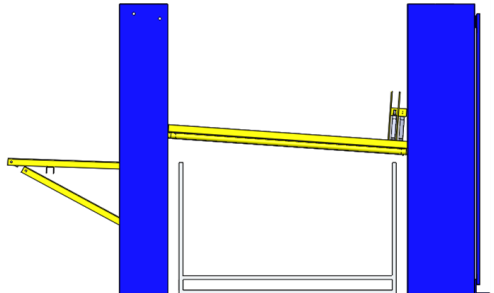
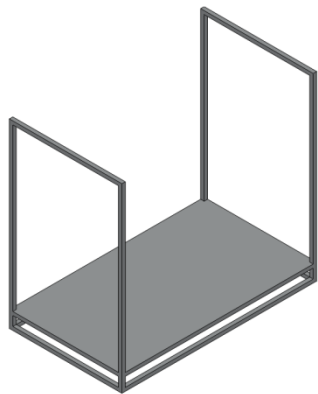
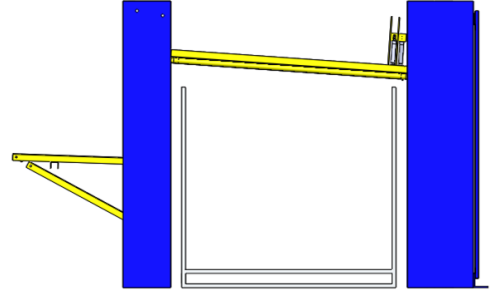

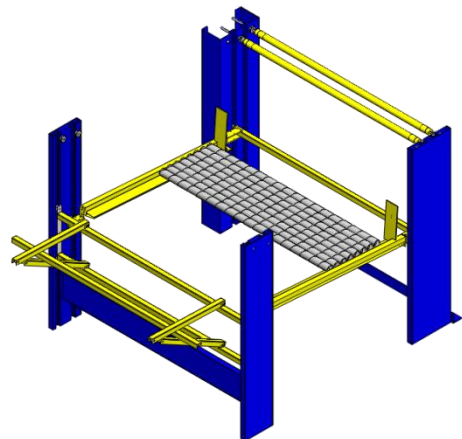
*Figur 6.3 Eksempel på pakking av maskinen på europaller.*



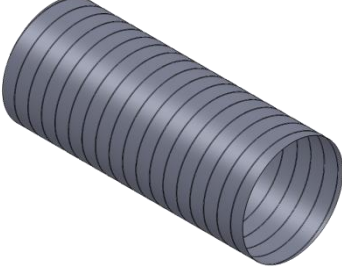
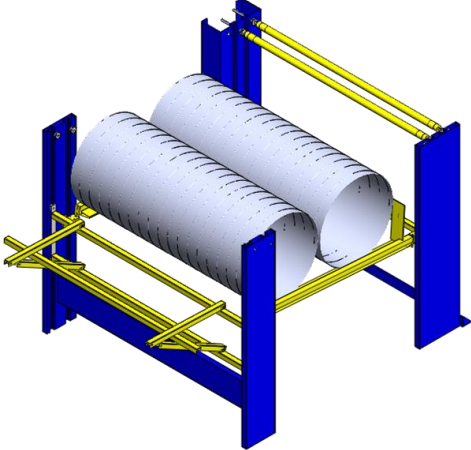
## 6.4 Testelementer

For å sjekke at modellen var i samsvar med de målene som var oppgitt valgte jeg å lage 3d-fremstillinger av enkeltelementene som skulle brukes i maskinen. Dette innebar tegning av høyt og lavt stell samt den største og den minste dimensjonene av rørene. Dette ga en indikasjon på at målene på maskinen stemte overens med elementene som skulle brukes.

*Tabell 6.4.1 Oversikt over testelementene og hvordan de brukes i konstruksjonen.*

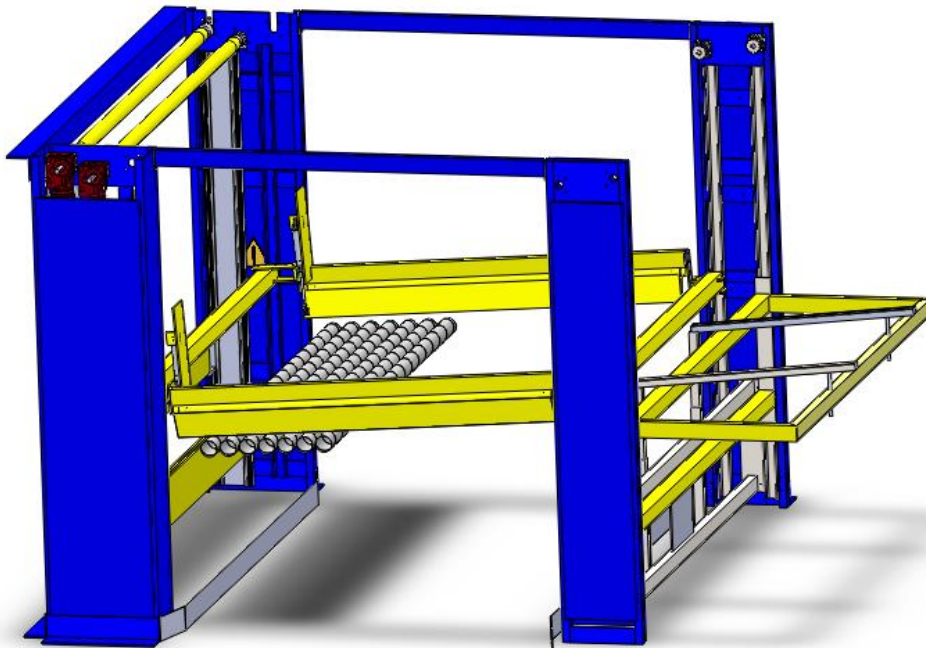
Element	Tegning	Bruk i konstruksjonen
Lavt stell		
Høyt stell		
100mm spirorør		

Tabell 6.4.1 Fortsetter.

Element	Tegning	Bruk i konstruksjonen
1250 mm spirorør		

## 6.5 Endringer på bakgrunn av konstruksjon i 3D

I 2D-grunnlaget som jeg bygget modellene fra var det noen feildimensjoner. Disse hadde oppstått fordi man hadde brukt tegningsgrunnlaget fra den første versjonen av maskinen som grunnlag for den nye maskinen. Ved innføringen av testelementet av stellene i modellen så jeg at den tenkte bredden mellom de indre og ytre søylene var noe smal. Dermed måtte man endre på enkeltekomponenter slik at man fikk den ønskede bredden. Det ble også avdekket at kjedehjulene var feilplassert i 2D-grunnlaget, så dette ble også korrigert før delene ble produsert.



*Figur 6.5 Ferdigstilt maskin med statiske, dynamiske og innkjøpte deler montert.*

## 7 KRITISKE ELEMENTER

I dette kapitlet skal man se nærmere på elementene som i samråd med Adigo er vurdert som kritiske. Da man allerede har vurdert løsninger på enkelte av disse elementene blir det naturlig å beregne disse ut fra de belastningene som allerede er kartlagt.

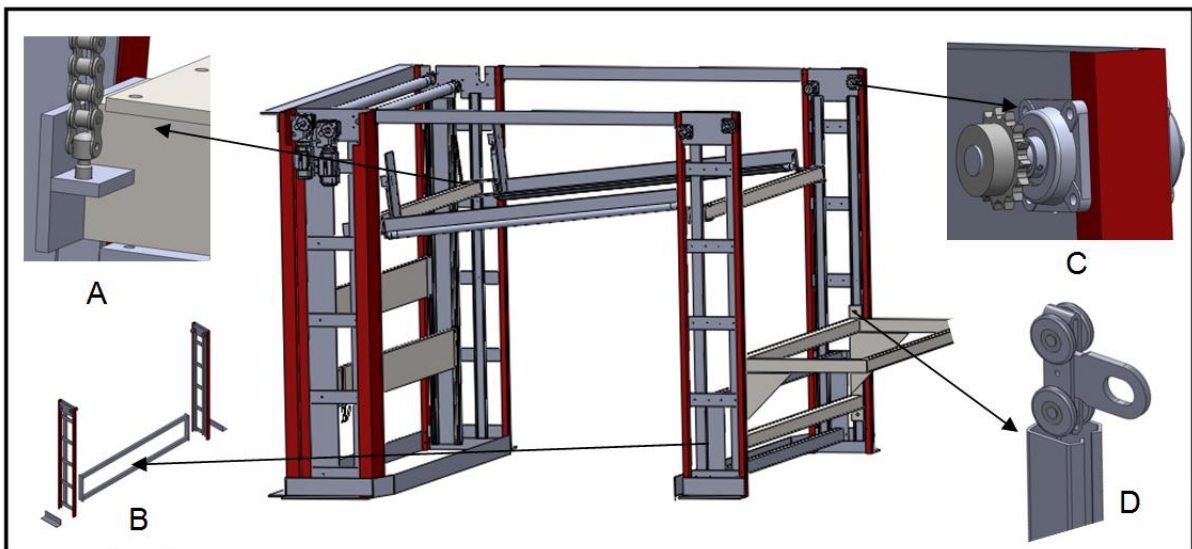


*Figur 7.1 Diagram over fremgangsmåte for valg av tekniske løsninger og dimensjonering av kritiske elementer.*

## 7.1 Utvalg av kritiske elementer

Den andre versjonen av Tubestacker er utviklet av maskiningeniør Per Andersen som har 50 års erfaring med bygging av maskiner. Denne maskinen er derfor dimensjonert på bakgrunn av en solid erfaringsbakgrunn, og man har på store deler av maskinen valgt å bruke grove dimensjoner som ikke trenger videre beregning. Under en fortløpende gjennomgang av maskinen fikk man avdekket enkelte komponenter det knyttet seg usikkerhet til når det gjaldt belastning og tilpassning til maskinen. Disse elementene burde bli beregnet og vurdert omdimensjonert eller endret på annen måte. I samråd med daglig leder i Adigo Anders Aker og maskiningeniør Per Andersen kom vi frem til at følgende komponenter burde granskes nærmere. Det vil i denne oppgaven være avvik i forhold til de løsningene jeg finner her og de faktisk valgte komponentene. Dette skyldes at tidsperspektivet fra man avdekket de kritiske delene til man trengte en løsning var for kort til at man kunne gjøre en grundig analyse. Enkelte av resultatene man avdekker her vil dermed være mer aktuelle når vi kommer til redesigndelen.

- Løpekatter
- Innfesting av kjedehjul
- Stabiliseringsdeler til konstruksjonen
- Kjedeinnfesting



Figur 7.1.1 Kritiske deler som man må se nærmere på. A) Kjedeinnfesting  
B) Stabilisering av konstruksjonen. C) Kjedehjul på ytre del. D) Løpekatter.

### Løpekatter:

En av hovedoppgavene mine som ble klart i starten av denne oppgaven var å finne en løsning på løpekattene til denne konstruksjonen. Det var ønskelig å bruke en innkjøpt ferdigprodusert løsning og jeg skulle da vurdere om dette var noe man burde gå videre. Hovedfunksjonen til løpekattene er at maskinen får en jevn og stabil gange på heisdelenene.

### Innfesting av kjedehjul

Det var også knyttet usikkerhet til innfesting av kjedehjul i løpesøylene. Her var det ønskelig å bruke en bolt som ble skrudd fast i løpesøylen som holdt kjedehjulet oppe. Det som er usikkert her er om dette er en holdbar løsning i forhold til belastningen. Dermed kan man vurdere dette opp mot alternative løsninger.

### Stabiliseringsdeler til konstruksjoner:

Et av hovedproblemet til den forrige versjonen av maskinen var at det var noe ustabilitet i konstruksjonen ved drift. I denne versjonen ønsker man å fjerne dette problemet ved å innføre fire søyler i stedet for to. Det som er litt usikkert er om søylene vil være stabile nok ved kun innbolting i gulvet. Her er det naturlig å se videre på stabiliseringselementer til konstruksjonen som løsning på problemet.

### Kjedeinnfestingen

Da hele konstruksjonen er basert på kjededrift, er det naturlig å se på kjede og innfesting av dette. Selv om det i denne konstruksjonen er avklart at den ikke er underlagt kravene som gjelder heise-/løfteutstyr vil jeg uansett bruke sikkerhetsfaktorene som er underlagt dette ved en eventuell dimensjonering av kjedeinnfesting. Dette fordi et brudd på disse delene vil potensielt ha svært uheldige konsekvenser.


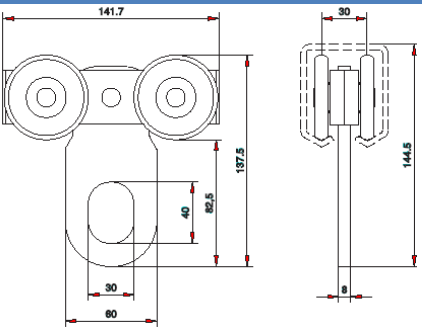
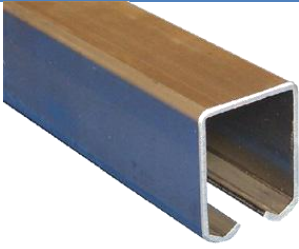
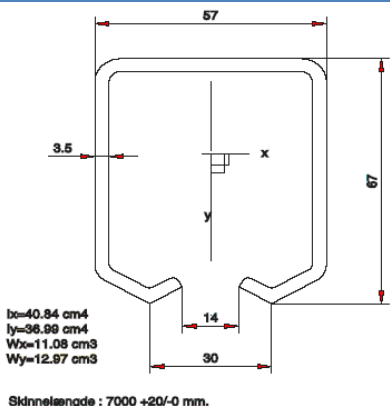
## 7.2 Vurdering av planlagte løsninger på kritiske elementer

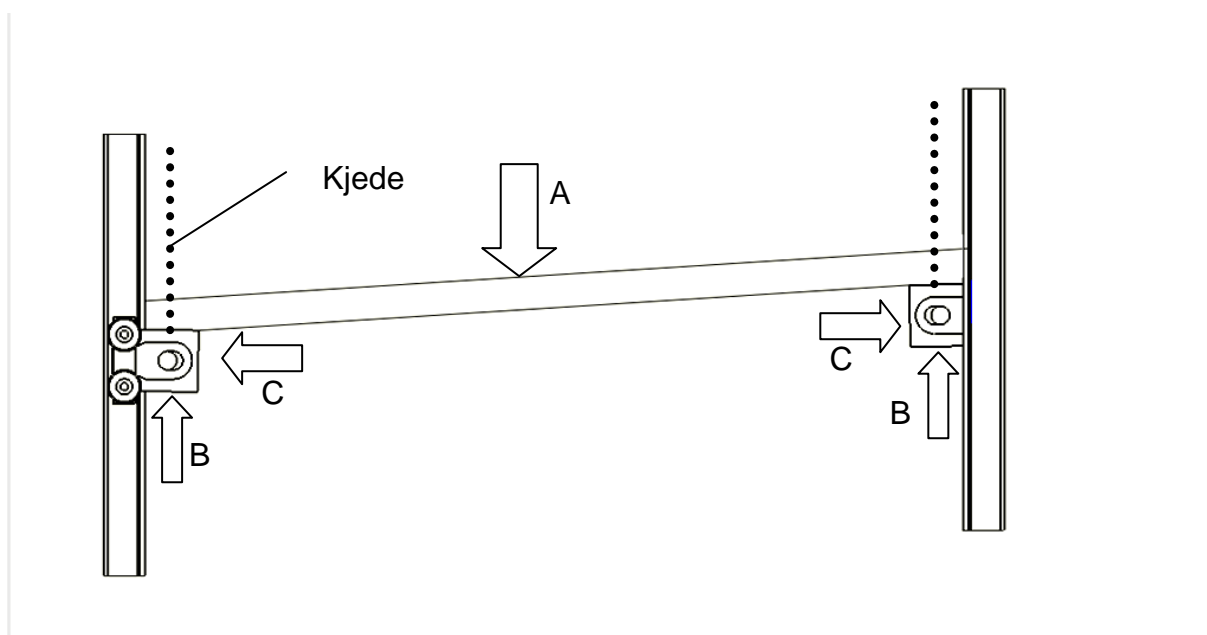
Her vil jeg gå inn på de planlagte løsningene og vurdere disse ut fra økonomiske, tekniske og konstruksjonsmessige hensyn.

### 7.2.1 Løpekattene

Løpekattene og skinnene som er tenkt brukt i denne konstruksjonen kan kjøpes inn fra Tobias Jensen Production [26]. Disse produktene er opprinnelig beregnet på skyveportsløsninger, men da det her skal brukes i en annen sammenheng må disse tilpasses bruken i konstruksjonen og styrkeberegnes ut fra dimensjonerende vekt.

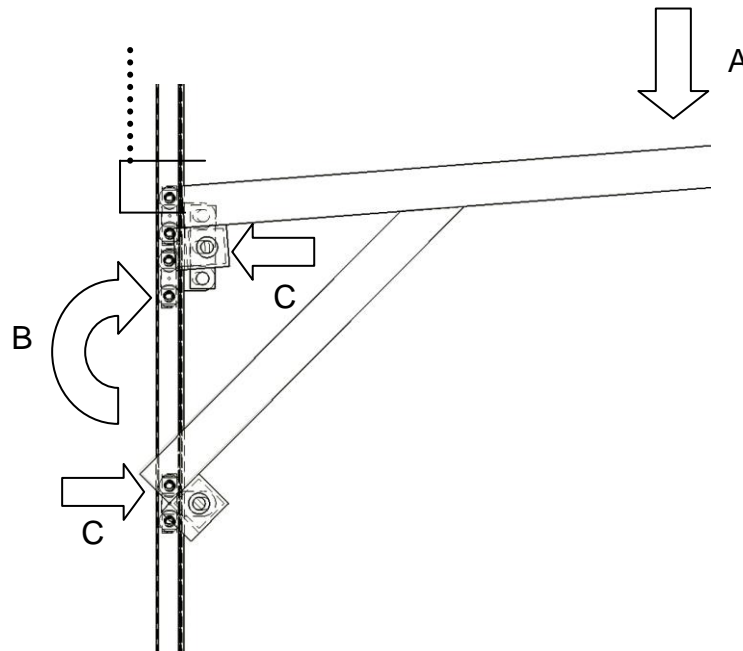
*Tabell 7.2.1 Oversikt over innkjøpsdeler med konstruksjonstegning og belastningsbegrensning[26]*

Del	Bilde	Tegning	Maks belastning
<b>løpekatt</b>			$F_{li} = 5886N$
<b>skinne</b>			



*Figur 7.2.1. Løpekatt til stableramme (ikke reelle kjedeinnfestinger, kun til illustrasjon). A) Belastning på stablerammen. B) Hvordan belastningen blir tatt opp av løpekatten C) Den horisontale kraften på løpekatten vil her være neglisjerbar.*

I figur 7.2.1 ser vi tenkt funksjon til stablerammen i den andre utgaven av Tubestacker. Her vil løpekattene kun stabilisere stablerammen og vil kunne gå fritt opp og ned med neglisjerbar belastning.

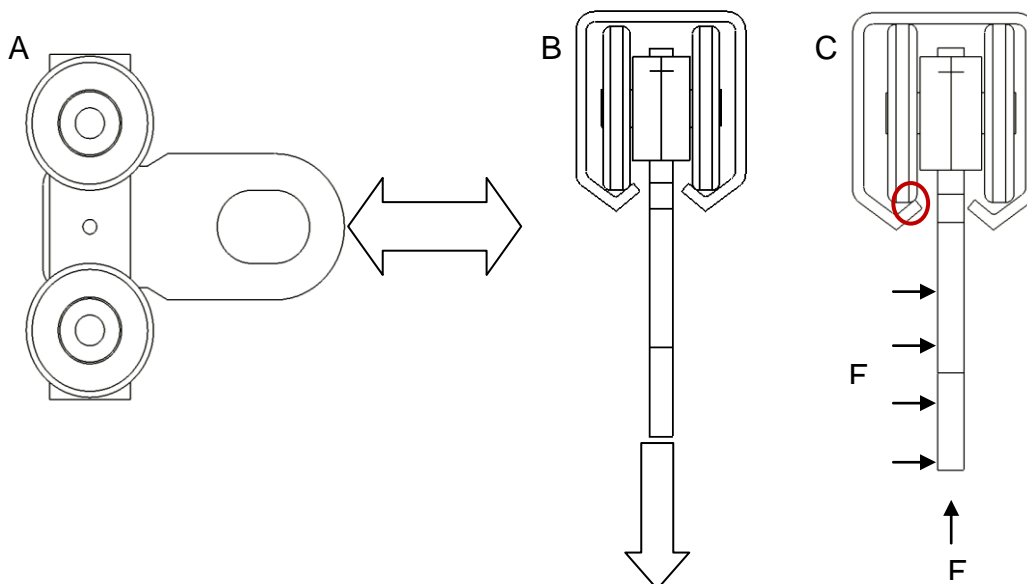


*Figur 7.2.2 Løpekatt oppsett til mottaksbord. A) Belastning på mottaksbordet B) Momentet på mottaksbordet på grunn av belastning A C) Kraftene som løpekattene må ta opp.*

I figur 7.2.2 ser vi tenkt oppsett på mottaksbordet. Her vil belastningene på bordet og bordets vekt skape et moment på hele konstruksjonen som vil gi en belastning på løpekattene.

### Vurdering av løsning på løpekattene.

Et tilleggsaspekt ved bruk av innkjøpte løpekatter er at man vil bruke dem i en annen sammenheng enn hva det opprinnelig er tiltenkt i konstruksjonen. I utgangspunktet er disse løpekattene ment for hengende last og dermed vil de ha en ensrettet kraft som gjør at løpekatten blir trukket ned i sporene i skinnen (figur 7.2.3 B). I den andre utgaven av Tubestacker vil det ene løpehjulet bli presset inn i sporene i skinnen mens det andre vil bli dyttet mot bakveggen av skinnen. Dette bør i utgangspunktet ikke skape noe problem, men hvis det i tillegg oppstår en sideveis belastning vil man kunne få en uheldig føring i skinnen (figur 7.2.3 C). Dette kan føre til en utvalling av kanten på profilen.



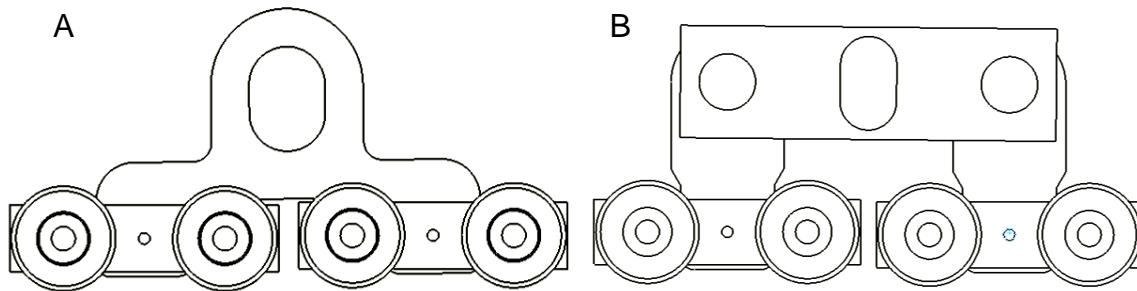
*Figur 7.2.3 A) Ønsket belastning på løpekatten. B) Ønsket gang i løpeskinnen. C) Løpekatt med samtidig trykk og sideveis belastning.*

For å hindre uheldig belastning på skinne og løpekatt kan man sette inn to løpekatter og forbinde disse med en plate. Dette vil gjøre at man kan fordele kraften på to løpekatter samt sørger for at det ikke blir for stor belastning på skinnen.

Den opprinnelige tanken med disse løpekattene baserte seg på en tidligere modell som besto av to løpekatter som var forbundet sammen. (Figur 7.2.4 A). Denne modellen er gått ut av produksjon, men det er fortsatt mulig å kjøpe enkle løpekatter.



En modifisering av to enkle løpekatter ved hjelp av en plate ville gi samme resultat. (Figur 7.2.4 B). Dette vil også bidra noe på stabiliteten, men om det er tilstrekkelig er ikke mulig å konkludere uten å teste det.



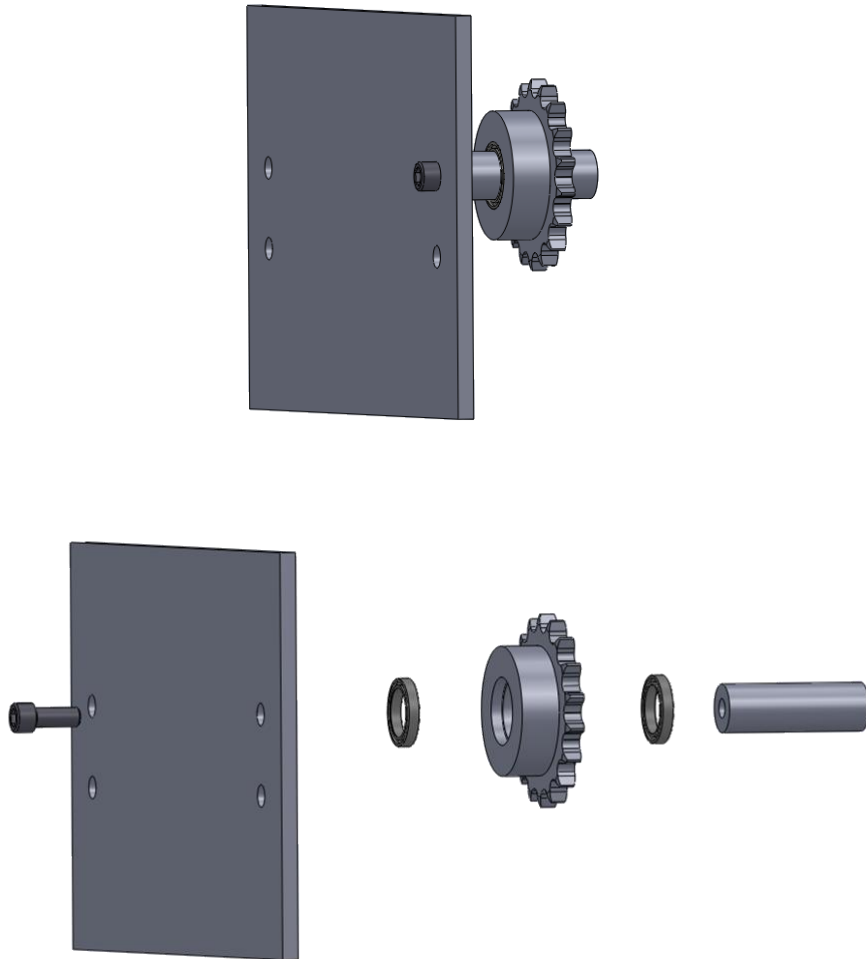
*Figur 7.2.4 A) Opprinnelig tenkt løsning på løpekatt som har gått ut av produksjon. B) modifisering av to løpekatter forbundet med et flatjern.*

#### **Anbefalinger**

Det er mye som tilsier at ferdigproduserte, innkjøpte deler er gunstig å bruke med tanke på kostnader og bytting av deler. Det som taler mot å bruke innkjøpte deler i denne sammenhengen er at man må modifisere de innkjøpte delene for å få de til å fungere optimalt, og at man ikke er garantert en stabil gange på heisene. Et annet element som taler mot er at disse løpekattene har mye rom å bevege seg på i skinnen. Dette vil kunne gi en ustabilitet i kjøringen. Ut fra dette vil det her være hensiktsmessig å se på andre konsepter som kan brukes i maskinen.

### 7.2.2 Innfesting av kjedehjul

Den tenkte løsningen på denne delen er å bruke en aksel som man fester i platen med en skrue. Kjedehjulet vil i denne løsningen være utstyrt med to kulelager slik at det kan rotere om akselen. Man vil også trenge en låsning av kjedehjulet i aksialretning.



*Figur 7.2.5 Tenkt løsning på innfesting av kjedehjul. Her er kjedehjuls akselen skrudd fast til platen.*

#### Vurdering av løsning på kjedehjul og innfesting.

Denne løsningen vil kreve at man må produsere og mekanisk bearbeide akselen og all belastningen vil bli tatt opp av skruen. Leverandøren av kjedehjulene kan levere med innsatte kulelager, så dette er ikke noe man trenger å tilpasse selv.

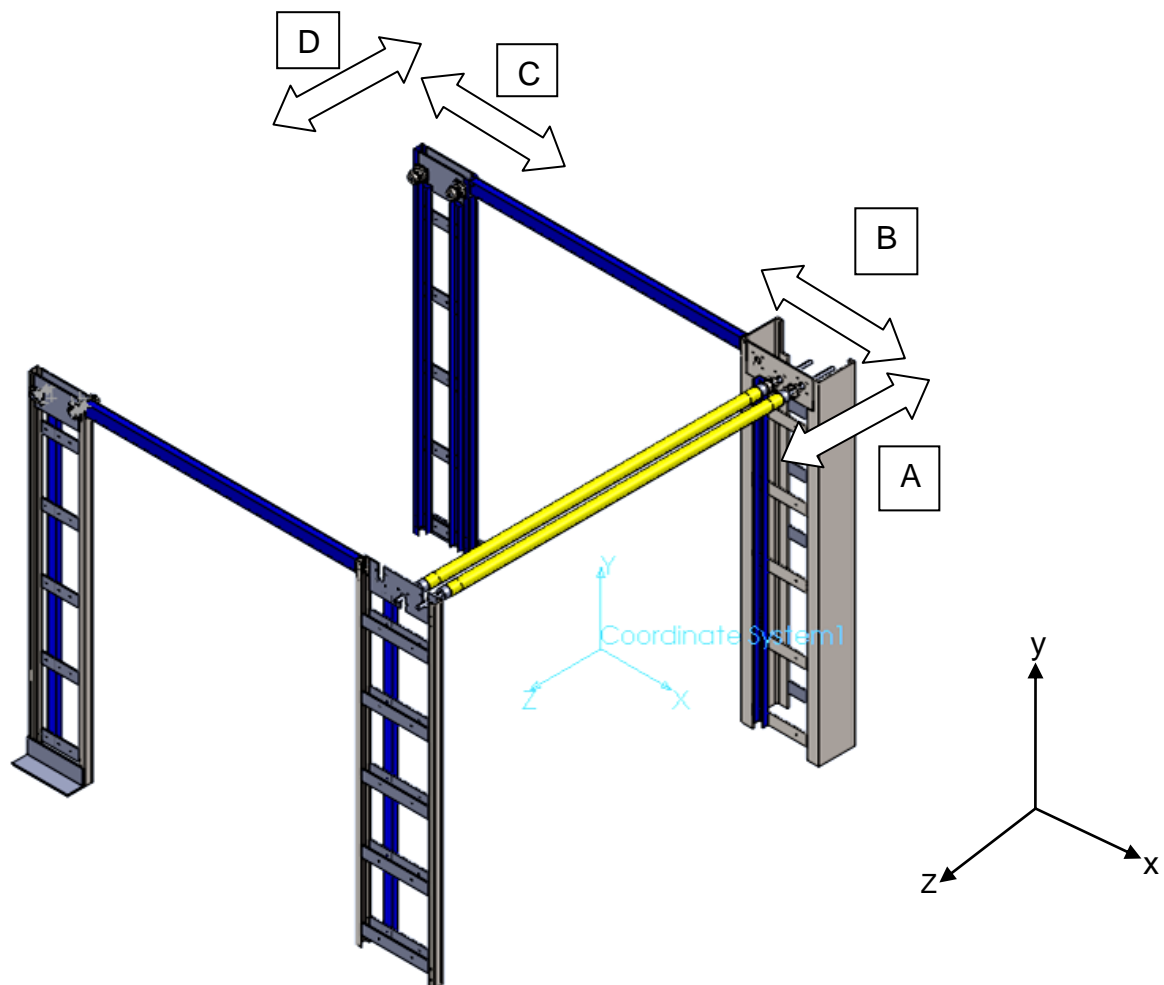
#### **Anbefaling**

Til tross for at denne løsningen vil være mulig og ikke spesielt kostbar, vil jeg her vurdere å finne løsninger som er enklere og billigere.

### 7.2.3 Planlagt løsning på stabilitet til konstruksjonen

Det er i utgangspunktet kun tenkt å forankre søylene i betongfundamentet med ekspansjonsbolter. Her må man vurdere om dette er tilstrekkelig eller om man bør innføre stabiliseringselementer i tillegg.

Denne konstruksjonen består av fire vertikale søyler. Motorsøylen og søyle til stableramme er forbundet med en bom til kjededrift. Det går også en stabiliseringsbom mellom de indre og ytre søylene, noe som gjør at de indre søylene er stabile i både z- og x-retning. Disse har i tillegg større grunnflate, noe som automatisk vil bedre stabiliteten. Løpesøylene er derimot kun stabilisert i x-retning i overkant, og det er derfor viktig å vurdere stabiliteten til disse søylene ytterligere.



*Figur 7.2.6* Oversikt over den statiske konstruksjonen og stabiliseringskomponentene til denne. A) Søylene er stabilisert i z-retning pga kjedebommene. B) Søylene er stabilisert i x-retning pga stabiliseringsbommene.

## Vurdering av planlagt løsning

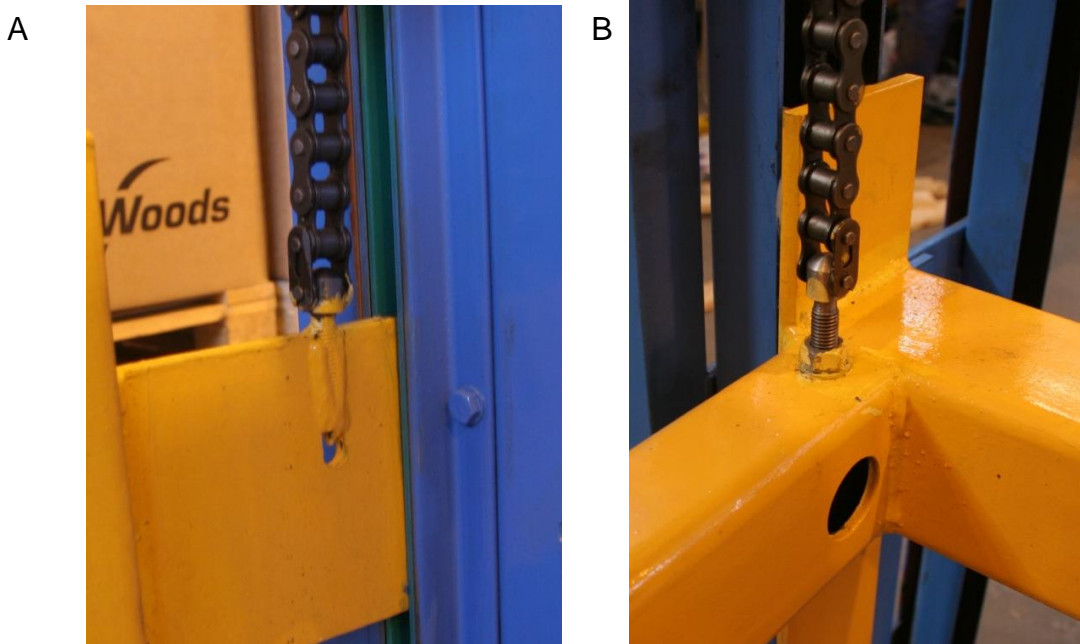
Problemet med å basere seg på innbolting av søylene er at man aldri kan være sikker på om fundamentet man bolter i er sterkt nok. Det er heller ikke garantert at søylene og gulvet vil ha en hel kontaktflate da gulvet kan være ujevnt eller at man har fått en skjevhet i bunnen av søylene under konstruksjon. Hvis det blir slik at søylene kun hviler på et begrenset areal, vil det fort oppstå ustabilitet. Et annet aspekt er at man trenger et feste til teleskopstengene som skal stå mellom mottaksbordet og stablerammen. Her vil det være naturlig å sette inn en forbindelse mellom løpesøylene. En slik forbindelse kan man konstruere slik at den bidrar til å låse løpesøyle i z-retning. Dermed vil man unngå en eventuell ustabilitet.

### Anbefaling

Da man ikke kan garantere at konstruksjonen vil bli stabil kun ved innbolting vil det være gunstig å sette inn stabiliseringelementer. Disse elementene vil også kunne benyttes til å implementere andre nødvendige tekniske innretninger som teleskopstengene mellom mottaksbord og stableramme. Dermed vil jeg utvikle konsepter til dette.

### 7.2.4 Planlagt løsning på kjedeinnfesting

Her har man basert seg på innkjøpt kjedestammer for å feste kjedet. Denne vil bli festet til heisene ved hjelp av hullgjennomføring og bruk av mutter for å kunne ha justeringsmuligheter ved nivellering av heisene. På motvektene vil kjedefestene bli sveist fast.



*Figur 7.2.7 A) Innfesting av kjede i motvekt. Boltene her er sveist fast til motvekten. B) Innfesting av kjede i mottaksbord med mulighet for justering. (Foto: Terje Brandshaug)*

## Vurdering av kjedeinnfesting

Vi bruker her kjedestrammerbolt for innfesting av kjede til de enkelte heiselementene. Denne er dimensjonert for bruk med dette kjedet, og vil dermed tåle belastningen som kjedet tåler. I den andre versjonen av Tubestacker benytter man samme kjede og kjedehjul som i den første versjonen. Det som er forskjellig er at man i den første versjonen av maskinen hadde et kjede per heis, mens man i den andre har henholdsvis fire kjeder på stablerammen og to på mottaksbordet. Det vi kan sikkert anslå ut fra dette er at kjedet er overdimensjonert i forhold til bruken her. Kjedeinnfestingen er her enten sveiset fast i 10 mm plater (figur 7.2.7 A), eller boltet fast i mottaksbordet som består av et 6 mm tykt rør. Jeg vurderer det derfor som unødvendig å beregne på dette da vi trygt kan anslå at det vil holde. Jeg kommer ikke til å gå videre med dimensjonering av kjede eller kjedeinnfestingen i denne oppgaven, men dette vil være aktuelt ved videre arbeid på neste versjon.

### **Anbefaling**

Jeg kommer ikke til å gjøre videre beregninger på kjede eller kjedeinnfestingen i denne oppgaven, da jeg anser det som overdimensjonert slik det er tenkt her. Det vil derimot være aktuelt å dimensjonere kjedet til den fremtidige versjonen av Tubestacker, men dette legger jeg til videre arbeid.

## 7.3 konseptforslag til løpekattene

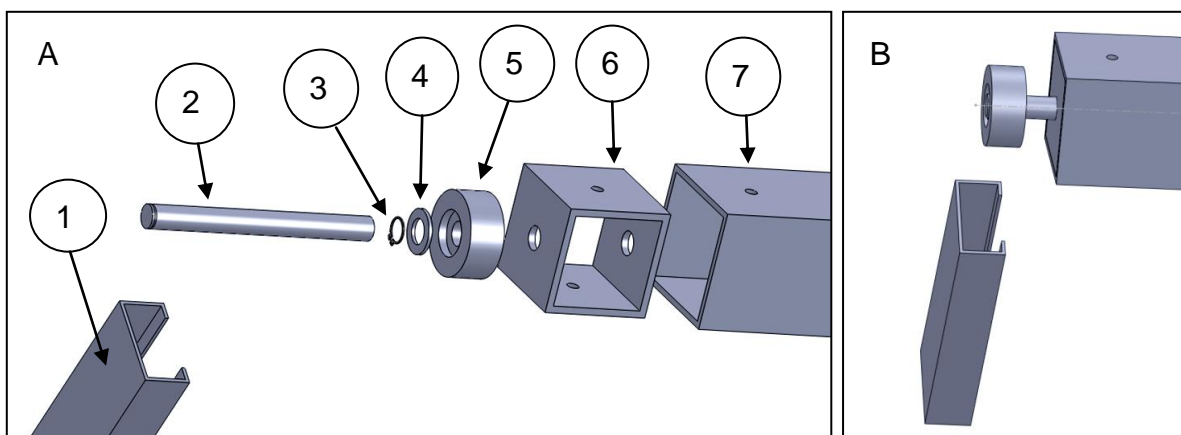
Da løsningen med innkjøpte løpekatter baserte seg på deler som ikke lenger produseres, er det naturlig å se på andre løsninger på løpekatten. I den første versjonen av Tubestacker var det brukt POM-hjul som gikk direkte på kanten av en I-bjelke. Selv om det var tvil om hvor holdbart dette ville være, har det vist seg at slitasjen har vært minimal etter flere års drift. Jeg har derfor valgt å se på løsninger med tilsvarende konsept.

### 7.3.1 Konsept A

Denne løsningen baserer seg på at man innfeller en av kappet firkantprofil på tvers inne i firkantbommen. Ved å lage et hull i den avkappede firkantprofilen kan man la løpehjulakselen gå gjennom denne og låse den fast ved enten sveising eller krympepasning i det bakerste hullet. Den avkappede firkantprofilen kan låses fast i bommen med skruer. Løpehjulet låses fast med en seegerring i ytterkant av akselen. En skive ligger mellom seegerringen og POM-hjulet for å hindre spordannelse. Her er det brukt en ferdig produsert (120X40X15X3) C-kanal som løpehjulet kan gå i.

*Tabell 7.3.1 Oversikt over komponenter til konsept A. Denne refererer til figur 7.3.1*

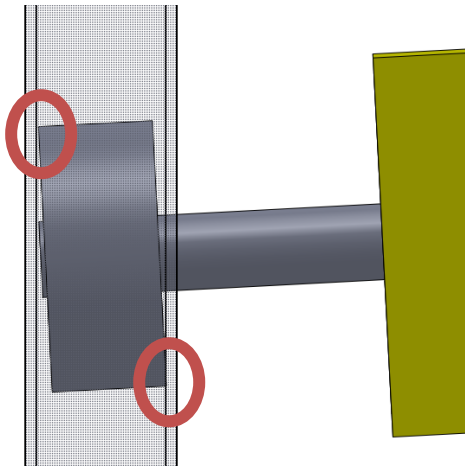
Del	Beskrivelse
1	C profil
2	Løpehjul aksel
3	Seegerring
4	Skive
5	POM hjul
6	Avkappet firkant profil
7	Firkant bom



*Figur 7.3.1 A) Eksplodert tegning av konseptet med henvisninger til tabell 7.3.1.*

*B) Sammenstilling av konseptet.*

Ved en kritisk vurdering av konseptet ser jeg at denne løsningen vil kunne bli problematisk hvis det skulle bli skjevhet i løftet. Da øker risikoen for fastkiling av bommen da det ikke er mye å gå på i z-retning.



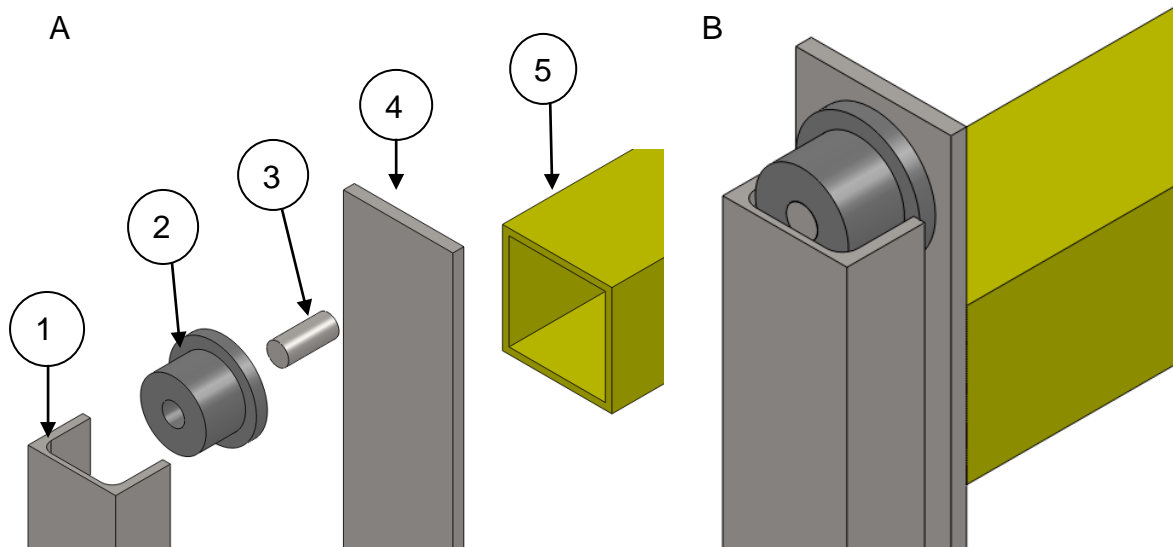
*Figur 7.3.1 Eksempel på fastkiling ved skjevt løft.*

### 7.3.2 Konsept B

Her sveiser jeg fast løpehjulakselen direkte på et flatjern som er sveist fast til firkantbommen. Her lar jeg POM-hjulet gå fritt på akselen uten å låse det fast. POM-hjulet vil i denne løsningen gå i en standard u-profil. Denne løsningen vil kreve mindre mekanisk bearbeiding og er i tråd med hvordan POM-hjulet var festet på den første utgaven av maskinen. Denne løsningen vil kreve minst deler og vil i så måte være mest kostnadseffektiv. Her går man helt bort fra bruk av kulelager og lar POM-hjulet gli rett mot hjulstaget. Det som bør sjekkes i denne konstruksjonene er belastningen på akselen og akselinnfestingen. POM-hjulet vil få en flens slik at den ikke går for langt inn i u-profilen.

*Tabell 7.3.2 Oversikt over komponenter til konsept B. Denne refererer til figur 7.4.2.*

<i>Del</i>	<i>Beskrivelse</i>
<b>1</b>	U profil
<b>2</b>	POM hjul
<b>3</b>	Aksel
<b>4</b>	Flatjern til innfesting
<b>5</b>	<i>Firkant bom</i>



Figur 7.3.2 A) Oversikt over enkelt komponentene som refererer til tabell 7.4.2 B) Sammenstilling av konseptet.

## 7.4 Konsept forslag til innfesting av kjedehjul

Den vurderte løsning på denne komponenten vil gi stor belastning på skruen. Det er derfor fornuftig å se på andre løsninger som vil forenkle konstruksjonen og samtidig gi økt styrke.

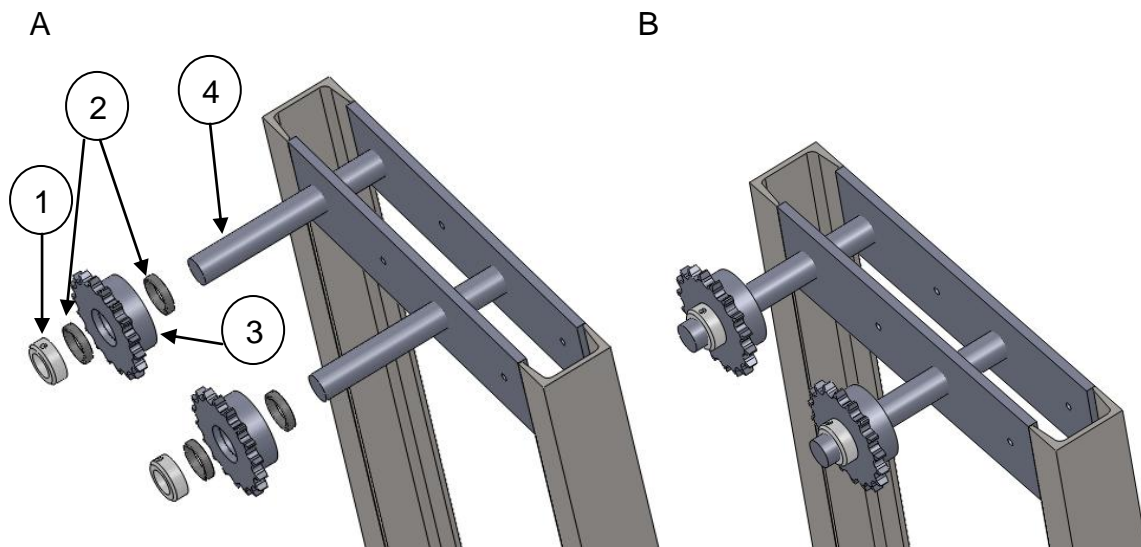
### 7.4.1 Konsept A

Ved å sveise fast akselen i bakkant av bakplaten til løpesøylen, vil man kunne ha større belastning på kjedehjulet. Kjedehjulet har her to kulelager implementert, og ved å dreie ned akselen og sette en stoppring i forkant, vil kjedehjulene være låst i aksial retning.

Tabell 7.5.1 Oversikt over komponenter til konsept A. Denne referer til figur 7.4.1.

<i>Del</i>	<i>Beskrivels</i>
<b>1</b>	<i>Låse ring</i>
<b>2</b>	<i>Kulelager</i>
<b>3</b>	<i>Kjedehjul</i>
<b>4</b>	<i>Kjedehjuls aksel</i>





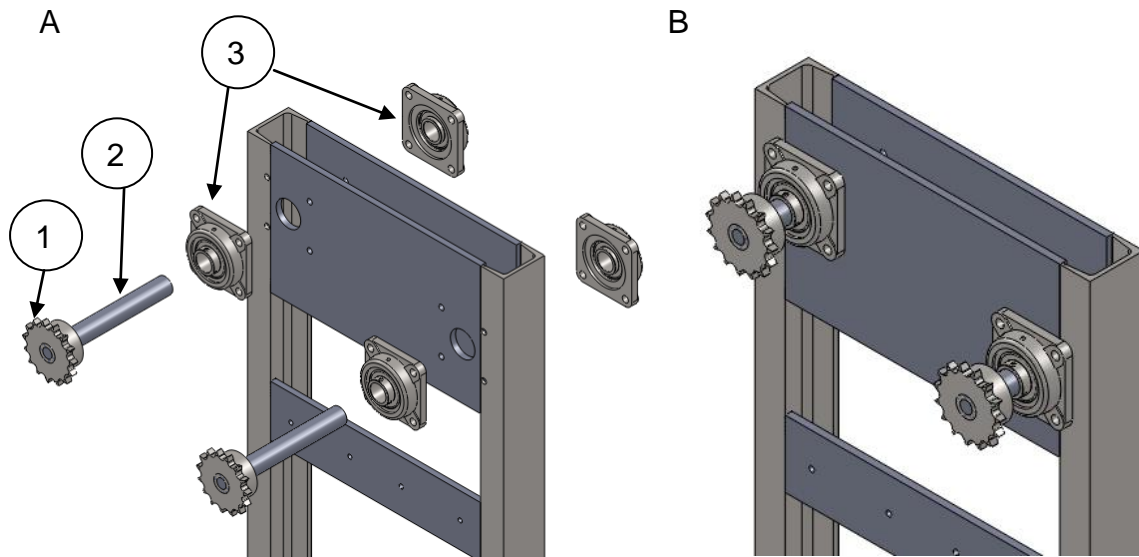
*Figur 7.4.1 A) Eksplovert tegning av konsept nummereringen referer til tabell 7.4.1. B) Sammenstilt tegning av konseptet.*

#### 7.4.2 Konsept B

Her vil akselen rotere i lagerhus og kjedehjulet vil være sveist fast i akselen. Belastningen vil være fordelt på samme måte som forrige konsept og akselen låses i aksial retning ved hjelp av sett skruer i lagerhuset.

*Tabell 7.4.2 Oversikt over komponenter konsept B. Denne referer til figur 7.4.2*

<i>Del</i>	<i>Beskrivelse</i>
<b>1</b>	<i>Kjedehjul</i>
<b>2</b>	<i>Kjedehjulsaksel</i>
<b>3</b>	<i>Lagerhus</i>



*Figur 7.4.2 A) Ekspodert versjon av konseptet. Nummereringen referer til tabell 7.4.2  
B) Sammenstilt modell av konseptet.*

## 7.5 Konseptforslag til stabiliseringselementer

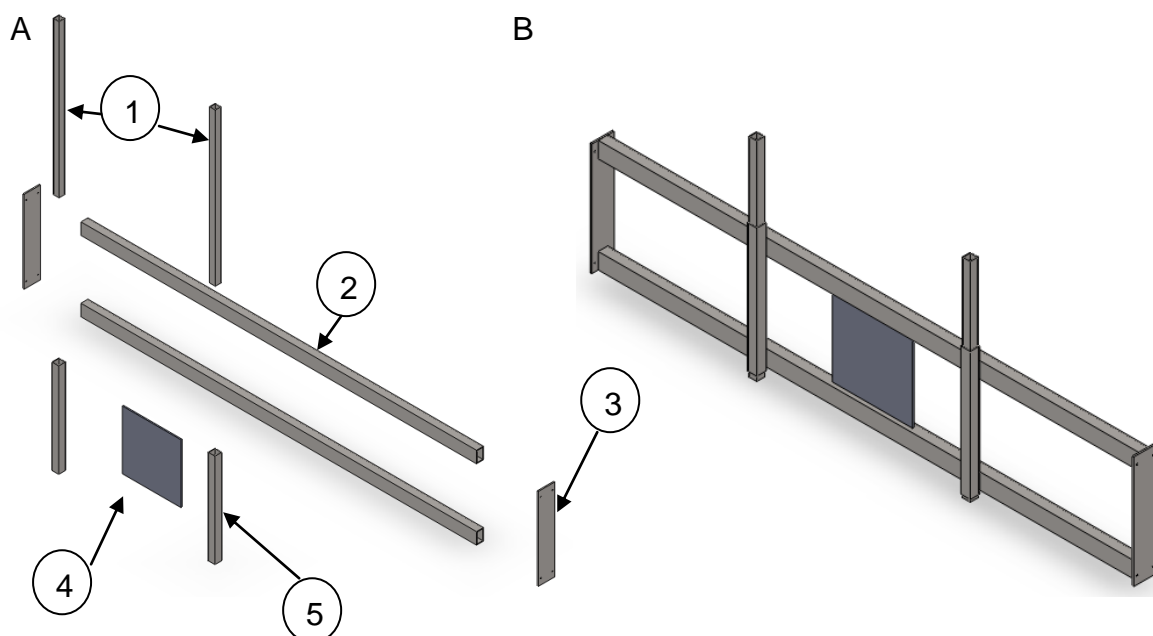
I den første versjonen av denne maskinen så man at det forplantet seg bevegelser til hele maskineriet når heisene var i drift. Dette var noe man ønsket å bedre på i den neste versjonene av maskinen. Det at man har valgt fire søyler fremfor to vil automatisk gi økt stabilitet, men man er fortsatt ikke sikker på om dette er tilstrekkelig for å fjerne all bevegelse. Det er nødvendig å ha teleskopstenger mellom mottaksbordet og stablerammen, noe som kan kombineres med stabilisering av løpesøylene. Det vil også være fornuftig å innføre stabiliseringselementer mellom motorsøyle og søyle til stableramme.

### 7.5.1 Konsept A

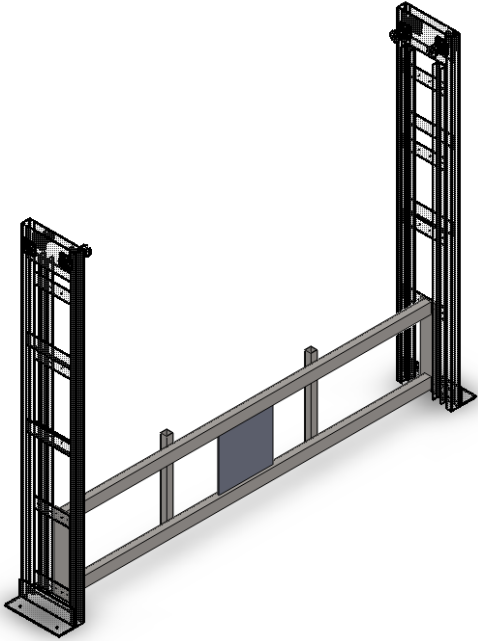
Her har vi sveist sammen to firkantprofiler til to flattjern. På disse har vi sveist på rør til teleskopløsningen som er mellom mottaksbordet og stablerammen. For å øke stivheten til konstruksjonen er det innført en plate i midten som vil ta opp vridning på rammen.

*Tabell 7.5.1 Oversikt over komponenter konsept A. Denne refererer til figur 7.5.1.*

Del	Beskrivelse
1	Firkantprofil (teleskoprør)
2	Firkantprofiler (tverrforbindelser)
3	Flatjern
4	Stabiliseringsplate
5	Firkantprofil (teleskoprør fastmontert)



*Figur 7.5.1 A) Eksplodert versjon av konseptet. Nummereringen referer til tabell 7.5.1  
B) Sammenstilt modell av konseptet.*



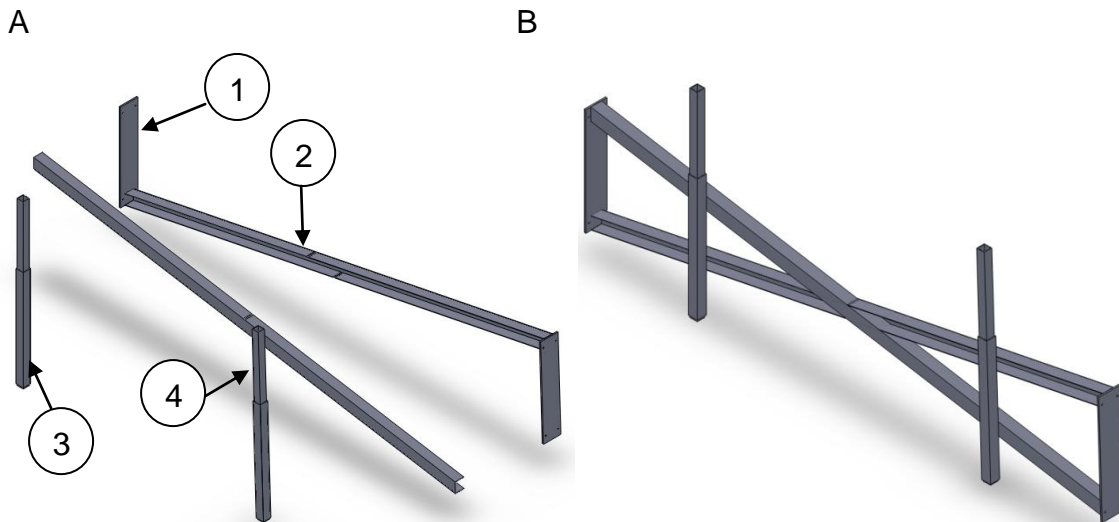
*Figur 7.5.1 stabiliseringsdel montert mellom løpesøyler.*

### 7.5.2 Konsept B

Her er to u profiler satt sammen i kryss for å øke stabiliteten. Teleskop løsningen er sveist på samme måte som i konsept A.

*Tabell 7.5.2 Oversikt over komponenter til konsept B. Denne referer til figur 7.5.2*

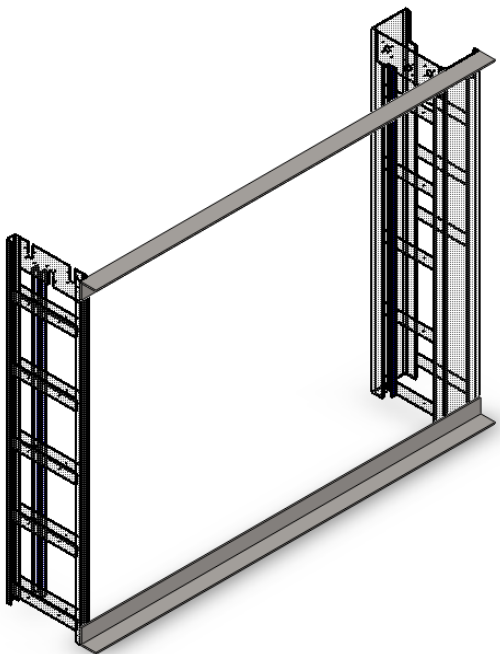
Del	Beskrivelse
1	Flatjern
2	Firkantprofiler (tverrforbindelser)
3	Firkantprofil (teleskoprør fastmontert)
4	Firkantprofil (teleskoprør)



*Figur 7.5.1 A) Ekspodert versjon av konseptet. Nummereringen referer til tabell 7.5.2  
B) Sammenstilt modell av konseptet.*

### 7.5.3 Stabilisering mellom motorsøyle og søyle til stableramme.

Motorsøylen vil i utgangspunktet være relativt stabil på grunn av grunnflaten til søylen. Søylene til stablerammen vil kunne bli ustabil da den er like smal som løpesøylene. Disse søylene er forbundet med motorbommen fra før, men da denne er festet med settskruer i lagerhusene er det fornuftig å implementere noen ekstra stabiliseringsdeler her også. Da det kan bli aktuelt å sette opp beskyttelsesgitter på baksiden av maskinen bør man finne komponenter som man kan bruke til innfesting av disse. Det enkleste å gjøre her er å sett inn to vinkeljern øverst og nederst på søylene. Her vil jeg ikke vurdere flere løsninger da denne løsningen er vurdert som god nok.



*Figur 7.5.3 Stabilisering av motorsøyle og søyle til stableramme med to vinkeljern.*

## 7.6 Konseptvalg.

For å velge ut hvilke konsepter man skal gå videre med har jeg valgt å benytte meg av en seleksjonsmatrise. Her velger jeg å vekte kriterier som er relevante for konstruksjonen. I seleksjonsmatrisene velger jeg å ta med det opprinnelige konseptet og de nye konseptene som er generert. Kriteriene som er valgt ut med hensyn på vektning ble bestemt i samråd med Adigo og er et utvalg vi bruker igjen i redesignkapitlet senere. Her har vi tatt en helhetlig vurdering som innebærer økonomisk, teknisk og konstruksjonsmessig optimalisering. Vektingen av kriterier er gjort på en skala fra en til fem hvor fem er viktigst. I seleksjonsmatrisen er de ulike konseptene vurdert ut fra hvilken grad de oppfyller kriteriene på en tilsvarende skala. Den endelige poengsummen er produktet av vektingen og konseptvurderingene summert sammen. Dette er en grov anslagsgivende fremgangsmåte som ikke er tilfredsstillende statistisk sett, men vil gi et godt nok grunnlag for utvelgelse av konseptene.

*Tabell 7.6.1 Vekting av kriterier på en skala fra en til fem.*

Nr	Kriterier	Beskrivelse	Vekting
1	Stabilitet	I hvilken grad komponentene bidrar til stabilitet av konstruksjonen.	5
2	Konstruksjon	I hvilken grad komponentene er enkel å lage med hensyn på mekanisk etterarbeid, som for eksempel sveising og drilling.	5
3	Forenkling	I hvilken grad komponentene bidrar til en total forenkling av konstruksjonen. Dette innbefatter hvor mange funksjoner som blir integrert i den enkelte komponenten	4
4	Design	I hvilken grad komponentene bidrar til det helhetlige utseende på maskinen.	3
5	Kostnader	Hvordan konseptet bidrar i den totale kostnaden.	5
6	Transport	I hvilken grad komponentene bidrar til forenkling av emballering og transport.	4
7	Drifts sikkerhet.	I hvilken grad komponentene bidrar til den helhetlige driftsikkerheten.	5

Tabell 7.6.2 seleksjonsmatrise for løpekattene

	Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3	5	4	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>Original</b>		3	3	4	4	3	5	3	108
<b>A</b>		5	4	3	5	4	5	3	127
<b>B</b>		5	5	5	4	5	5	5	<b>152</b>

Her er løsningen med innkjøpte løpekatter vurdert opp mot de to nye konseptene. Her ble konsept B preferert og vi velger å gå videre med denne i dimensjoneringen.

Tabell 7.6.3 Seleksjonsmatrise innfesting kjedehjul

	Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3	5	4	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>Original</b>		4	4	4	4	4	4	3	119
<b>A</b>		5	4	5	5	4	4	5	<b>141</b>
<b>B</b>		4	3	5	4	5	4	5	133

Her ser vi på løsningen hvor kjedehjulet er festet med bolt opp mot de nye konseptene. Her ble konsept A preferert og jeg velger å regne videre på denne løsningen.

Tabell 7.6.4 Seleksjonsmatrise stabiliseringselement

	Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3	5	4	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		4	5	5	5	5	4	5	<b>146</b>
<b>B</b>		5	4	4	4	5	4	5	139

Her vurderer vi de to løsningene på stabiliseringselementene opp mot hverandre. Her og her ble konsept A preferert, og jeg velger å gå videre med denne i dimensjoneringen.

## 7.7 Grunnlagsberegninger

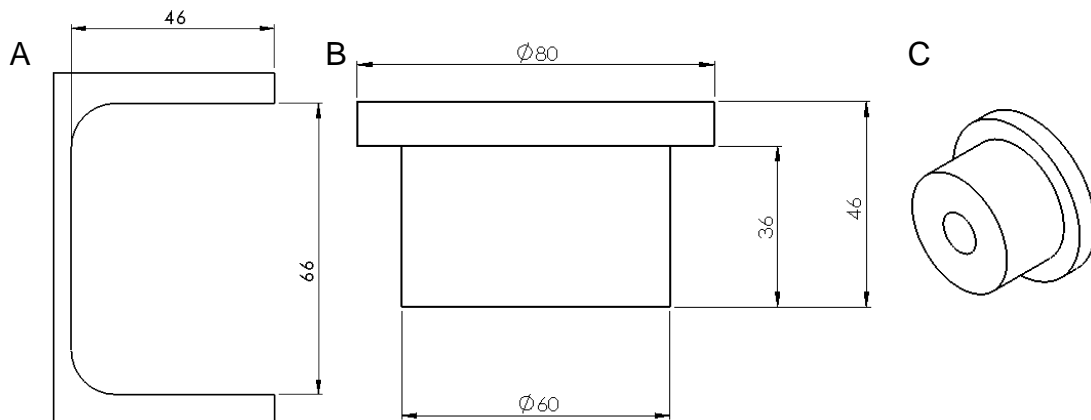
Her vil de kritiske elementene bli dimensjonert. Her har jeg valgt å finne minste tillatte dimensjonen som er nødvendig. Deretter har jeg valgt dimensjon på bakgrunn av hvordan de passer overens med innkjøpte deler og estetiske hensyn.

### 7.7.1 Kartlegging av belastninger på løpekatter

Da man skal se på løsninger til løpekattene vil det også være aktuelt å kartlegge belastningene som disse blir utsatt for. Stablerammen har et oppheng i alle fire hjørnene og dermed vil belastningen på løpekattene her være neglisjerbare. Men på mottaksbordet vil det oppstå en belastning på løpekattene på grunn av vekt av rør og egenvekten. Jeg bruker her den største dimensjonen på rørene som referanse og plasserer den i mest belastende posisjon. Jeg bruker det maksimale momentet som røret og elementer av mottaksbordet skaper om  $M$  for å finne belastningene på løpekattene. (Tabell 5.2.4)

### 7.7.2 Løpehjul

I valgte løsning ønsker vi å bruke en standard upe 80-kanal til løpekattene. Vi dimensjonerer løpehjulet ut fra dette. Løpehjulene vil bli laget i POM.



*Figur 7.7.2 A) Tverrsnitt av UPE 80 B) Dimensjoner til POM-hjul som passer inn i kanalen. C) Isometrisk fremstilling av POM-hjul med hull til aksel. (Alle enhetene på illustrasjonen er i mm.)*

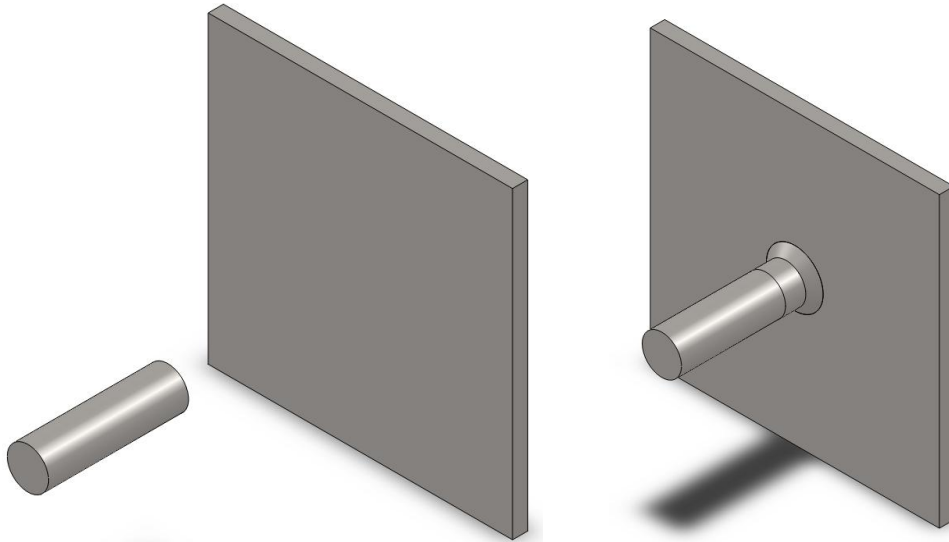
Ved valget av POM som løsning så jeg på nødvendigheten av å bruke kulelager i POM-hjulet. Friksjonskoeffisienten mellom POM og stål er på 0,2 [8]. Da hastigheten til maskinen er såpass lav, er det vurdert som unødvendig å innføre kulelager i denne delen.

### 7.7.3 Hjulaksel

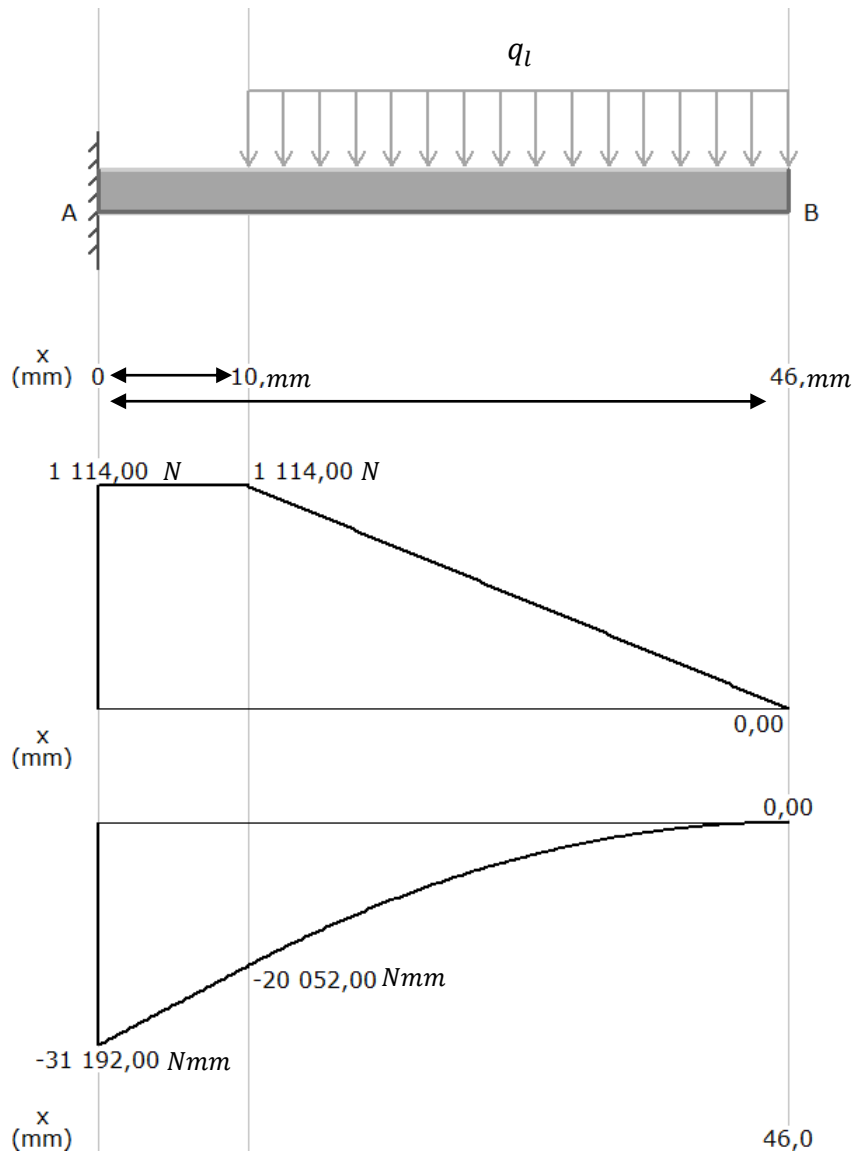
Det som blir kritisk i den nye løsningen av løpekattene er hjulaksel og innfesting av denne. Vi har tidligere avdekket at denne løpekatten vil ta opp momentet som mottaksbordet blir utsatt for. Platestålet som akselen skal festes i setter vi her til å ha en tykkelse på 10 mm, da dette er platen som holder mottaksbordet sammen og er dimensjonert ut fra sammenstillingen av dette. Som tidligere nevnt er hastigheten på



denne maskinen relativt lav. Det er heller ingen kjerv på akselen. Vi kan anta at akselen vil bli utsatt for vekslende bøyninger, og torsjonen blir ansett som neglisjerbar på grunn av den lave farten og den lave friksjonskoeffisienten. Dermed blir det naturlig å finne bøyespenningen som grunnlag for dimensjoneringen. Vi lar aksellengden være lik dybden på POM-hjulet. I beregningene vil jeg la belastningen være jevnt fordelt på den delen av POM-hjulet som går i skinnen. Her legger jeg konstruksjonselementboka til grunn for beregning av akseldiameter.



*Figur 7.7.3 Eksplodert og sammenstilt modell av kritiske deler på løpehjulet med tenkt innsveising. Jeg har her laget en forenklet versjon uten resten av mottaksbordet, da vi skal bruke denne videre i fem analyse senere.*



*Figur 7.7.4 Her er belastningene på løpehjulsakselen illustrert med oppsettet på avstander, skjær og momentdiagram.*

Maksimal belastning på løpehjulsakselen finner vi ut fra tabell 5.2.5.

$$F_{lmaks} = 1114 \text{ N}$$

Dette blir fordelt på løpehjulsakselen

$$l_{bls} = 36 \text{ mm}$$

Den fordelte lasten her vil da bli:

$$q_l = \frac{1114 \text{ N}}{36 \text{ mm}} = 30,94 \quad (7.7.1)$$

Maksimal moment på løpehjulsakselen

$$M_{lmaks} = 31192 \text{ Nmm}$$

Vi bruker akselstål her som har 510 MPa som bruddgrense. Ifølge konstruksjonselementboka kan man velge en sikkerhetsfaktor på bakgrunn av om lasten er statisk eller dynamisk. I denne konstruksjonen anser vi lasten som dynamisk. [3]

Valg av akseldiameter i henhold til klassisk fasthetslære.[3]

Bruddgrense til s355 stål.

$$R_m = 510 \text{ MPa}$$

Sikkerhetsfaktor ved dynamisk belastning på aksel.

$$\eta_{fr} = 4$$

Tillat spenning på aksel

$$\sigma_{till} = \frac{510 \text{ MPa}}{4} = \mathbf{127,5 \text{ MPa}} \quad (7.7.2)$$

Vi anser torsjonen på denne akselen som neglisjerbar. Dermed finner vi akseldiameteren ut fra bøyemomentet. Skjærspenningen vil i denne sammenhengen være neglisjerbar.

Maks tillat bøyespenning

$$\sigma_{ba} = \frac{M_{lmaks}}{W} = \frac{M_{lmaks}}{\frac{\pi * D_l^3}{32}} \leq \sigma_{till} \quad (7.7.3)$$

Omskriver denne formelen og finner minste tillatte diameter.

$$D_l = \sqrt[3]{\frac{31192 \text{ Nmm} * 32}{\pi * 127,5 \text{ MPa}}} \leq \mathbf{13,6 \text{ mm}} \quad (7.7.4)$$

Her ser vi at minimum størrelse på akselen må være over 13,6mm

### Sjekk av innsveising i henhold til Eurocode 3

Akselen sveise fast i platen med en kilesveis. Jeg velger å prøve med minste tillatte a-mål som er 3mm på stålkonstruksjoner. Her benytter jeg eurokode 3 for å sjekke sveisen. [11]

Dimensjonerende spenning til kile sveisen.

Brudd grense til 355 stål  $R_m = 510 \text{ Mpa}$

Materialfaktor  $\gamma_{M2} = 1,25$

Korrelasjonsfaktor  $\beta_w = 0,9$

$$\sigma_d = \frac{510 \text{ Mpa}}{1,25 * 0,9} = \mathbf{453 \text{ Mpa}} \quad (7.7.5)$$

Finner den jevnførende spenningen på sveisen.

Vi må først finne andre arealmomentet til selve sveisen.

Diameter sveis a-mål  $D_{Is} = D_l + 2 * a - \text{mål} = 19,6 \text{ mm}$  (7.7.6)

$$I_{s_l} = \frac{\pi}{64} * (19,6^4 - 13,6^4) = 5565 \text{ mm}^4 \quad (7.7.7)$$

Finner bøyespenningen

$$y = 9,8 \quad (7.7.8)$$

$$\gamma_f = 1,5$$

$$\sigma_{bs} = \frac{31192}{5565} * 9,8 * 1,5 = \mathbf{82,4 \text{ Mpa}} \quad (7.7.9)$$

Finner den parallelle skjærkraften

Areal til sveis  $A_s = 156,5 \text{ mm}^2$  (7.7.10)

$$\tau_{b_{s\parallel}} = \frac{1114 * 1,5}{156,5} = \mathbf{10,7 \text{ Mpa}} \quad (7.7.11)$$

Finner Normalspenningene

$$\sigma_{s_{\perp}} = \tau_{s_{\perp}} = \frac{82,4}{\sqrt{2}} = \mathbf{58,3 \text{ Mpa}} \quad (7.7.12)$$

Finner den jevnførende spenningen

$$\sigma_{jfs} = \sqrt{58,3^2 + 3 * 58,3^2 + 3 * 10,7^2} = \mathbf{118 \text{ Mpa}} \quad (7.7.13)$$

Den jevnførende spenningen ligger godt under den dimensjonerende spenningen

$$\sigma_d > \sigma_{jfs}$$

$$\mathbf{453 \text{ Mpa} > 118 \text{ Mpa}}$$

Dermed kan man konkludere med at en sveis med et a-mål på 3mm er tilstrekkelig i denne sammenheng.

#### 7.7.4 Utmatting av sveis i henhold til Det Norske Veritas

Her forenkler jeg ved å benytte tre ulike laster for å beregne utmattingen til akselen. Jeg velger maksbelastning og tomt bord samt 800 mm rør, 600 mm rør og tomt bord. Ifølge førsteamanuensis Geir Terjesens forelesningsnotater, skal man benytte en litt annen fremgangsmåte for å finne jevnførende spenning på sveisen. [13]

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{s\perp}^2 + 3\tau_{s\perp}^2 + 0,2\tau_{s\parallel}^2} \quad (7.7.14)$$

Tabell 7.7.1 Jevnførende spenninger ved ulike belastningstilfeller

Last tilstander	$F_l$ N	$M_l$ Nmm	$\sigma b_s$ MPa	$\tau b_{s\parallel}$ MPa	$\sigma_{s\perp} = \tau_{s\perp}$ MPa	$\sigma_w$ MPa
Tomt bord	392,0	10976,0	19,3	2,5	13,7	20,7
Bord med 800rør	913,0	25564,0	45,0	5,8	31,8	48,3
Bord med 600 rør	797,0	22316,0	39,3	5,1	27,8	42,2
Maks last	1114,0	31192,0	54,9	7,1	38,8	58,9

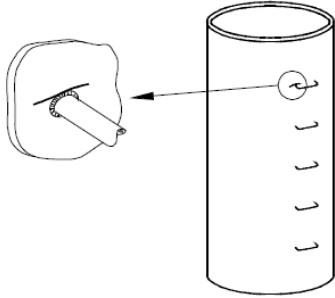
Tabell 7.7.2 Spenningsvariasjoner ved ulike belastninger og antall sykluser  $n_l$  per dag.

Belastning	$\sigma_{wmin}$ MPa	$\sigma_{wmaks}$ MPa	$\Delta\sigma_w$ MPa	$n_l$ Mpa
Maks last - Tomt bord	20,7	58,9	38,2	50
Bord med 800 rør - tomt bord	20,7	48,3	27,6	100
Bord med 600 rør - tomt bord	20,7	42,2	21,5	100

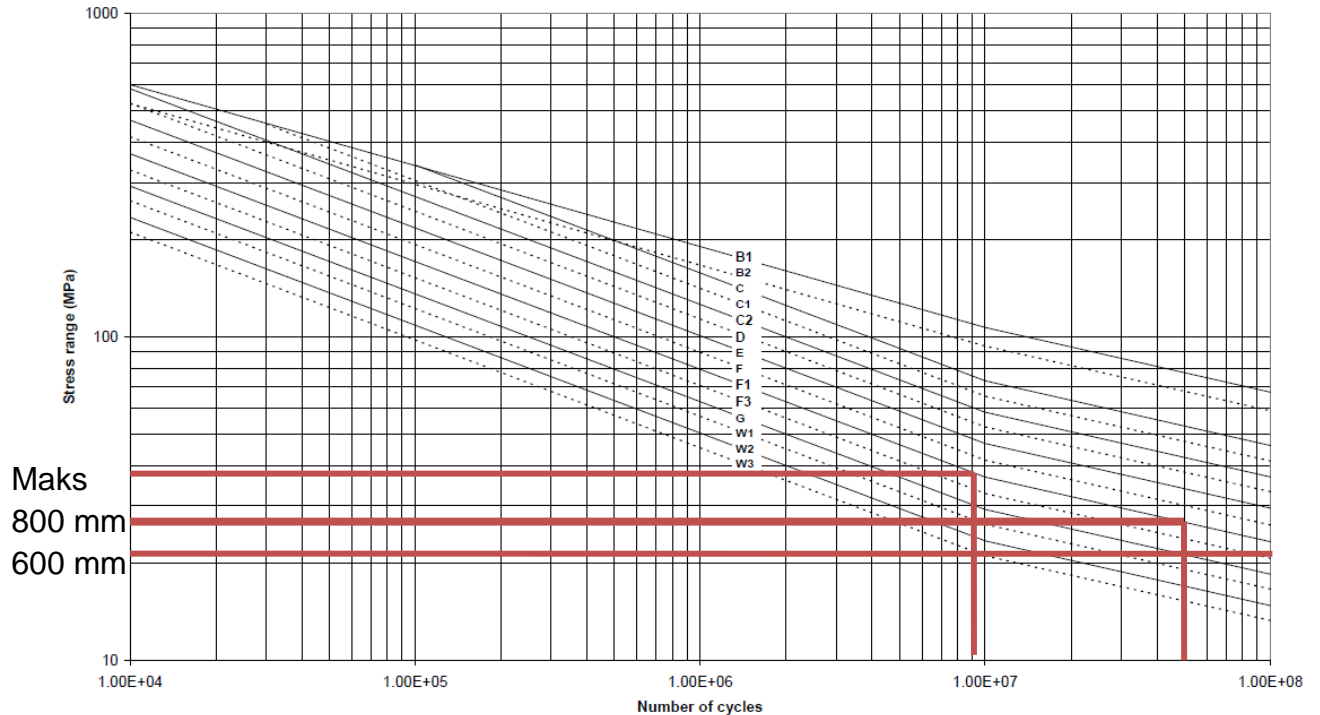
Spenningsvariasjonen i tabell 7.7.2 er gitt fra

$$\Delta\sigma_w = \sigma_{wmaks} - \sigma_{wmin} \quad (7.7.15)$$

Da jeg ikke har fått tall fra Ventistål på hvor mange rør de produserer i de ulike størrelsene, har jeg tatt et konservativ anslag på antall produserte per dag og brukt dette som et mål på hvor mange sykluser maskinen blir utsatt for per dag. Jeg benytter meg av Veritasstandarden for offshorekonstruksjoner for å beregne utmatting. [4] Her bruker jeg S-N-kurven for konstruksjonselementer i luft. I valg av kategori fant jeg at denne innsveisingen falt under kategori F1 [4].

F1	2. 	2. Welded rungs.
----	---	---------------------

Figur7.7.5 Valgt klasse ut fra det tilfellet som ligner mest på tilfellet til akselen. [4]



Figur 7.7.6 S-N Diagrammet for stålkonstruksjoner i luft med spenningsvariasjonene innsatt.[4]

Tabell 7.7.4.3 Belastningstilfellene med spenningsvariasjonen, antall dags og sykluser totalt.

	Makslast - tomt bord	800mm rør - tomt bord	600mm rør - tomt bord
$\Delta\sigma_w$	38,2MPa	27,6MPa	21,5MPa
$n_l$	50	100	100
$N_l$	$9,2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^7$	n/a

Ut fra S-N diagrammet ser vi at kun maksverdiene ligger over cut off-grensen. Jeg velger å illustrere Miner-Palmgren-metoden for å komme frem til resultatet. Hvor x angir hvor mange dager sveisen vil holde denne belastningen.

$$\sum \frac{n_l}{N_l} = x \left( \frac{50}{9,2 \cdot 10^6} \right) = 1 \quad (7.7.16)$$

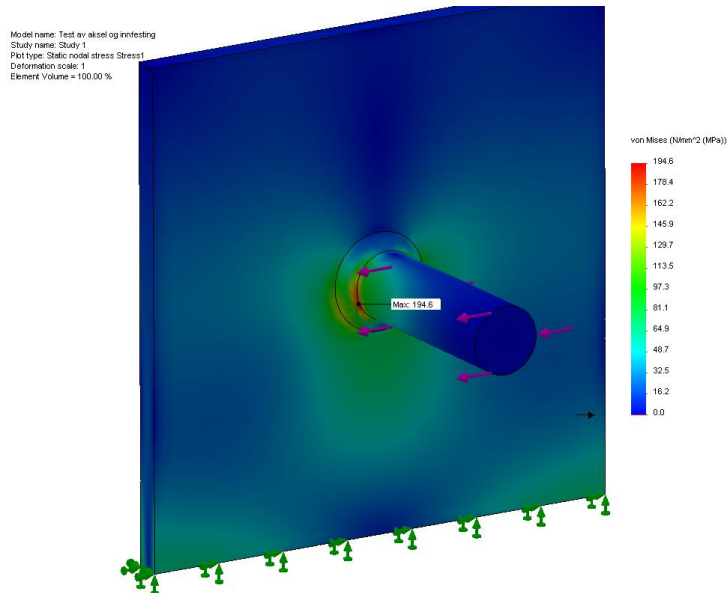
$$x = 184000 \text{ dager}$$

Vi ser at denne akselen vil holde mye lenger enn antatt levetid for en slik maskin.

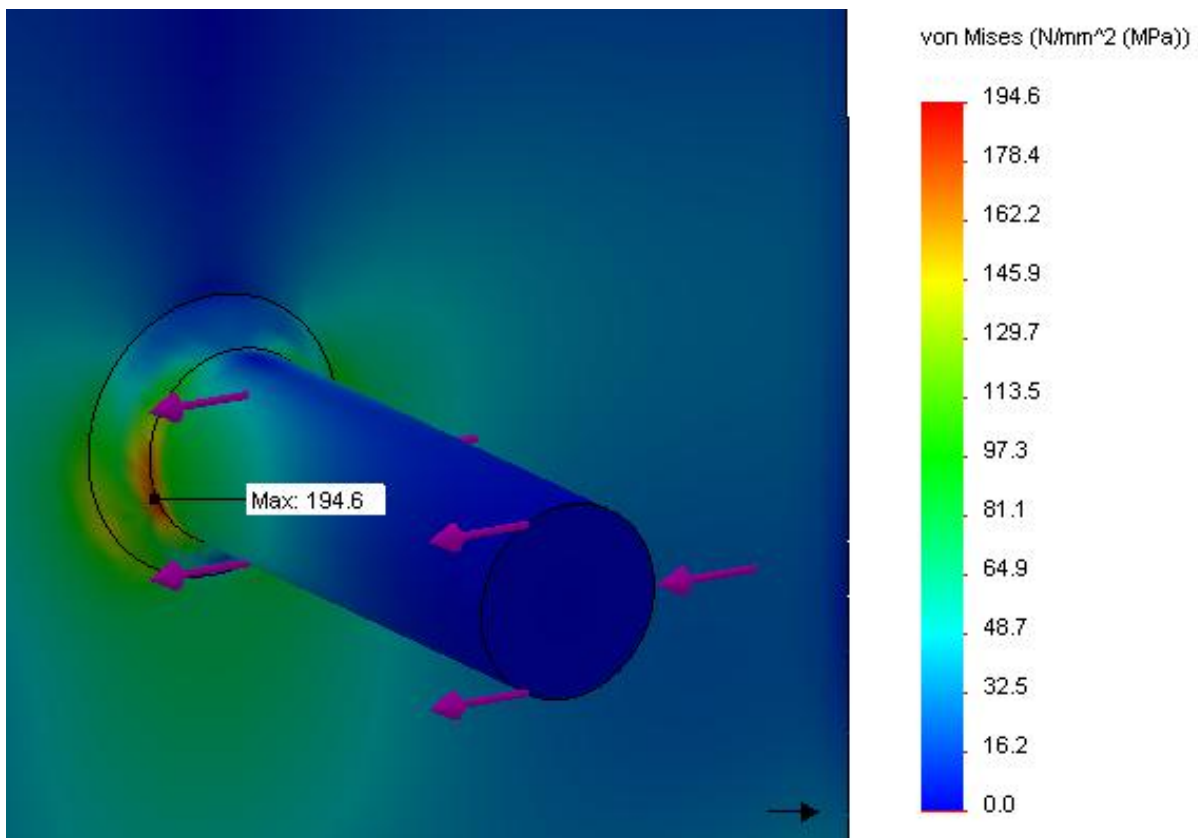
### 7.7.5 Resultater av fem analyser.

Oppsettet i denne analysen ble gjort ved at jeg laget sveisen som en part og lot festepunktene være mellom akselsveis og platesveis. Jeg låste platen i nedre del og satt på fordelte krefter på de ytterst 36 mm på akselen.

A

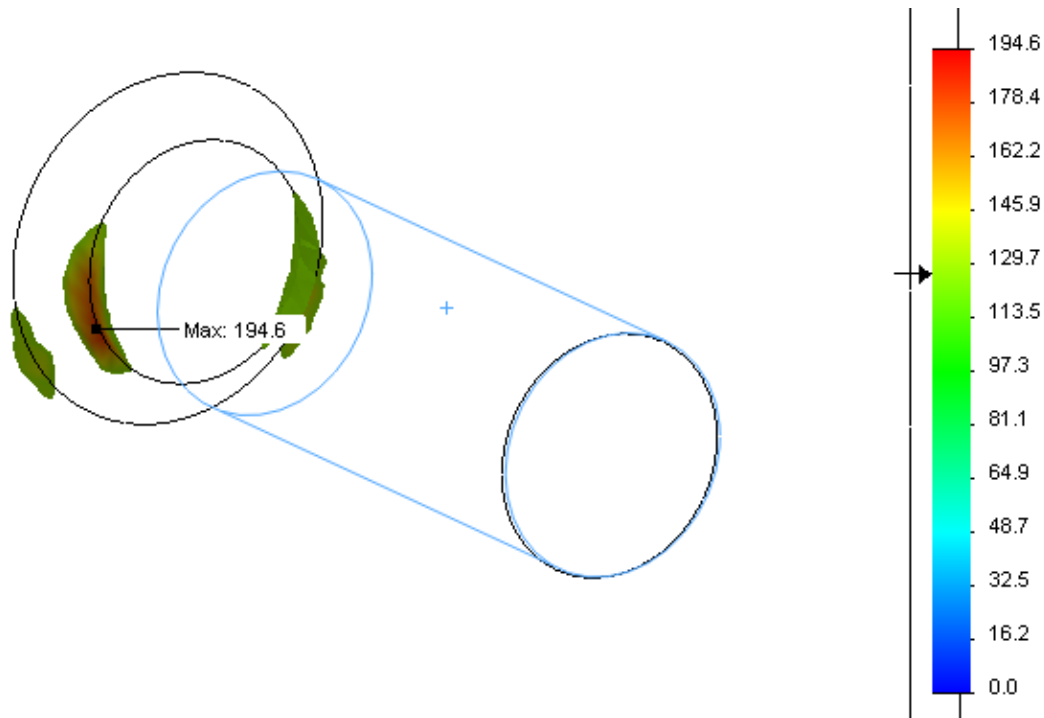


B



*Figur 7.7.7 A) Her ser vi hvordan vi har låst platen i nedre kant og hvordan belastningen er satt på. B) Her ser vi at vi har en spenningstopp som ligger i kanten av sveisen. Denne er på 196,4 MPa, noe over den tillatte spenningen vi satt på akselen, men under den dimensjonerende spenningen vi har i sveisen.*





*Figur 7.7.8 Her er det valgt å se på spenningene som ligger utenfor den tillatte spenningene på 127,5 MPa. Her ser vi at spenningene ligger i et område som ligger utenfor a-målet. De marginale området som ligger på selve akselen er helt i overflaten og ligger ikke over flytgrensen til materialet.*

Her ser vi at det finnes spenninger som ligger utenfor det tillatte spenningsområdet på 127,5 MPa . Men disse spenningene ligger i overflaten til akselen og utenfor a-målet til sveisen. I henhold til utregningen på sveisen så er dimensjonerende spenning 453 MPa og vi ser at vi ligger godt innenfor dette. Dette er derfor i tråd med de utregningene som er gjort.

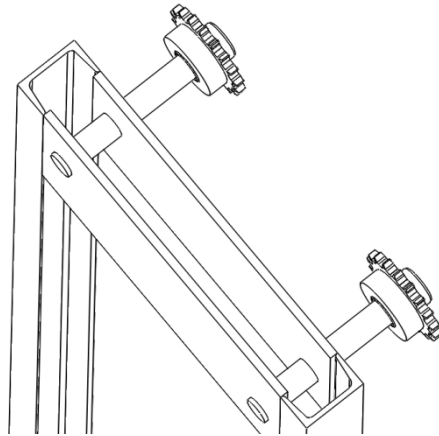
Det er ønskelig å benytte hyllevare i så stor grad det er mulig i denne konstruksjonen. Ut fra Norsk Stål sin produkt katalog [10], finner jeg at den nærmeste akseldiameteren vi kan bruke blir:

$$D_l = 13,6mm \approx 16mm$$

Her runder vi opp til nærmeste diameter på hyllevare og benytter denne i konstruksjonen.

## 7.8 Kjedehjul på løpesøyle

I seleksjonsmatrisen kom man frem til at den beste løsningen var å benytte kjedehjul med kulelager på en aksel som var satt fast i to flattjern øverst i løpesøylen.



Figur 7.8.1 Oversiktstegning over løsningen på kjedehjulinnfesting.

Ut fra beregningene som ble gjort i tabell 5.2.5 finner vi at den største belastningen vil forekomme på kjedehjulet som er til mottaksbordet. Velger derfor å gå videre med å dimensjonere dette.

### 7.8.1 Kjedehjulsaksel

Vi bruker den kartlagt belastningene på kjedet i tabell 5.2.2.

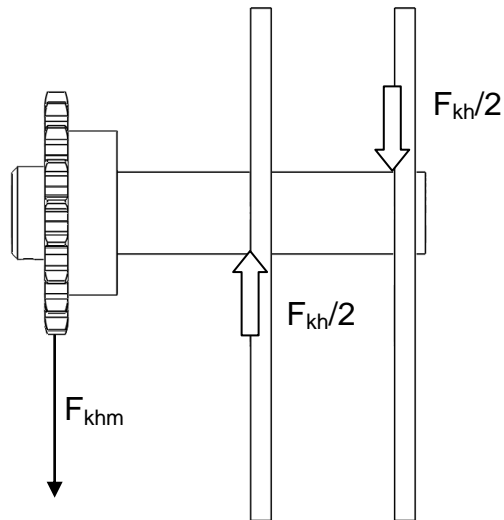
Belastning på kjedet.

$$F_{kja} = 1491N$$

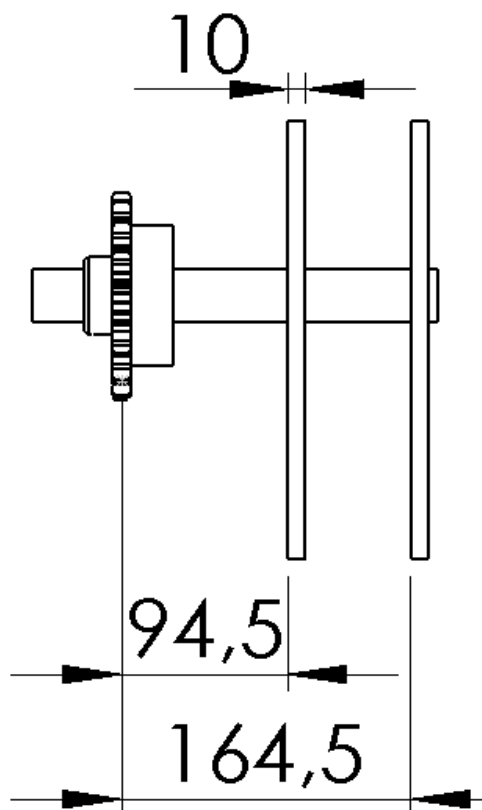
Dermed kan vi finne den totale belastningen på kjedehjulet. Ved å finne resultantkraften av kreftene i x-retning og y-retning. Dette finner vi i tabell 5.2.5.

Resultantkraften på kjedehjulet.

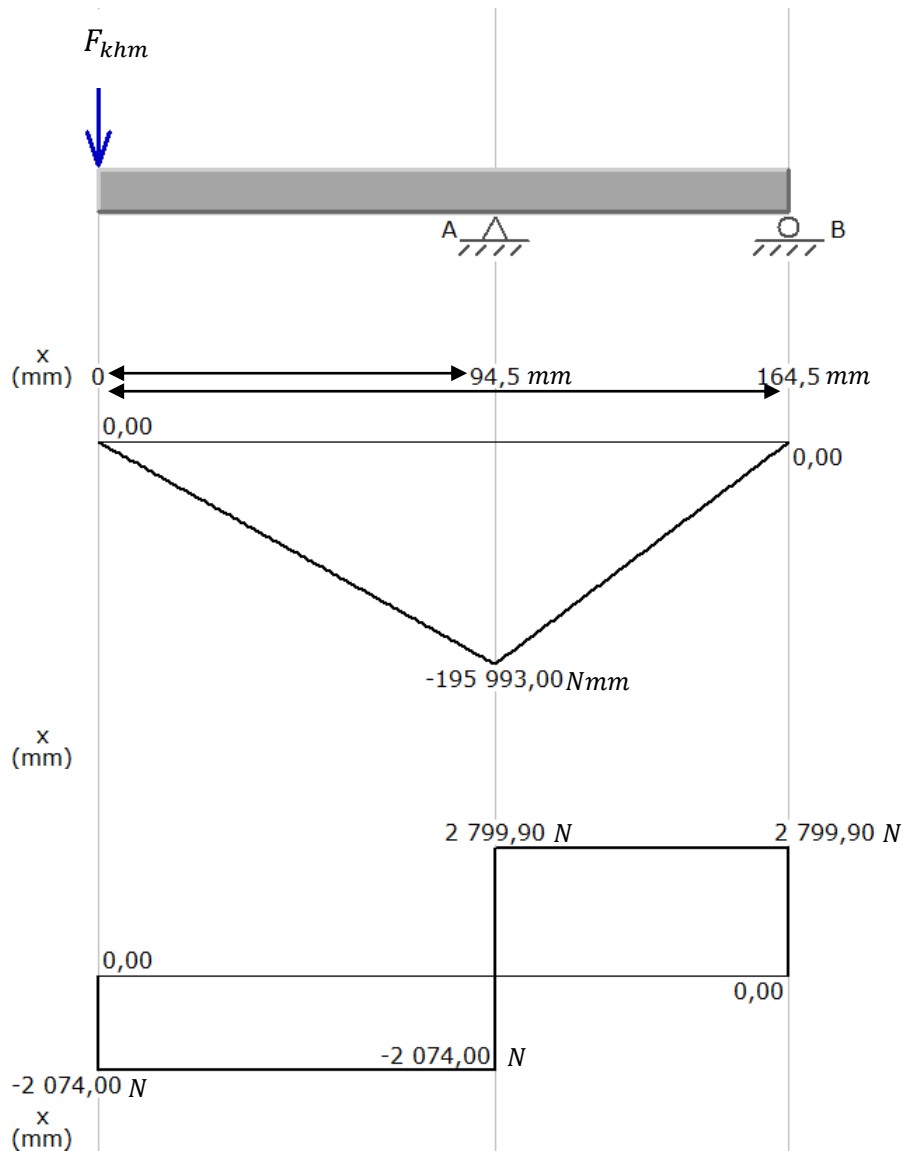
$$F_{khm} = 2074 N$$



*Figur 7.8.2* Krefter fordelt på kjedehjul aksel. Vi anser i denne beregningen at akselen er låst i den innerste platen og at vippepunktet til akselen ligger i ytterkant av den ytterste platen.



*Figur 7.8.3* Oversikt over avstander på akslene som vi benytter i denne utregningen.



Figur 7.8.4 Skjær og moment diagram til kjedehjuls akselen.

Finner maks moment på kjedehjulsaksel

$$M_{kh} = 195993\text{ Nmm}$$

Da vi her også kan anse at vi har dynamisk belastning, benytter vi samme tillatt spenning som i kapittel 7.7.3. Vi benytter samme fremgangsmåte for å finne akseldiameter.[3]

$$\sigma_{h_{till}} = \frac{510\text{MPa}}{4} = 127,5\text{ Mpa} \quad (7.7.2)$$

$$\sigma_{bakh} = \frac{M_{kh}}{W_{kh}} = \frac{195993Nmm}{\frac{\pi * D^3}{32}} = 127,5 MPa \quad (7.7.3)$$

$$D_{kh} = \sqrt[3]{\frac{195993Nmm * 32}{\pi * 127MPa}} = 25,1mm \quad (7.7.4)$$

Den minste akseldiameteren vi kan bruke her blir altså 25,1mm.

### 7.8.2 Hullkant trykk i klassisk fasthetslære.

Tykkelsen på platene som akselen skal gå i er allerede gitt da dette er en del av sammenstillingen av løpesøylen.

$$t = 10mm$$

Diameteren på hullet sier vi her å være lik diameter på akselen.

$$Dh = 25,1mm$$

Finner hullkantspenningen

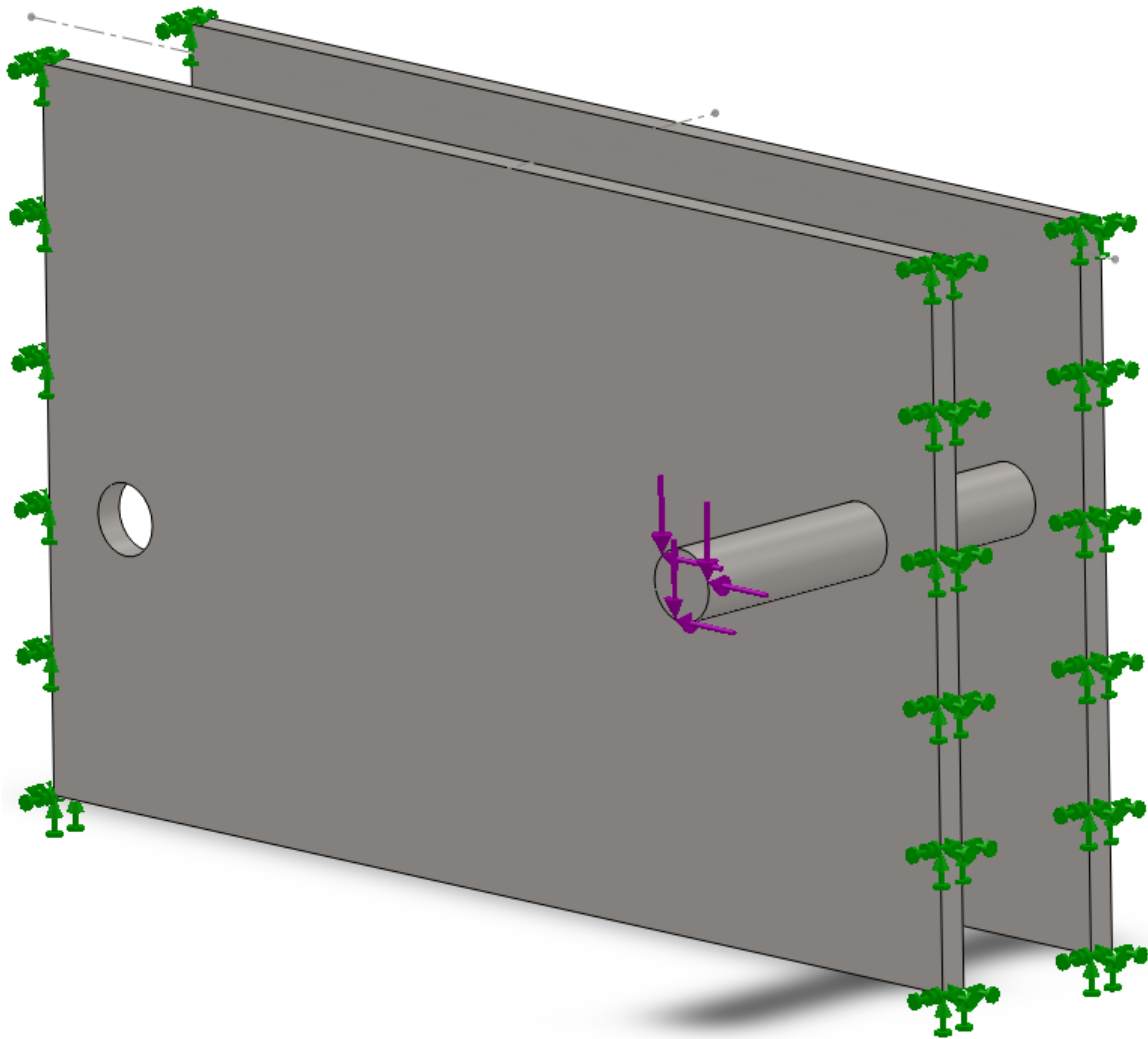
$$\sigma_h = \frac{F_{khmaks}}{t * Dh} = \frac{2799,9}{10 * 25,1} = 11,2 MPa \quad (7.7.17)$$

$$\sigma_h \ll \sigma_{lh_{till}}$$

Vi ser her at hullkantspenningen er godt under den tillatte spenningen.

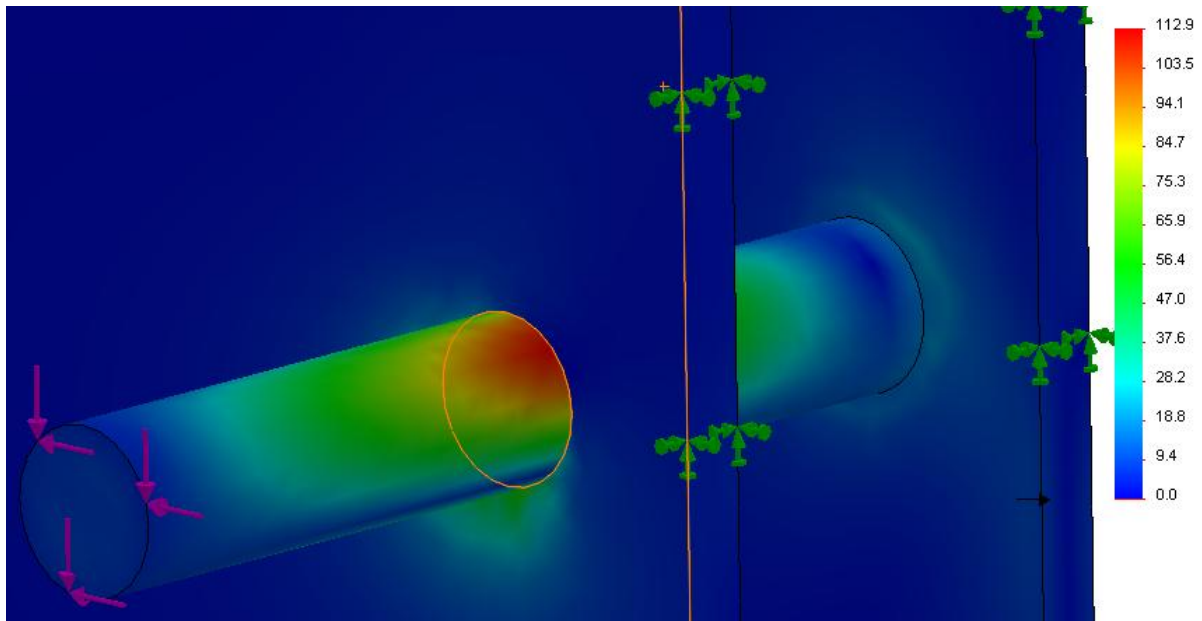
### 7.8.3 Fem analyse

Her har jeg satt det opp slik at vi forkorter akselen slik at vi kan sette belastningen i enden. Jeg setter på krefter i vertikal og horisontal retning og lar akselen gå gjennom platene. Platene blir låst i endene. Akselen er her låst i den bakre platen og ligger fritt i den fremste.

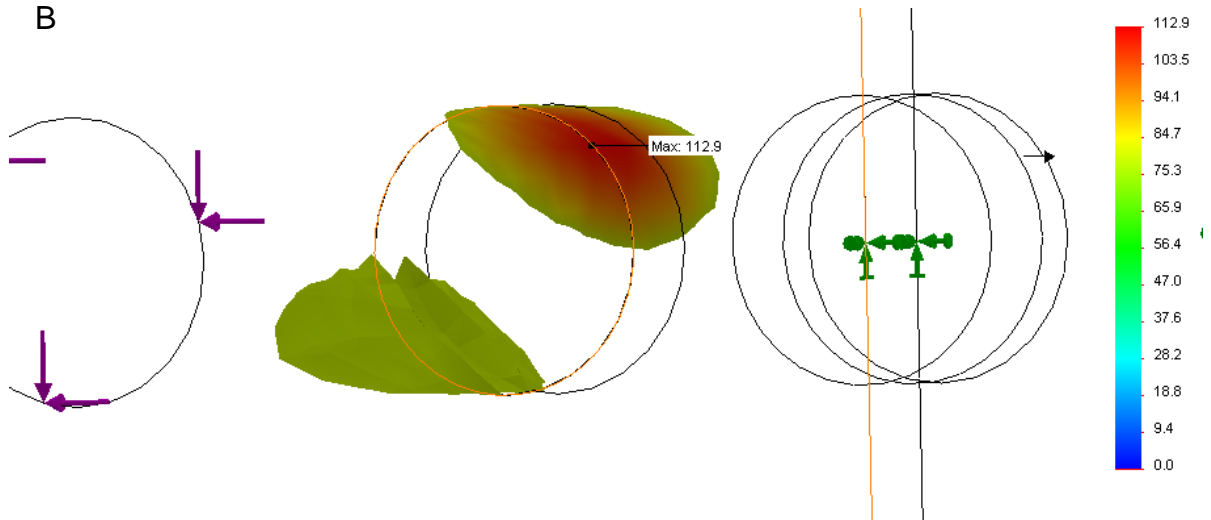


*Figur 7.8.5 Oppsett på modellen. De grønne pilene indikerer låsing og de lilla indikerer kraftbelastningen. Jeg har her valg å sett på krefter i z og y retning isteden for resultant kraften.*

A

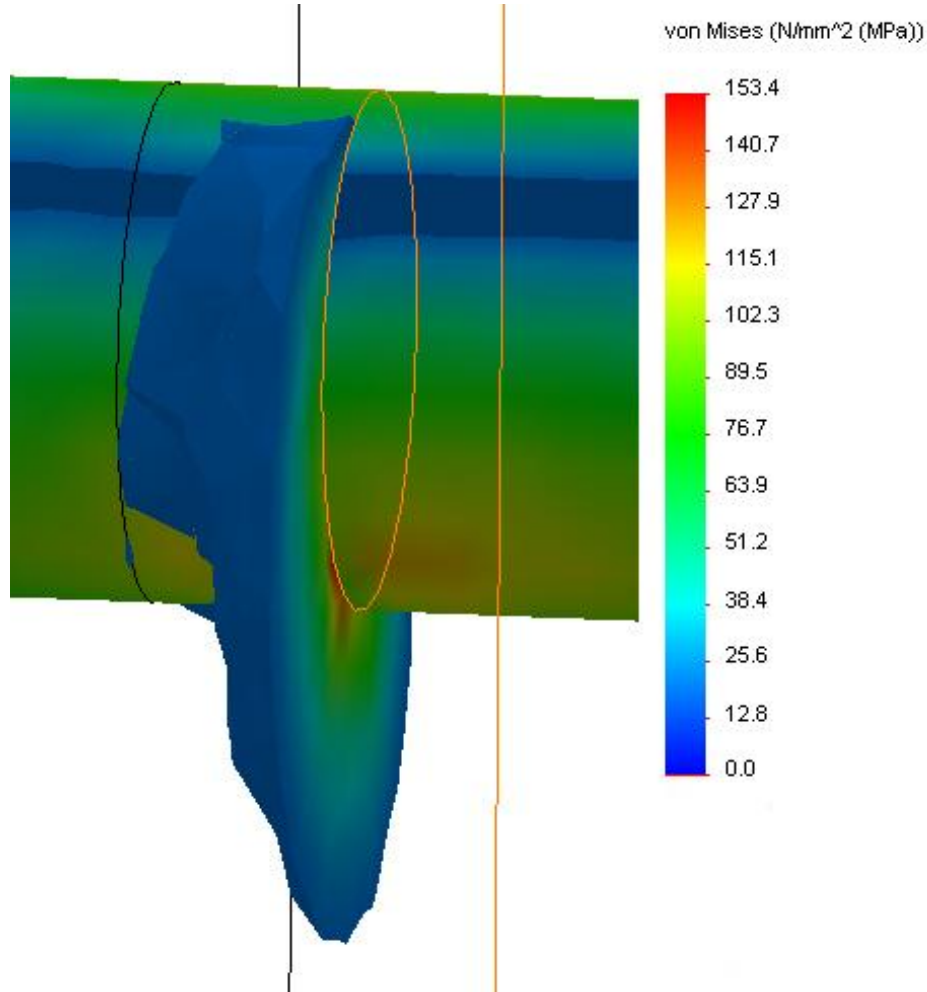


B



*Figur 7.8.4 A) Belastet aksel fullstendig spenningsbilde B) Spenningsbilde av det som ligger over 80 MPa.*

I figur 7.8.4 ser vi at maksspenningen ligger på oversiden av akselen. Dette skyldes at maksmomentet vil ligge her, og denne delen vil bli utsatt for maks strekk. Denne belastningen ligger på 112,9 MPa og ligger lavere enn tillat spenning på 127,5 MPa.



*Figur 7.8.5 Her er spenninger rundt hullkanten som ligger over 20 MPa vist.*

I figur 7.8.5 Ser vi at spenningene i femanalysen viser større hullkantspenninger enn det vi kom frem til. Vi fikk at hullkantspenningen ville komme på 11MPa, mens i femanalysen har vi spenninger opp til 125 MPa. Dette skyldes at akselen i femanalysen får en krumning som gjør at kontaktflaten akselen har med hullkanten har et mye mindre areal enn det vi har beregnet med. Men dette er uansett mye mindre enn flytgrensen til materialet. Dermed kan vi trygt gå videre med denne akselen.

Vi får en maksbelastning på akselen som er som forventet. Vi ønsker å bruke hylleware mest mulig i denne konstruksjonen og dermed bruker vi Norsk Stål sin produktkatalog [10]. Her får vi at:

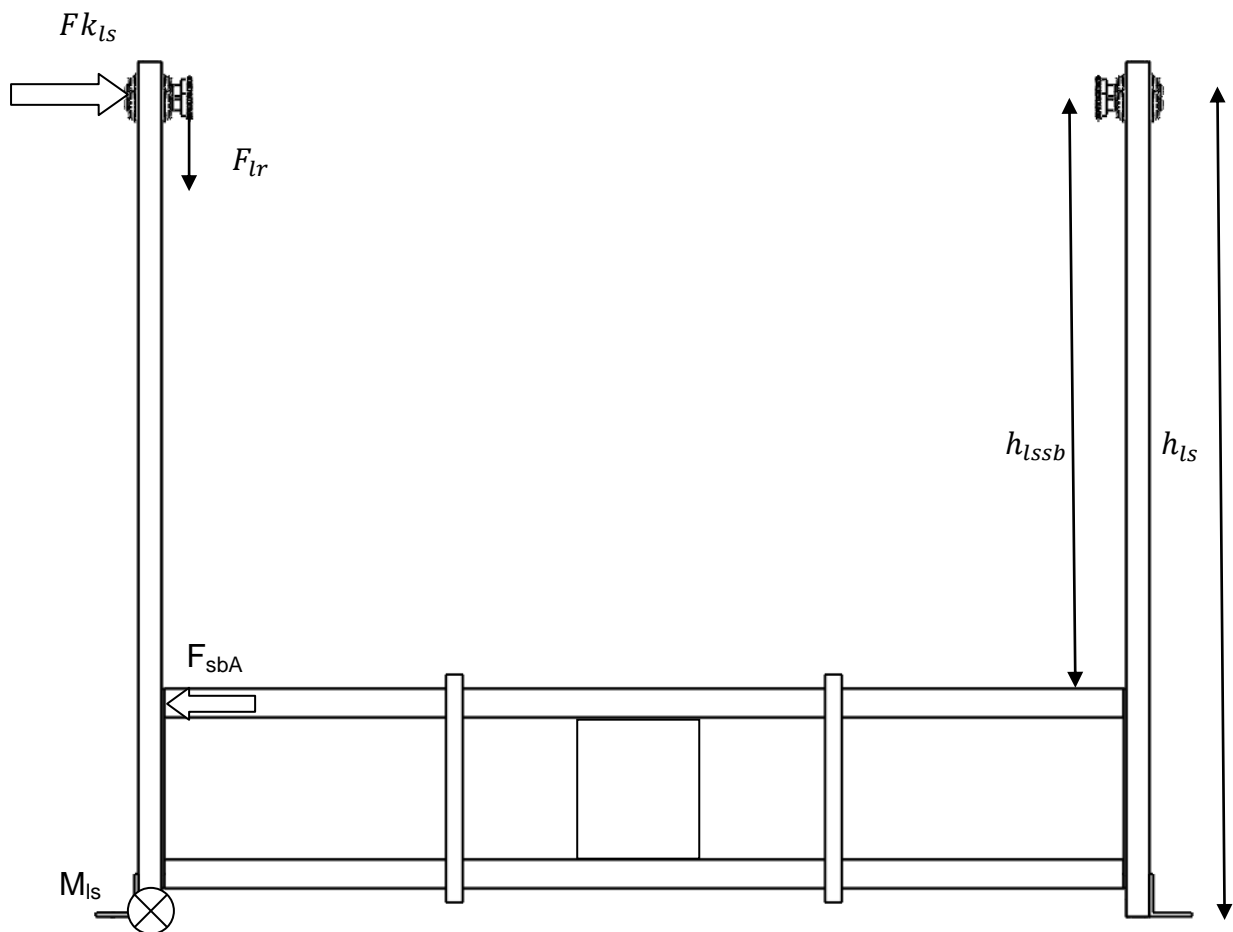
$$D_{kh} = 25,1 \text{ mm} \approx \mathbf{25 \text{ mm}}$$

Her velger jeg å runde ned til 25 mm da vi ser ut fra analysen at det ikke vil være fare for hverken brudd eller flyt i materialet med de belastningene den blir utsatt for. Risikoen ved å runde ned her anser jeg som svært liten. Vi bruker høy sikkerhetsfaktor og belastningssituasjonen er et ekstremtilfelle.



## 7.9 Stabilitet til konstruksjon

Vi avklarte at det var ønskelig å innføre stabilitetselementer i denne konstruksjonen som ville gjøre konstruksjonen stabil selv uten innbolting i gulvet. Dette for å tå høyde for ujevnt gulv eller uplan underdel på søylen, noe som ville medføre at søylen kun hvilte på et lite punkt og dermed ville være svært utsatt for ustabilitet. Etter samtaler med førsteamanuensis Geir Terjesen ved IMT har jeg funnet ut at man her kan benytte en enkel beregning på løpesøylen for å finne et kvantifiserbar mål på effekten ved innføring av stabiliseringsrammen.[18] Jeg har her valgt å se på stabiliseringsrammen som rigid.



Figur 7.9.1 Søyler med stabiliseringsramme og kreftene som vil overføres til denne.

### 7.9.1 Beregning på kritisk last på løpesøyle

Det er to belastninger som vil være aktuelle i denne utregningen. Den vertikale kraften på løpesøylen forårsaket av kraften på kjedene og en ny kraft vi innfører her som blir en kritisk sideveiskraft på løpesøylen. Denne baserer seg på erfaringer fra den forrige maskinen hvor gaffeltrucken kolliderte med konstruksjonen. Dermed får vi en samtidig sideveis og vertikal belastning på søylen.

Dette kan beregnes etter følgende formel :

$$\frac{F_{lr}}{F_{k_{till}}} + \frac{1,5 * M_{ls}}{M_{flyt}} \leq 1 \quad (7.9.1)$$

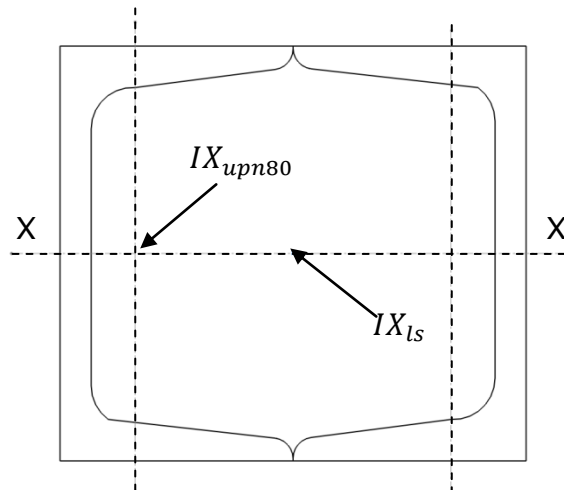
Denne formelen er en avledet variant av bøyeknekkingsformelen som står i stålhåndboken del 3. [1] Denne avledningen er gjort av førsteamanuensis Geir Terjesen ved IMT. Denne har han gjort flere forsøk med og funnet at den legger seg på litt konservativ side i forhold til de resultatene man ville fått ved bruk av eurokode 3. Det jeg ønsker å avdekke med denne formelen er den kritiske sideveiskraften maskinen kan utsettes for med og uten stabiliseringsbom. Siden jeg anser stabiliseringsrammen som stiv, anser jeg at vi får to effektive knekkledd. En som benytter hele søylen fra gulvet og opp til angrepspunktet til kraften.

$$h_{ls} = 2932$$

Samt en som går fra oversiden av stabilitetsrammen og opp til angrepspunktet til kraften.

$$h_{lssr} = 2132$$

For å kunne regne på dette må jeg finne annet arealmoment til søylen. Jeg velger å forenkle søylen ved å se bort fra platene som forbinder upn-kanalene. Dermed kan man finne et konservativt estimat på det totale andre arealmomentet ved å legge sammen andre arealmoment til de to upn 80-kanalene. Disse verdiene finner jeg i tabell i Stålkonstruksjonerboka. [12]



*Figur 7.9.2 Oppsettet til den forenklete versjonen av løpesøylen. Her ser vi bort i fra tverrforbindelsene mellom UPN 80 bjelkene og vurderer søylen som en lukket profil med to bjelker som er satt sammen.*

$$IX_{upn80} = 1,06 * 10^6$$

$$IX_{ls} = Iy_{upn80} * 2 = 2,12 * 10^6$$

$$W_{upn80} = 26,5 * 10^3$$

Jeg finner den kritiske lasten og tillatte lasten for knekking av denne søylen ved de to ulike knekk lengdene. Jeg velger å se på denne søylen som kun forankret i bunnen. Dermed kan man bruke Eulers formel og får en effektiv knekk lengde som er det dobbelte av høyden.[7]

E-modulen til stål

$$E = 210000$$

Knekkelengde

$$lk = 2 * h$$

Kritisk knekk kraft

$$Fk = \frac{\pi^2 E * IX_{ls}}{l_k^2} \quad (7.9.2)$$

Tillat knekk kraft i denne sammenhengen er

$$Fk_{till} = \frac{Fk}{3} \quad (7.9.3)$$

Dermed får man to verdier av den kritiske knekke kraften

$$Fkh_{ls\ till} = 42593,7N$$

$$Fkh_{lssr\ till} = 80556,3N$$

Vi har avdekket den vertikale kraften på søylen i tabell 5.2.6

$$F_{lr} = 2492\ N$$

Man finner det tillatte flytmomentet til tverrsnittet av disse to upn80 profilene

$$W_{ls} = \frac{2,16 * 10^6}{40} = 54000 \text{ mm}^3 \quad (7.9.4)$$

$$M_{flyt} = 355 * 54000 \text{ mm}^3 = 19,2 * 10^6 \text{ Nmm} \quad (7.9.5)$$

Momentuttrykket i ligningen inneholder den kritiske kraften jeg ønsker å finne hvor h angir høyden opp til den kritiske lasten.

$$M_{ls} = Fl_{s_{kr}} * h \quad (7.9.6)$$

Så dermed kan man skrive om ligningen slik

$$Fl_{s_{kr}} = \left(1 - \frac{F_{rl}}{F_{k_{till}}}\right) * \frac{M_{flyt}}{1,5 * h} \quad (7.9.22)$$

Av dette får jeg to ulike verdier på den kritiske lasten

$$Fl_{s_{kr}} h_{ls} = \mathbf{5786,4N}$$

$$Fl_{s_{kr}} h_{l_{ssr}} = \mathbf{8190,6N}$$

Jeg ser av dette at den kritiske sideveis belastningen denne søylen kan utsettes for vil kunne økes med

$$\Delta Fl_{s_{kr}} = \mathbf{2404,2N}$$

Dette er en betydelig styrking av stabiliteten til konstruksjonen.

## 8. PROTOTYPEBYGGING

I dette kapitlet vil jeg kartlegge hvilke produsenter og samarbeidspartnere som var involvert i prototypbyggingen. Det vil også bli avdekket hvilke endringer som ble foretatt underveis og hvilke endringer man ser er fornuftig å ta med til neste versjon av maskinen.

### 8.1 Innkjøpsdeler

Når jeg ble involvert i prosjektet var det allerede gjort mange valg når det gjaldt hvordan maskinen skulle utformes, og mye av utstyret var allerede innkjøpt eller i bestilling. Mange av innkjøpsdelen var allerede testet i den første versjonen av maskinen og man valgte å bruke disse videre. Det er valgt her å lage en oversikt over de innkjøpte delene da dette forenkler arbeidet ved utarbeidingen av neste versjon av maskinen. Det mangler dessverre enkelte

*Tabell 8.1 Oversikt over innkjøpsdeler og funksjon i maskinen*

Del	funksjon	Produsent/betegnelse	Forhandler
<b>Motorer</b>	Drift av heiser	Sew autodrive KA37DRS71M4	Sew autodrive
<b>Kjedehjul</b>	Transmisjon	Wippermann/ 15tenner 30mm hull og 8mm kilespor	Jens s
<b>Kjede</b>	Transmisjon	Wippermann/12B-1	Jens s
<b>Div kjededeler</b>			Jens s
<b>Pneumatisk stempel</b>	Fall lem stableramme	RT 57240-M-20 + QM- 570-24 + QM-57040-26	Norgren
<b>Pneumatisk styring</b>	Fall lem stableramme	Produktnummer: 2622300305202400	Norgren
<b>Lagerhus</b>	Innfesting Kjedebom og kjedehjul	Jula/ SAE 5210000 art.nr: 339457	Jula
<b>Frekvensomformere</b>	hastighetsregulering av elektromotorer	Mitsubishi	omron
<b>Kabelgate</b>	Innfesting av induktive givere		otra

Tabell 8.1 Fortsetter fra forrige side.

Del	funksjon	Produsent/betegnelse	Forhandler
Kjedeføringer	Styring av motveker		Jens s

## 8.2 Samarbeidspartnere

I utviklingen av prototypn av denne maskinen var det to hovedaktører som var involvert. Thornæs Jern og Metall (TJM) var en aktiv samarbeidspartner i utviklingen av den første utgaven, og det var naturlig at de også ble brukt i utviklingen av denne versjonen av maskinen. Almeq AS på Langhus ble kontaktet da man trengte et lokale til å bygge denne maskinen. De fikk etter hvert også en større rolle og vil antakeligvis være de som setter sammen den neste versjonen av maskinen.

*Tabell 8.2.1 Oversikt over hvilke firma som produserte de enkelte delene til den andre versjonen av Tubestacker.*

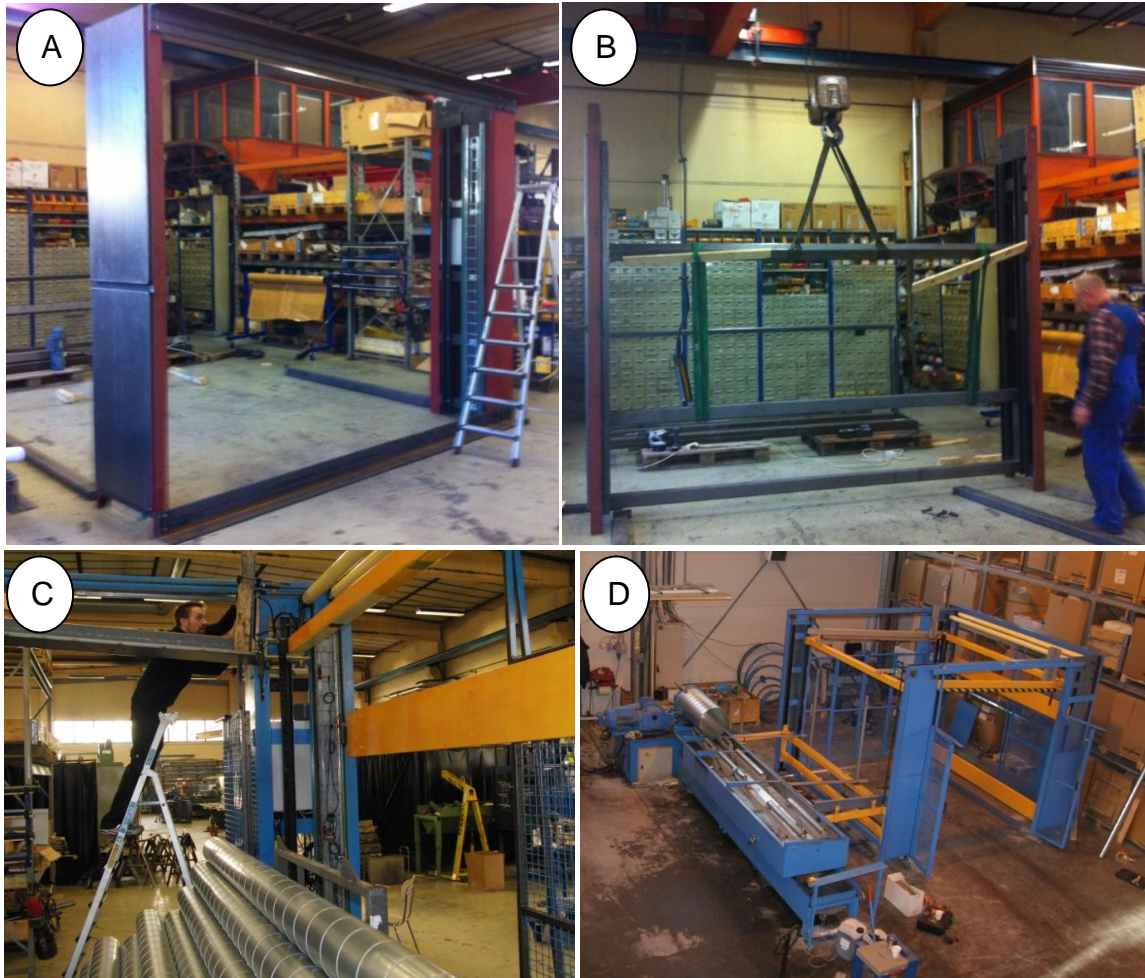
Firma	Produserte deler
<b>TJM</b>	Søyler
	Mottaksbord
	stableramme
	Deksler
	Stabiliseringselementer
<b>Almeq AS</b>	Motor bom med tannhjul
	Tannhjul på aksel til løpesøyle

TJM fikk i oppdrag å lage de fleste statiske og dynamiske elementene. De fleste delene vi fikk herfra var utført riktig etter målene, men det viste seg at sveisen på søylene ikke var gode nok og vi fikk derfor sveiseren på Almeq til å gå over disse. Det ble en del skjevhet i søylene også på grunn av spenning i materialet ved sveisingen. En generell vurdering er at man bør benytte sveiseren på Almeq til sammenstilling av den neste maskinen, mens TJM kan benyttes til knekking og tilpassning av deler.

## 8.3 Sammenstilling av maskinen

Det var i utgangspunktet tenkt av Per Andersen og en tidligere samarbeidspartner til Adigo skulle bygge maskinen, men på grunn av sykdom ble jeg hyret inn til byggingen. Byggeprosessen startet med at vi var på TJM for å overse byggingen av komponentene der. I denne fasen tegnet jeg verkstedstegninger av mottaksbordet og

stabiliseringselementene (vedlegg). Når enkeltkomponentene var ferdigstilt, satte vi i gang sammenstillingen på Almeq sine lokaler på Langhus. En stor fordel ved å bruke lokalene til Almeq var at de hadde traverskran, noe vi brukte hyppig under sammenstillingen av maskinen. Dette bidro til at vi klarte å sette sammen rammeverket på ganske kort tid. Vi tok under denne perioden en tur til Ventistål sine lokaler på Vinterbro hvor maskinen skulle plasseres. Her så vi at det var ønskelig å endre fargen på maskinen fra rød til blå slik at den passet bedre sammen med spiromaskinen.



*Figur 8.3.1 Sammenstilling av komponenter på Almeq AS. A) Motorsøyle og søyle for stableramme montert og reist. B) Bruk av traverskran for å sette på plass løpesøylene. C) Ferdigstilling av maskinen før demontering og transport til Ventistål. [15] D) Her er maskinen med endret farge slik at den passer bedre med spiromaskinen ( Foto: Terje Brandshaug)*

Under arbeidet med sammenstillingen kom vi over en del problemer og enkelt elementer som manglet løsninger. Disse ble løst av Per Andersen og undertegnede i samråd.

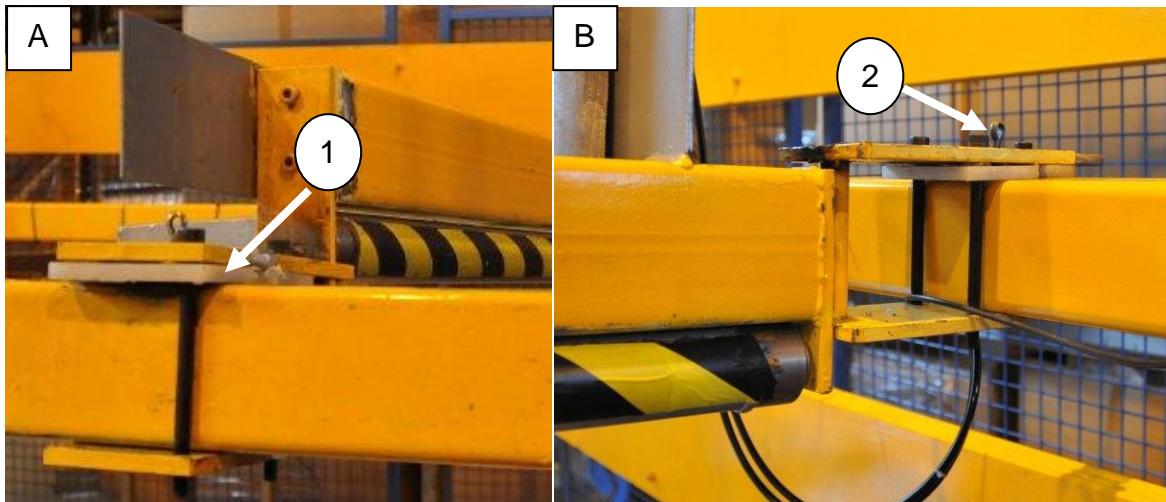


*Tabell 8.3.1 Oversikt over problemområder, løsning på disse og illustrasjon. (Foto Terje Brandshaug)*

Problemområde	Løsning	Illustrasjon
<b>Rulleskinner til mottaksbord</b>	To u-profiler med innsveiset gjengestag skrudd fast i innsveisede ører.	
<b>Overføringsskinner mellom mottaksbord og stableramme</b>	Sveiste på to u-profiler til stablerammen som overlappet skinnene til mottaksbordet.	
<b>Styreplater til rør</b>	En u-profil med innsveiset gjengestag som ble festet til ører på mottaksbordet.	
<b>Motorfester</b>	Her brukte vi vinkeljern som ble festet i motoren og i motorsøylen.	



Maskinen ble demontert i moduler som vi fraktet videre til Ventistål sine lokaler på Vinterbro. Under montering og testkjøring av maskinen på Vinterbro ble det klart at man ønsket å benytte maskinen til å stable 2500mm rør i tillegg til 3000mm rør. Dermed måtte vi finne en løsning på dette. Dette ble gjort ved å legg inn POM-plater på innfestingen av stablerammen slik at denne kunne justeres i bredden.



*Figur 8.3.2 A) Implementering av POM-plate 1 i innfestingen av stableramme B) Bruk av låsesplint 2 som ble satt gjennom låseplaten og inn i hull som ble boret i bommen. (Foto: Terje Brandshaug)*

Vi jobbet med sammenstillingen av maskinen i fra midten av november og ut desember. Montering og innkjøringen på Vinterbro ble gjort i januar og februar.

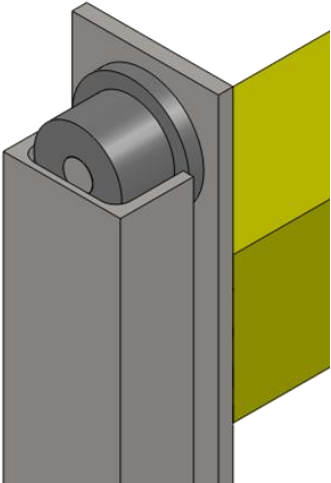

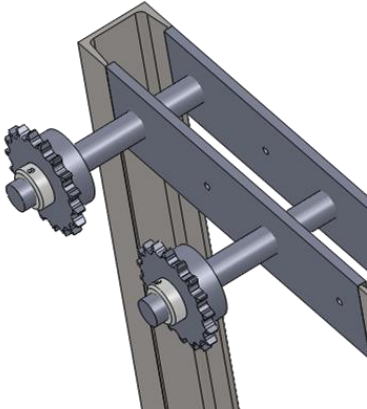

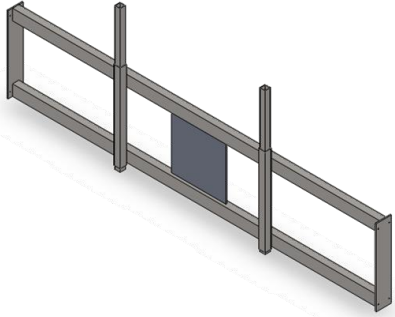



*Figur 8.3.1 Maskin ingeniør Per Andersen og undertegnede under ferdigstillingen av maskinen på Vinterbro. [15]*

## 8.4 Valgte løsninger

Det ble som nevnt tidligere et avvik i de valgte løsningen i forhold til resultatene jeg fikk i kapittel syv. Jeg vil her presentere løsningene vi kom frem til i prototypbyggingen og i hvilken grad de avviker fra de utarbeidede konseptene.

*Tabell 8.4 Oversikt over utarbeidede løsninger, valgte løsninger og avviket mellom disse. (Foto: Terje Brandshaug)*

Utarbeidet løsning	Valgt løsning	Avvik
		<p>Her gikk vi for den valgte løsningen, men det ble satt inn en 20 mm aksel i stede for 16 mm.</p>
		<p>Her ble løsningen med lagerhus valgt fremfor fastsveist aksel. Denne løsningen ble valgt da man hadde kommet over billige lagerhus. Dette ble en mer tidkrevende løsning på grunn av hullsettingen. Akseldiameter valgt ble på 30 mm.</p>
		<p>Denne ble identisk med utarbeidet løsning.</p>

## 9. RISIKOANALYSE

I dette kapitlet vil det bli foretatt en risikoanalyse av maskinen og ut fra gjeldende krav vil det bli vurdert hvilke tiltak som kan iverksettes for å hindre fare. Dette danner grunnlaget for en CE-merking av maskinen og utvikling av en samsvarserklæring.

### 9.1 Grunnlag

Av kommersielle hensyn er det nødvendig å CE-merke maskinen. Elementer i denne prosessen er å gjennomføre en risikoanalyse samt å lage en samsvarserklæring. Denne prosessen innebærer en kritisk gjennomgang av maskinen for å kartlegge potensielle farer som kan oppstå ved bruk for operatører og omgivelser. CE-merking er en egenerklæring på at produktet innfrir de helse-, miljø- og sikkerhetskravene som gjelder innen EU. Underlagt dette vil det også være aktuelt å se om det foreligger harmoniserte standarder man bør følge. [5]

#### 9.1.1 CE-merking

For å kunne distribuere et produkt fritt innen EØS-landene er det fornuftig å CE-merke produktet. Dette vil indikere at produktet overholder gjeldene EØS-regler som omfatter helse miljø og sikkerhet. Produsenten har da på eget ansvar erklært at produktet innfrir gjeldene krav og regler. Som produsent følger man en sekstrinns prosedyre for CE-merking.

1. Finne hvilke direktiver maskinen er underlagt
2. Verifisere hvilke krav maskinen må oppfylle
3. Sjekke om man må ha et notifisert organ for godkjenning av maskinen
4. Sjekke konformitet.
5. Utarbeide teknisk dokumentasjon
6. Påføre CE-merke.

#### 9.1.2 Direktivutvalg

Forut for risikoanalysen på maskinen var det viktig å definere hvilke direktiver maskinen skal oppfylle. I denne prosessen tok jeg kontakt med senioringeniør Egil Stemsrud som tidligere har sertifisert løftende konstruksjoner. Her ble det konstatert at denne maskinen ikke er underlagt direktivene som gjelder for heiser eller løftekonstruksjoner da den er fastmontert, og det ikke skal bevege seg personer under heisene. Da maskinen har elektronisk styring med PLS må man også se på om den kan gi fra seg elektronisk støy. I så fall vil det også være nødvendig å sjekke dette opp mot EMC-direktivet.

#### 9.1.4 Gjeldene krav

FOR 2009-05-20 nr 544: Forskrift om maskiner er hovedforskriften for godkjenning av maskiner i henhold til EØS-reglene som befatter kravene til vern mot skade på liv og helse. Hensikten med dette direktivet er bl.a. å hindre at maskiner som kan medføre skade på person eller omgivelser kommer ut på markedet. Det vil derfor være

spesielt viktig å se på bestemmelse som gjelder faremomenter tilknyttet bruken av maskinen, noe som er omtalt i vedlegg 1 i maskindirektivet. Videre vil det være aktuelt å se på kravene som stilles ved levering av ferdig maskin, noe som er omtalt i kapittel II §8. Ved en eventuell større produksjon av maskinen vil det også være naturlig å se på kravene til delvis monterte maskiner som omtales i kapittel II §9.[5]

### **9.1.5 Behov for notifisert organ**

Enkelte maskiner trenger samsvarsvurdering av et eksternt teknisk kontrollorgan som for eksempel Det Norske Veritas. Det ble konstatert at denne maskinen ikke er underlagt de 23 kategoriene som er omtalt i maskindirektivets vedlegg IV og at den går under den europeiske harmoniserte standarden når det gjelder HMS krav.[5] Dermed vil det i dette tilfellet være tilstrekkelig å gjennomføre en intern kontroll på maskinen.

### **9.1.6 Konformitet**

Her blir den praktiske gjennomføringen av risikoanalysen foretatt. Denne har til hensikt å vurdere maskinen opp mot gjeldende krav.

### **Gjennomføring av risikoanalysen**

For gjennomføringen av risikoanalysen bør bl.a. følgende personell være tilstede:

- ansvarshavende for teknisk utførelse av maskinen
- konstruktører
- bruker

I den praktiske gjennomføringen av risikoanalysen for den andre utgaven av Tubestacker var daglig leder på Adigo Anders Aker og maskiningeniør Per Andersen tilstede, sammen med undertegnede.

Aker og Andersen har konstruert den første versjonen i fellesskap og hvor Aker var den ansvarlige for maskinen.

Begge har kjørt versjon 1 av maskinen mye og kjenner driftsmønster og hvordan den blir benyttet av operatørene. Følgelig var brukersiden også representert i risikoanalysen.

Gruppen har på en systematisk måte forsøkt å kartlegge alle de situasjoner som kan oppstå og som representerer en fare/risiko. Systematikken i arbeidet har vært:

1. Kartlegge en mulig faresituasjon
2. Kan denne hindres ved konstruksjonsendring
3. Dersom konstruksjonsendring ikke er mulig, kan verneinnretning forhindre faren
4. Kan faren begrenses ved merking og beskrivelse i manual
5. Kan faren begrenses ved opplæring av operatør
6. Sannsynlighet for at faren kan oppstå, konsekvens og om sikkerheten er tilstrekkelig

**Kartlegging av farekilder**

*Tabell 9.1.1* Oversikt over farekilder tilknyttet maskiner og hvilke som er aktuelle i denne maskinen.

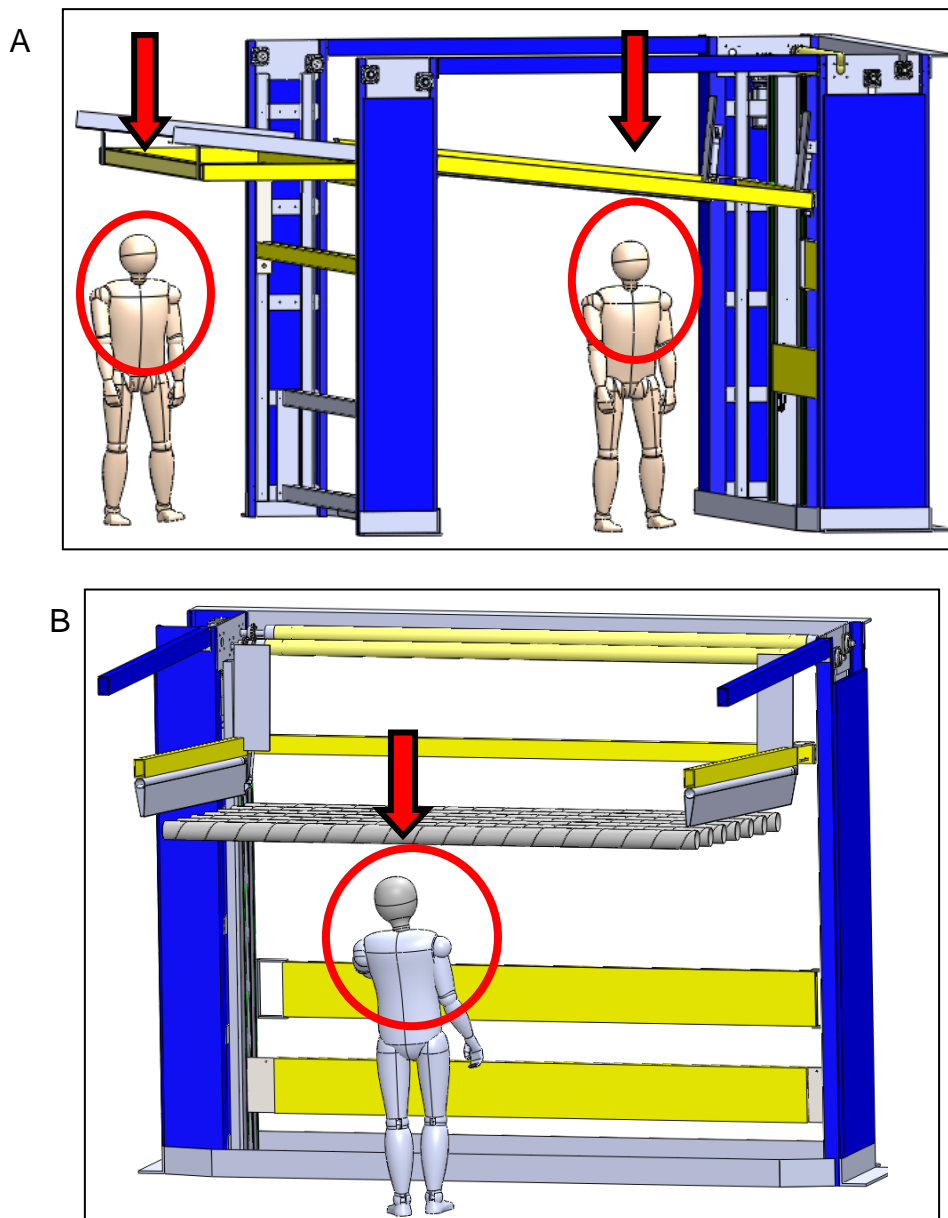
Hovedtyper av farekilder	Farer påvist
<b>1. Mekaniske farekilder</b>	Ja
<b>2. Elektriske farekilder</b>	Nei
<b>3. Termiske farekilder</b>	Nei
<b>4. Farekilder fremkalt av støy</b>	Ja
<b>5. Farekilder fremkalt av vibrasjon</b>	Nei
<b>6. Farekilder fremkalt av stråling</b>	Nei
<b>7. Farekilder fremkalt av materialer og substanser</b>	Nei
<b>8. Manglende hensyn til ergonomiske prinsipper</b>	Nei
<b>9. Kombinasjon av farekilder</b>	Nei
<b>10. Svikt ved maskin som kan medføre fare</b>	Ja
<b>11. Fare som skyldes manglende og/eller feil valg eller plassering av sikkerhets innretninger/tiltak</b>	Nei

## 9.2 Mekaniske farekilder

Under mekaniske farekilder er det kartlagt to mulige faremomenter: Fare for knusing og fare for klipping.

### 9.2.1 Fare for knusing

Knusing kan oppstå dersom personer beveger seg under heiseanordningene og blir truffet av disse. Det er også en fare for å få spirorør på seg når man beveger seg inne i maskinen.

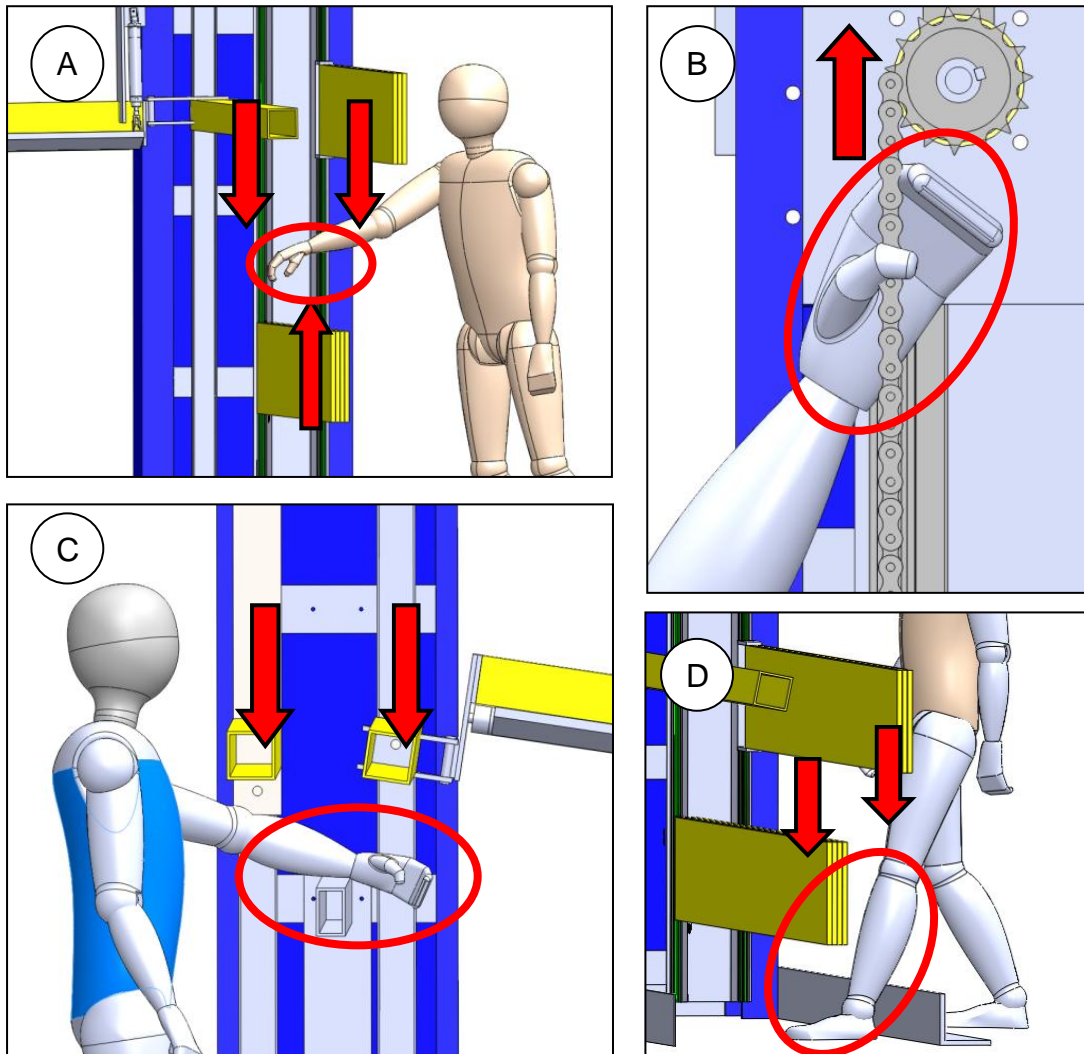


*Figur 9.2.1 Knusefare kan forekomme når personer beveger seg under heiskonstruksjonen. A) Fare for å få heisen på seg ved kjøring av heisen. B) Fare for å få spirorør på seg ved brudd på fotoceller.*



### 9.2.2 Fare for klipping

Klipping kan oppstå hvis en person får arm, hender eller ben fastklemt i heisekonstruksjonen eller i kjedesystemet.



*Figur 9.2.2 Fareområder for klipping er motvekt, heisvogner og kjedehjul.*

*A) Fare for å få klippet/knust arm mellom motvektene og indre heis. B) Fare for å få hånd klippet/knust i kjede. C) Fare for å få klippet/knust armene mellom heisene D) Fare for å få klippet/knust ben av motvektene.*

Tabell 9.2.1 Risikovurdering for knusing og klipping

Konsekvens \ Sannsynlighet	Lav	Middels	Høy
Lav	<b>1</b>	<b>2</b>	
Middels			
Høy			

Her anser vi det som lite sannsynlig for at noen av tilfellene vil inntre, men at det er middels konsekvens hvis klipping skulle oppstå. Dette er vurdert på bakgrunn av at hastigheten på maskinen er relativt lav og at den totale vekt på elementene er relativt liten.

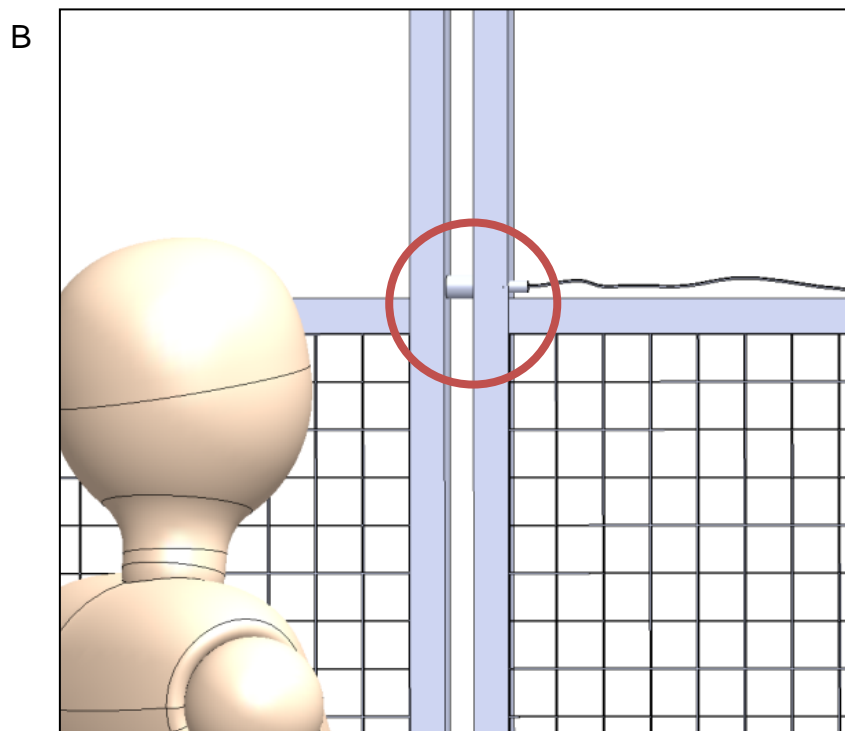
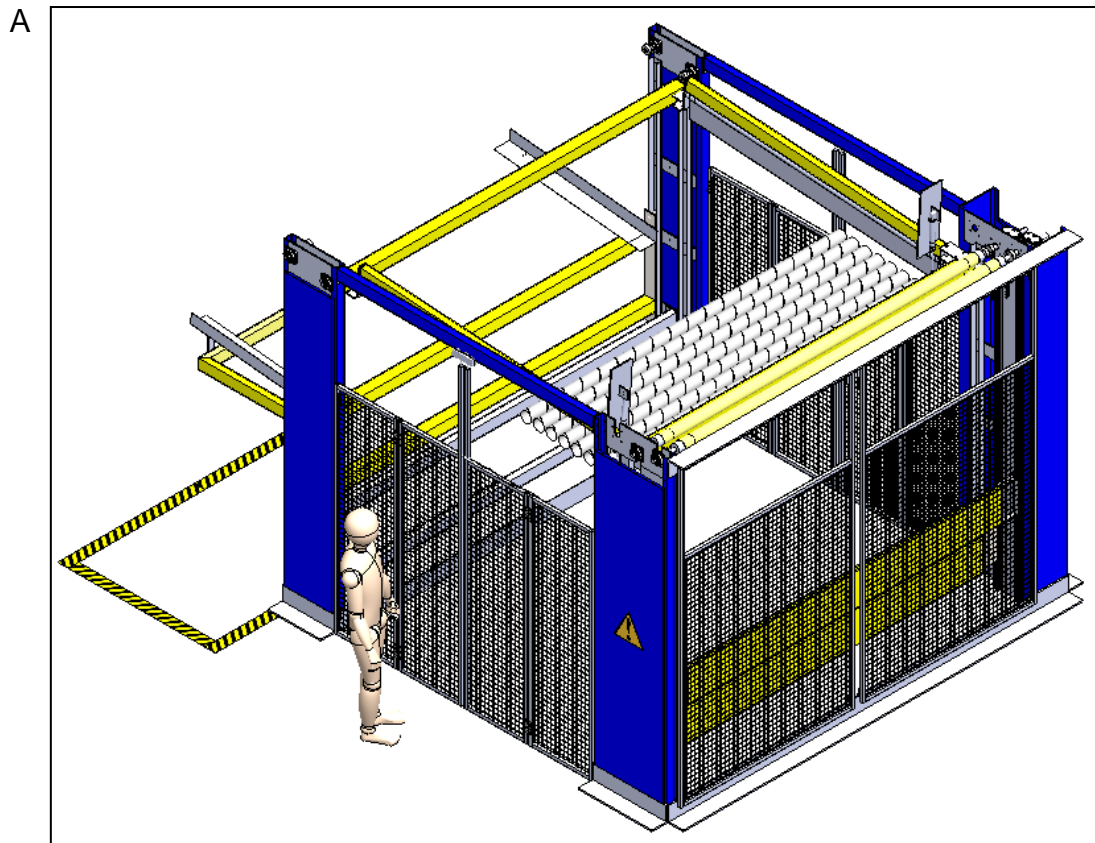
#### Forebyggende tiltak ved konstruksjonsendring

- I. Sette gitter for å hindre adgang til områdene under heisen.  
(Figur6.4.3.3A)
- II. Sette følere på dørene slik at maskinene stopper ved åpning.  
(Figur6.4.3.3B)
- III. Sette opp deksler som hindrer at man kan føre inn hender og armer der kjeder og motvekter beveger seg. (Figur6.4.3.3A)
- IV. Male alle bevegelige deler med varselsfarge (Farge kode: *RAL 1032*)  
(Figur6.4.3.3A)

#### Forebyggende tiltak ved informasjon

- I. Opplæring av operatør.
- II. Merke maskinen som opplyser om faremomentene (Figur6.4.3.3A)
- III. Beskrivelse av faremomentene i brukermanualen.
- IV. Sette opp tape på gulvet som marker fareområdene (Figur6.4.3.3A)





*Figur 9.2.3 Maskin med sikkerhetsutstyr. A) Maskin påsatt gitter dører, sikkerhetsbånd, varselmerking samt at alle bevegelige deler er malt i varselsfarge. B) Føler på døren som stopper maskinen ved åpning.*

## 9.3 Farekilder fremkalt av støy

### 9.3.1 Fare for støy

Ved nedlegging av rørene i pallen vil de ha en viss høyde. Når disse faller ned vil det komme støy.

Tabell 9.3.1 Risikovurdering av støy

Konsekvens \ Sannsynlighet	Lav	Middels	Høy
Lav			
Middels			
Høy	1		

Her ser vi at det er høy sannsynlighet for at støy vil forekomme, men risikoen er lav. For at støyproblemet skal være minst mulig vill rørene bli sluppet med kortest mulig avstand. Resten av maskineriet er relativt stillegående.



Figur 9.3.1 Eksempel på merking av maskinen[21]

#### Forebyggende tiltak ved verneinnretninger

- I. Operatør som befinner seg i maskinens umiddelbare nærhet over lengre perioder bør bruke hørselsvern.

#### Forebyggende tiltak ved informasjon

- I. Opplyse om støyfare i brukermanual
- II. Merke maskinen med støysone (Figur 9.3.1)

## 9.4 Svikt ved maskin kan medføre fare

Fare forårsaket av svikt ved feil på kontrollsystemet

### 9.4.1 Maskinsvikt

Ved en eventuell svikt i den interne elektrisk styringen av motor vil bremsen kunne svikte, noe som vil føre til at heisene går til nedsunken eller oppheist stilling avhengig av lasten.

Tabell 9.4.1 Risikovurdering ved feil på kontrollsystemet.

Konsekvens \ Sannsynlighet	Lav	Middels	Høy
Lav	<b>1</b>		
Middels			
Høy			

Sannsynligheten og konsekvensen av dette blir vurdert som svært lav.

- I. Forebyggende tiltak ved konstruksjonsendring.  
Gitter hindrer tilgang til risikoområder (figur 9.2.3)
- I. Motvektene er så tunge at heisen vil alltid gå til opphevet stilling ved maskinsvikt.
- II. Parkert stilling vil alltid være med de tyngste elementene nede.

*Forebyggende tiltak ved informasjon*

- I. Merke maskinen som opplyser om faren (figur 9.2.3).
- II. Sette opp tape på gulvet som marker fareområdene (figur 9.2.3).

## 9.5 EMC Direktivet

Alle komponenter som er benyttet i maskinens styringssystem har produsenterklæringer på at de tilfredsstillende EMC-direktivet. Det er leverandør av maskinen som har ansvaret for at hele konstruksjonen tilfredsstillende EMC-direktivet. For å sjekke om denne maskinen følger EMC-direktivet vil det være nødvendig med en elektromagnetisk måling av maskinen. Dette kan gjøres når maskinen er ferdigstilt. Ved å gå gjennom dokumentasjonene til de enkelte elektriske komponentene kan man også vurdere om det finnes en reell risiko eller om alle innkjøpte komponenter er sikret mot elektronisk stråling.[6]

## 9.6 Dokumentasjon av maskinen

### 9.6.1 Dokumentasjon for gjeldene maskin

For å CE-merke maskinen skal det ligge til grunn en komplett dokumentasjon av maskinen. Denne skal oppbevares i bedriftens tekniske arkiv, Hvilket står beskrevet i maskindirektivet vedlegg VII. [5] I denne sammenheng vil det være nødvendig å utarbeide følgende:

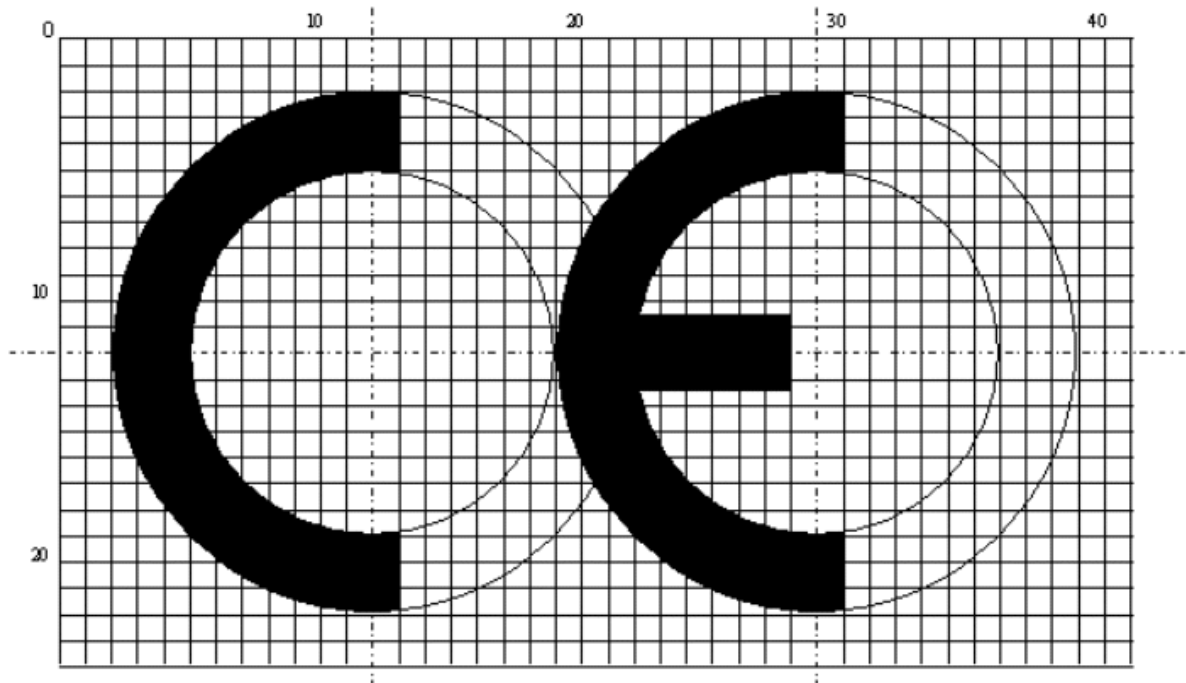
- Teknisk beskrivelse av maskinen med ev beregninger
- Brukermanual
- Sammenstillingstegninger
- Samsvarserklæring

### 9.6.2 Dokumentasjon ved videre utvikling

I neste ledd i utviklingen av maskinen vil det være aktuelt å se på om man skal benytte seg av moduler som kan settes sammen av personer utenfra (outsourcing). Da vil det være nødvendig å lage en monteringsveiledning som er i samsvar med maskindirektivets vedlegg VI. [5]

## 9.7 CE-merking

Når alle de ovenstående trinnene er komplette kan man merke maskinen med CE-merke. Dette skal plasseres på et synlig og lesbart sted på maskinen og skal ikke være mindre enn 5mm. Den skal utformes etter malen vist i figur 9.7.1. [5]



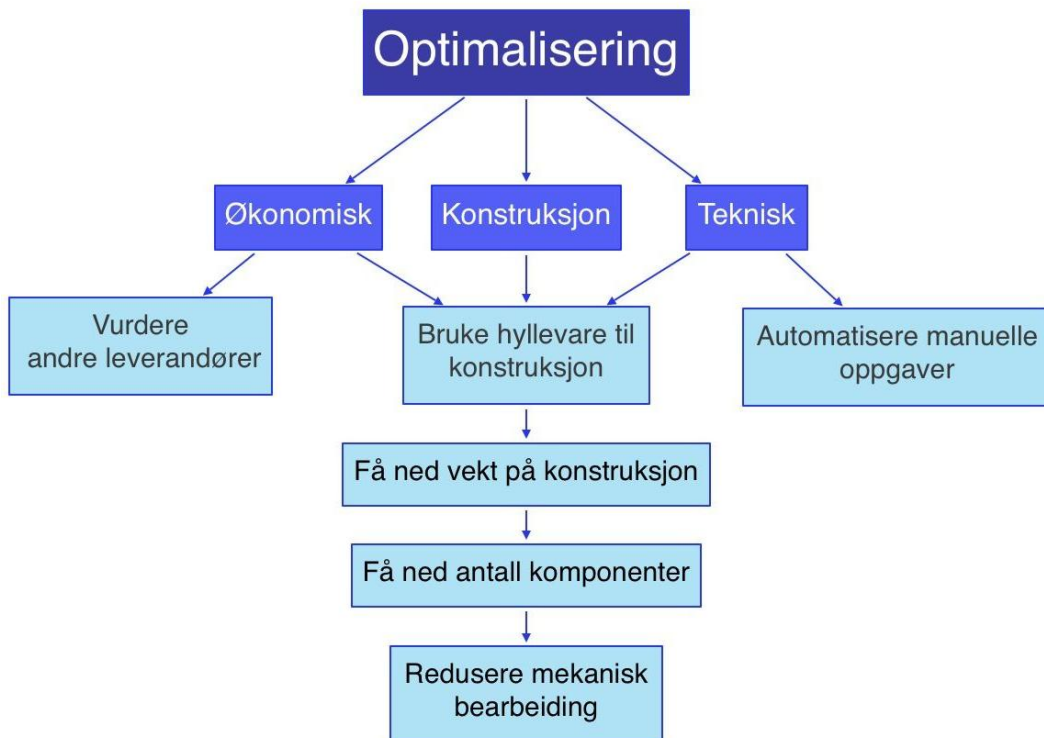
Figur 9.7.1. Utforming av CE-merket.[5]

## 10 REDESIGN OG OPTIMALISERING AV TUBESTACKER

I dette kapitlet skal man kartlegge hvilke deler av maskinen som bør redesignes til neste utgave. Det vil bli utviklet nye konsepter, og etter en konseptscreening med seleksjonsmatriser vil det bli generert en ny komplett modell.

### 10.1. Vurderingsgrunnlag

Per Andersen, Anders Aker og jeg hadde et møte hvor vi gikk gjennom maskinen for å se på hvilke deler som burde optimaliseres til neste versjon. Bakgrunnen for å endre disse delene gikk under tre hovedkategorier; økonomisk, teknisk og konstruksjonsmessige forbedringspotensialer. Disse vurderingsgrunnlagene er overlappende og vil bidra til en helhetlig optimalisering. Den rene økonomiske forbedringen kan bli gjort ved å vurdere andre leverandører som har billigere løsninger. Den rent tekniske optimaliseringen er å innføre automatikk i de delene som i dag er manuelt utført. Under konstruksjonskategorien ligger forenkling av sammenstilling, vektreduksjon og dimensjonsmessig optimalisering.



Figur 10.1.1 Diagram over optimaliseringsvurderinger og tiltak.

## 10.2 Utvalg av deler som skal optimaliseres.

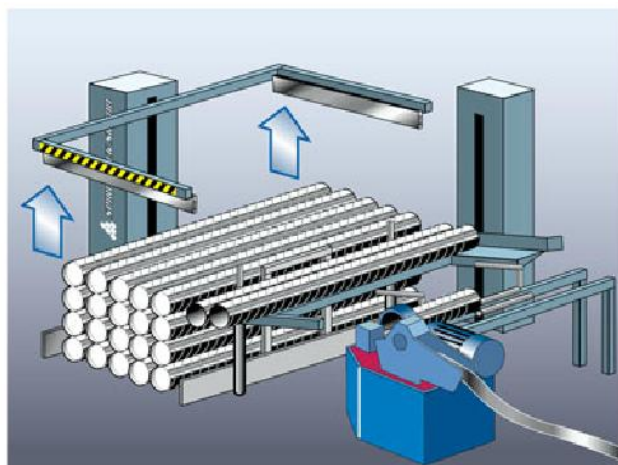
På møtet med gjennomgang av maskinen ble vi enig om at det var flere elementer man burde se på nye løsninger til (Vedlegg VII). Selv om det er mange deler som kunne blitt optimalisert ble det kun valgt ut de mest kritiske, da fullstendig redesign av hele maskinen ikke er ønskelig verken økonomisk eller tidsmessig.

De utvalgte delene ble:

- Løpesøyle
- Motorsøyle
- Søyle for stableramme
- Portalprofil
- Mottaksbord
- Stableramme

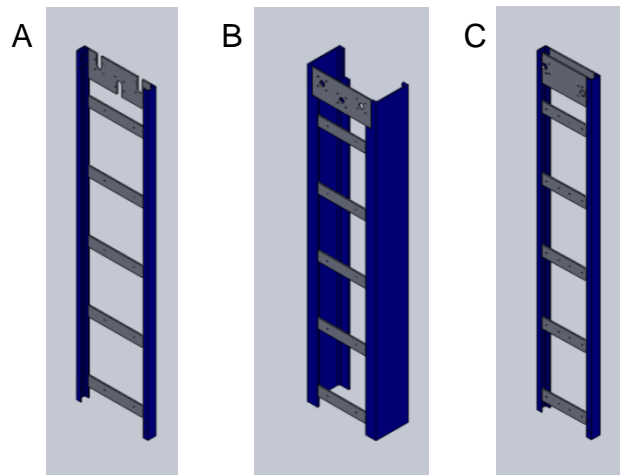
## 10.3 Søylar

I den første versjonen av Adigo Tubestacker besto maskinen av to søyler som løftet henholdsvis den indre og ytre heisen (figur 7.1.1). Denne varianten ble noe vaglete under bruk. Det var derfor ønskelig å få den mer stabil og få heisen til å gå jevnere.



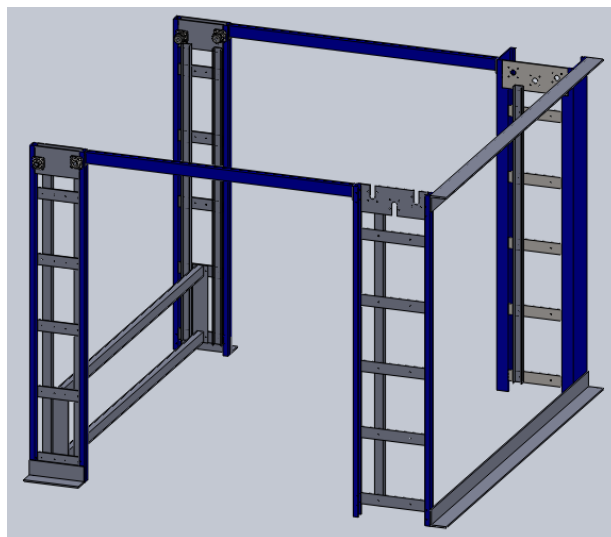
*Figur 10.3.1 Første versjonen av Adigo Tubestacker med to søyler.[23]*

I den andre versjonen valgte vi å bruke fire søyler for å øke stabiliteten. Denne ble satt sammen av UPE330 og UPE 80 bjelker.



*Figur 10.3.2 A) Løpesøyer med UPN 80-bjelker. B) Motorsøyle med UPE 330-bjelker. C) Motorsøyle UPN 80.*

Denne versjonen krevde mye mekanisk bearbeiding med sveising og boring. Det var også nødvendig å stabilisere søylene med tverrforbindelser.



*Figur 10.3.3 Sammenstilling av søyer i versjon to med stabilisering.*

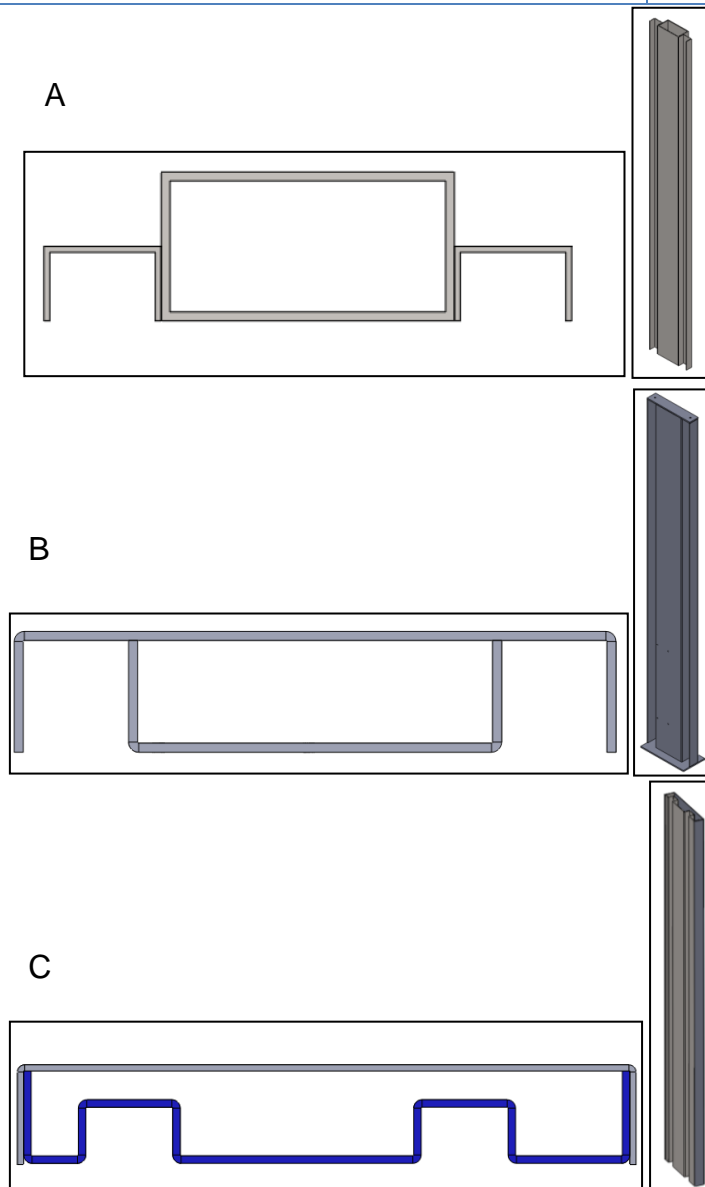
I denne versjonen gikk heisen mer smidig men det er her mulig å se på mulighetene for å forenkle konstruksjonen slik at den ikke blir så kostbar og tidkrevende å lage.

### **10.3.2 Konstruksjons forslag til nye løpesøyer**

I utgangspunktet var det ønskelig å lage søyer av 10mm plater som var knekt til ønsket profil. Siden det ikke var mulig å knekke så tykke plater med det utstyret som var tilgjengelig på verkstedet man hadde samarbeid med, gikk man bort fra denne ideen. I den neste versjonen vil jeg blant annet se på muligheten for å bruke 6mm-plater i stedet og se hvordan dette vil påvirke stabiliteten til maskinen.

Tabell 10.3.1 *Konseptbeskrivelse og dimensjoner*

Konsept	Beskrivelse	Dimensjoner
<b>A</b>	En standard firkantprofil 100mmx200mm med punkt på sveisede upe 80-profiler.	Total bredde 360mm Total dybde 100mm Høyde 2840mm
<b>B</b>	To u-profiler med ulik bredde som er punktsveist sammen slik at man får to spor til løpekattene.	Bredde 400mm Dybde 80mm Høyde 2840mm
<b>C</b>	En u-profil og en spesialknekt profil med to spor til løpekattene	Bredde 500mm Dybde 80mm Høyde 3000mm



Figur 10.3.4 A) Standard 100x200x6,3 firkantprofil og to UPE 80-kanalstål punktsveises sammen. Kjedefjøl må monteres i portalprofilene. B) Platekonstruksjon med to u-profiler sveiset i sammen. Kjedefjøl må monteres i portalprofilen. C) Platekonstruksjon med to profiler. Her kan kjedefjøl plasseres i søyle.



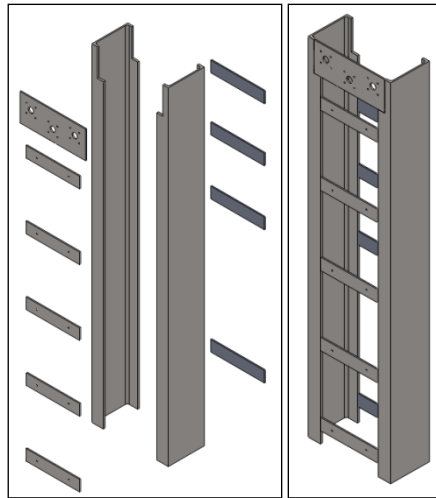
### 10.3.3 Motorsøyler

Motorsøylene hadde samme problemer som løpesøylene. Disse har også mange deler og var tidkrevende å lage. Her vurderer jeg å bruke lignende løsninger som på løpesøylen. Her har jeg også sett på løsning som implementerer portalprofilen i søylen (figur10.2.1).

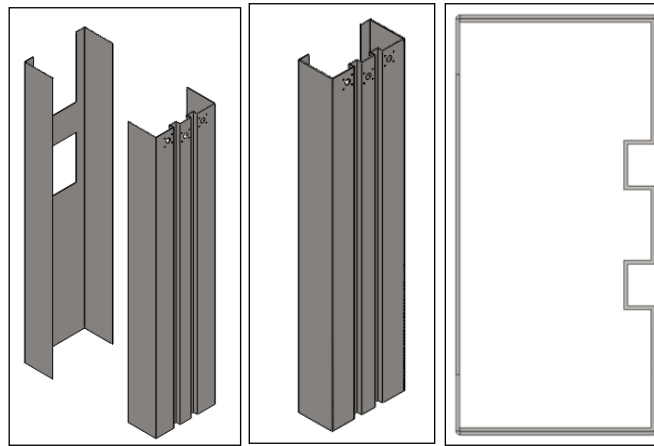
*Tabell 10.3.2 Konseptbeskrivelser og dimensjoner*

Konsept	Beskrivelse	Dimensjoner
<b>A</b>	Motorsøylen slik den er i dag. To 330-profiler som er sammenføyd med flatjern. Her er det i tillegg nødvendig med deksler til sidene	Total bredde 700 mm Total dybde 330 mm Høyde 3000 mm
<b>B</b>	En u-profil og en spesialknekt profil med to spor til løpekattene	Bredde 700mm Dybde 330mm Høyde 3000mm
<b>C</b>	En u-profil og en spesialknekt profil som til sammen vil gi et spor til løpehjulet til stablerammen. Her er det skåret ut et spor slik at portalprofilen kan settes inn.	Bredde 700mm Dybde 330mm Høyde 3000mm

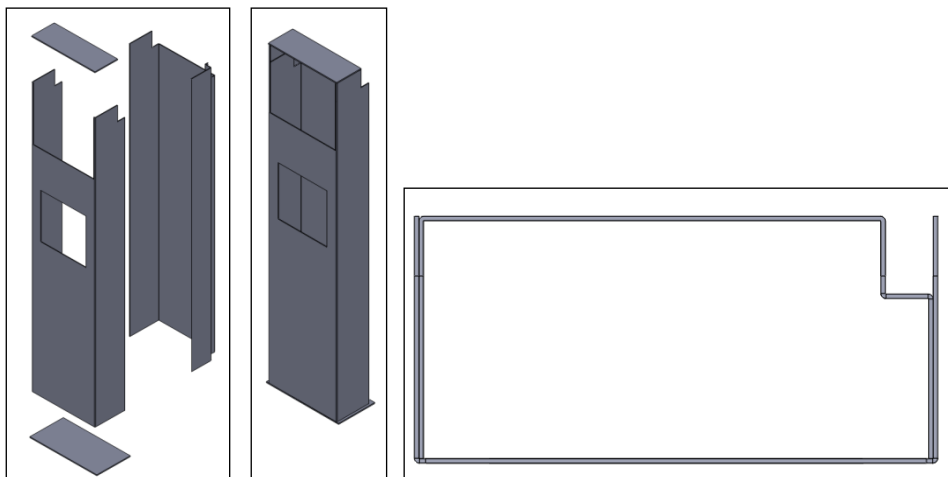
A



B



C



*Figur 10.3.5 A) Original motorsøyle slik vi har den i dag.*

*B) Motorsøyle i platekonstruksjon som har innknekt profiler til løpehjulene. Her er det kuttet ut plass til portalprofilen.*

*C) Motorsøyle i platekonstruksjon med enklere knekking og basert på kjedehjulføringer i portalprofil*

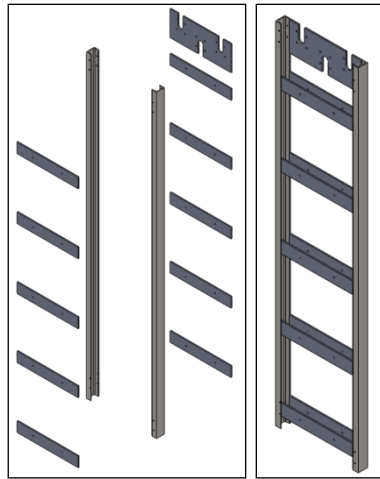
### 10.3.4 Søyle for stableramme

Har de samme problemene som de andre søylene.

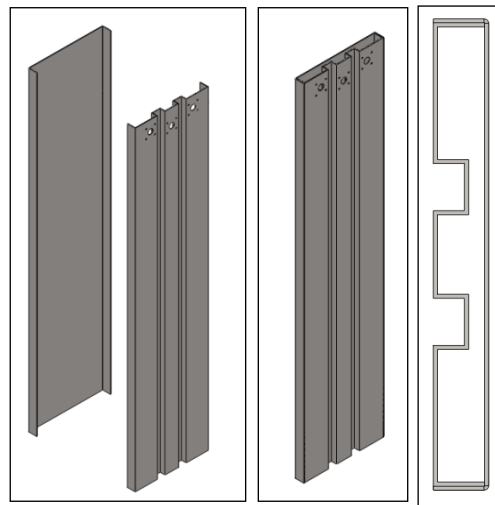
*Tabell 10.3.3 Konseptbeskrivelse og dimensjoner.*

Konsept	Beskrivelse	Dimensjoner
<b>A</b>	Motorsøylen slik den er i dag. To 80-profiler som er sammenføyd med flatjern. Her er det i tillegg nødvendig med deksler til sidene	Total bredde 700 mm Total dybde 80 mm Høyde 3000 mm
<b>B</b>	En u-profil og en spesialknekt profil med to spor til løpekattene	Bredde 700mm Dybde 80mm Høyde 3000mm
<b>C</b>	En u-profil og en spesialknekt profil som til sammen vil gi et spor til løpehjulet til stablerammen. Her er høyden redusert slik at det er plass til portalprofilen i overkant.	Bredde 700mm Dybde 330mm Høyde 2840mm

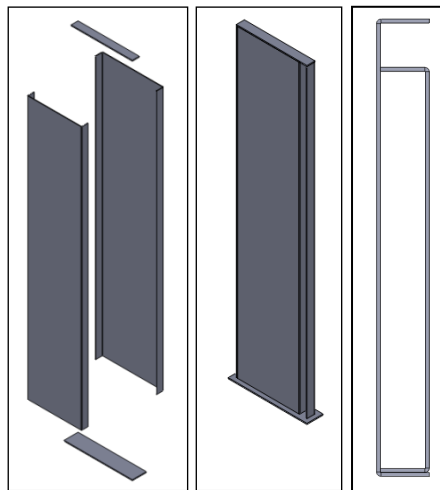
A



B



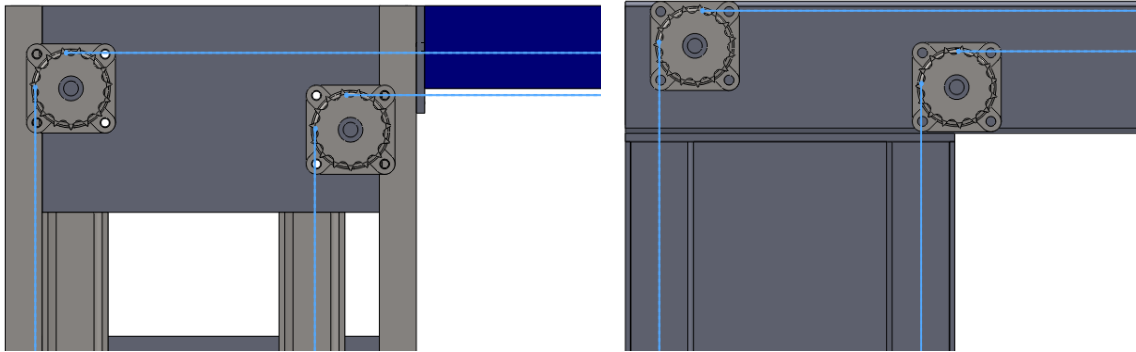
C



*Figur 10.3.6* A) Originale søyler slik vi har dem i dag B) Søyler av platekonstruksjon. Knekte plater C) Søyler av platekonstruksjon U-i-U-løsning med kjedehjul på portalprofil

## 10.4 Portalprofil

Ved innføring av enkelte konsepter til søylene er det nødvendig å endre portalprofilen slik at disse blir implementert med kjedehjulfeste. Dette for å kunne plassere kjedehjulene slik at de stemmer overens med profilene som løpekattene skal gå i. Dermed vil valget av portalprofilen være avhengig av om man går for de løsningene hvor kjedehjulene er inkludert i søylene eller ikke.

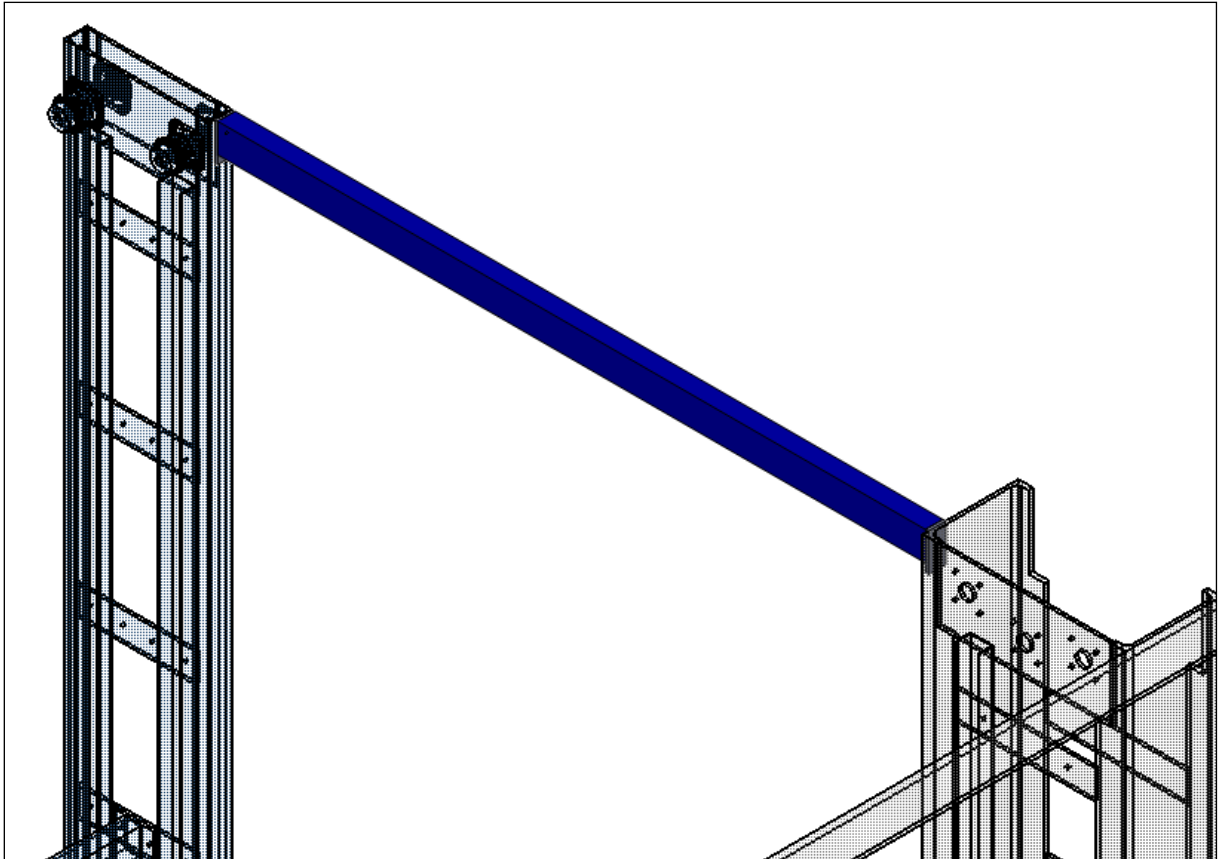


*Figur 10.4.1 A) Portalprofil med kjedehjulinnfesting i søylen. Her går det ene kjedet i midten av profilen mens det andre går forbi og er festet i mottaksbordet. B) Her ser vi at kjedehjulet trenger innfesting som går utenfor søylen og man må derfor feste den i portalprofilen.*

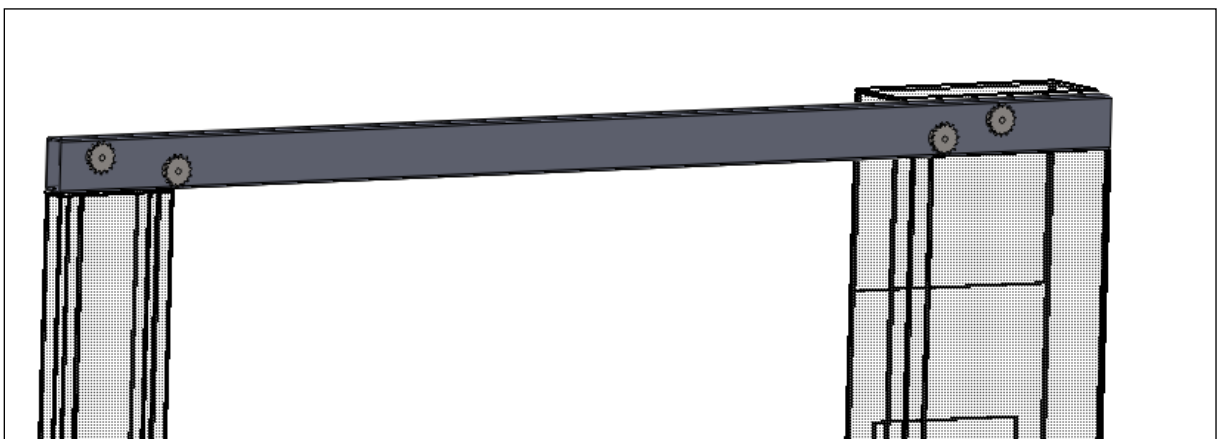
*Tabell 10.4.1 Konseptbeskrivelser og dimensjoner*

Konsept	Beskrivelse	Dimensjoner
<b>A</b>	Portalprofilen slik den er i dag. Den blir her festet inn i enden av søylene.	Total bredde 2456 Total dybde 60 mm Høyde 100 mm
<b>B</b>	Portalprofil med innfesting av kjedehjul. Her legges portalprofilen på løpesøylen og inn i et spor i motorsøylen. På andre siden ligger den oppå begge søylene.	Bredde 3700mm Dybde 80mm Høyde 160mm

A



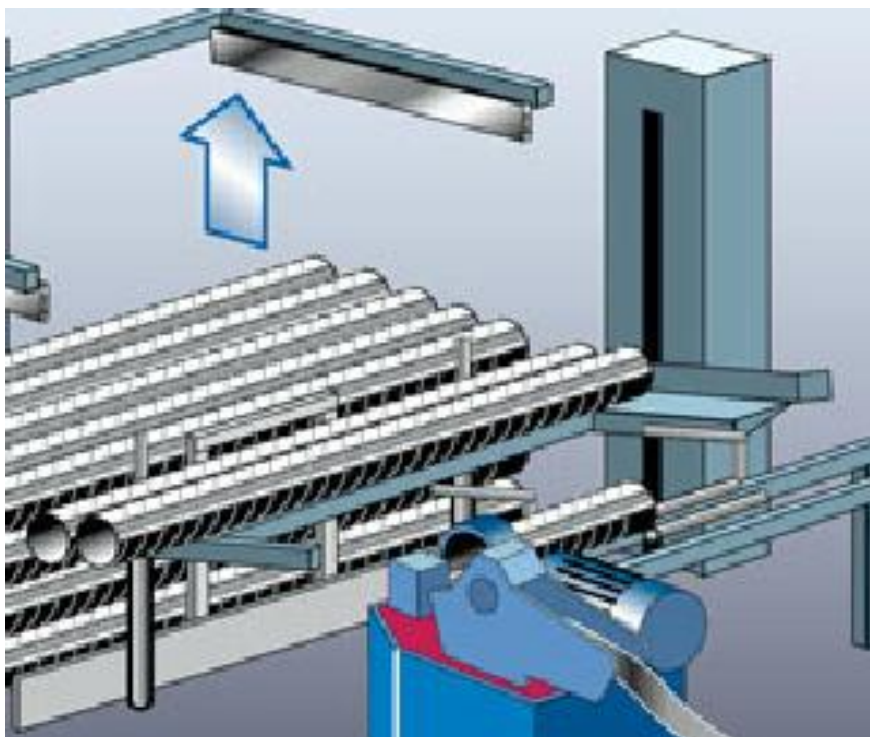
B



*Figur 10.4.2* A) Portalprofilen som den er i dag. B) Portalprofil med innfestede kjedehjul.

## 10.5 Mottaksbord

På den første utgaven av maskinen ble det brukt et bord som tok imot rørene som deretter ble løftet opp langs en søyle med lang arm tilsvarende en garasjeheis. Her ble også stabilitet et problem fordi den lange armen og vekten av rørene ga en del bevegelse i delene under drift.



*Figur 10.5.1 Mottaksbordet på første utgaven av maskinen.[23]*

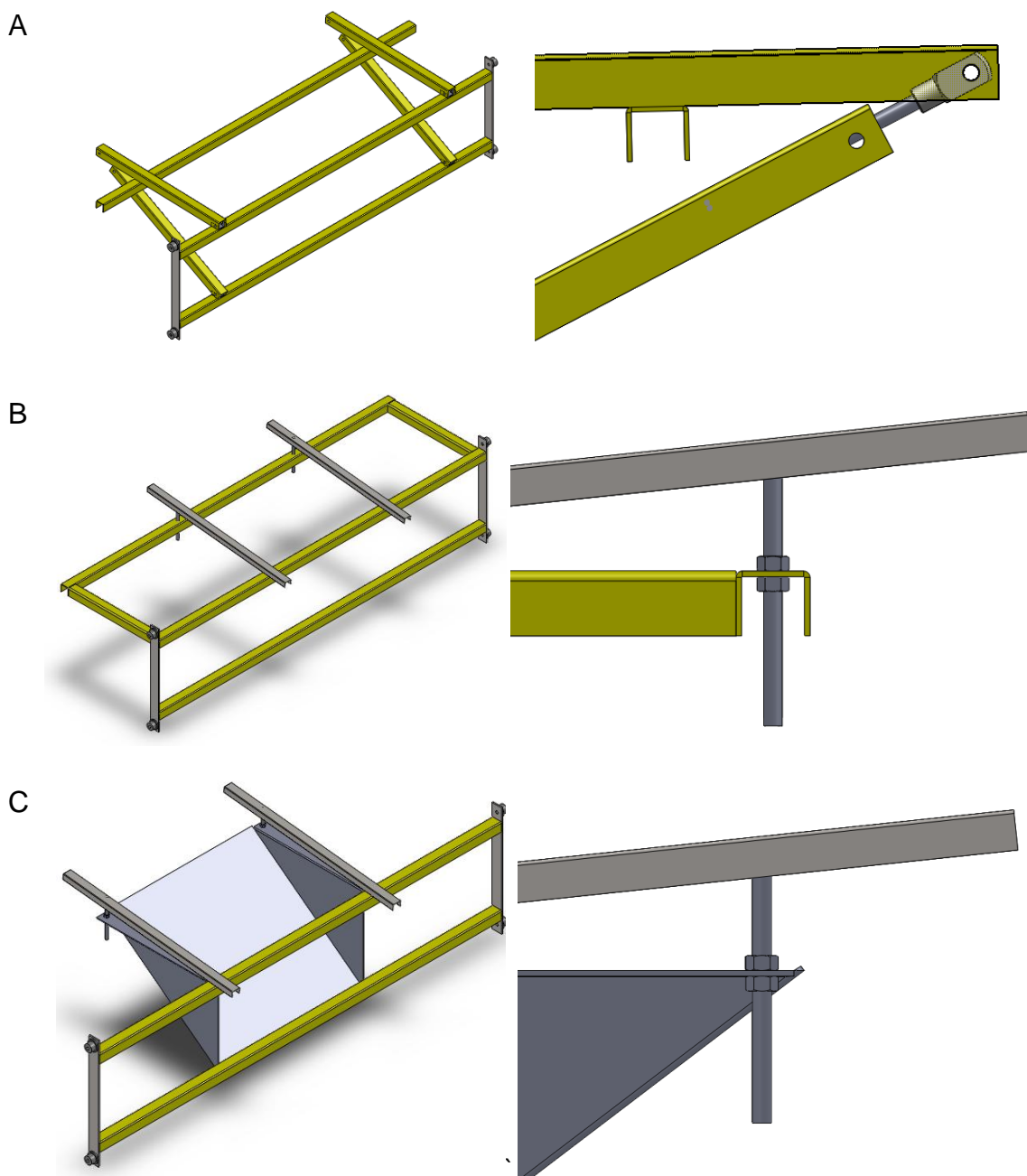
I den andre versjonen av Tubestacker ble ustabiliteten borte da den ruller på fire hjul i skinner. Løsningen virker svært godt så langt og denne løsningen vil bli videreført. Dermed vil vi bare se på endringer av selve rammen.

Mottaksbordet slik det er i dag er relativt massivt. Derfor bør man finne en ny løsning på dette. Det som ble klargjort under byggingen av prototypn var at det var ønskelig å tilpasse heisen slik at den kunne ta 2500mm rør i tillegg til 3000mm rør. Dette ble løst ved å sette rulleskinnen nærmere hverandre slik at begge dimensjonen fikk rullet over.

Tabell 10.5.1 Konseptbeskrivelse og dimensjoner.

Konsept	Beskrivelse	Dimensjoner
<b>A</b>	Mottaksbord med u-profiler festet i ører på den indre delen av bordet. Her vil man bruke en strekkfisløsning for å kunne vinkle rulleskinnene til ønsket helning	Total bredde 3330 mm Total dybde 1300 mm Høyde 900 mm
<b>B</b>	Mottaksbordet med samme løsning som det opprinnelige bordet, men med utbytting av firkantprofilene med u-profiler for å få ned vekten. Her benyttes rulleskinner med innsveisede gjengestag som man fester i skinnen med mutter oppe og nede for å kunne justere vinkelen. Dermed slipper man å sveise inn festeører.	Bredde 3330 mm Dybde 1300 mm Høyde 900 mm
<b>C</b>	Mottaksbord med en tilknekt platekonstruksjon man fester rulleskinnen til og med gjengestag slik som i konsept B, men her lager man hull i platekonstruksjonen til innfesting.	Bredde 3330 mm Dybde 1300 mm Høyde 900 mm

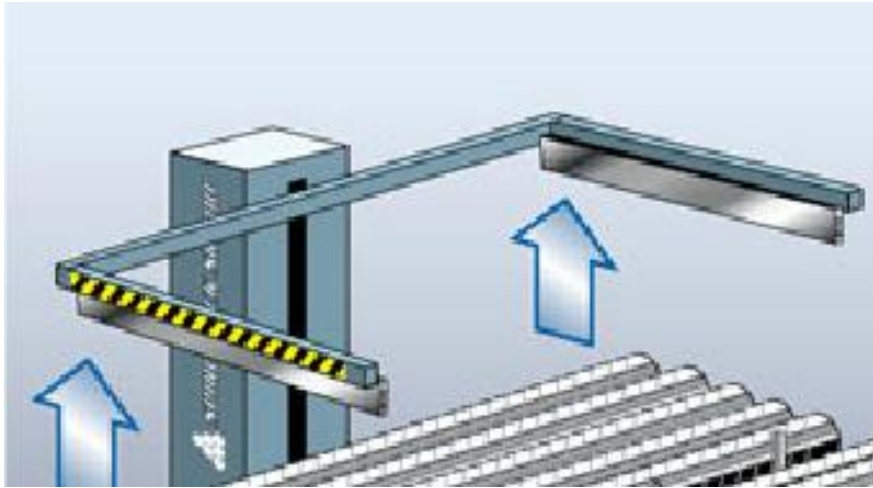




Figur 10.5.2 A) Ramme bestående av u-profiler. Justering av vinkel skjer ved hjelp av en strekkfisk i enden av den diagonale støttebommen. B) Samme konsept som vi allerede har, men profilene er byttet ut med u-profiler. C) Mottaksbord er byttet ut med en knekt platekonstruksjon.

## 10.6 Stableramme

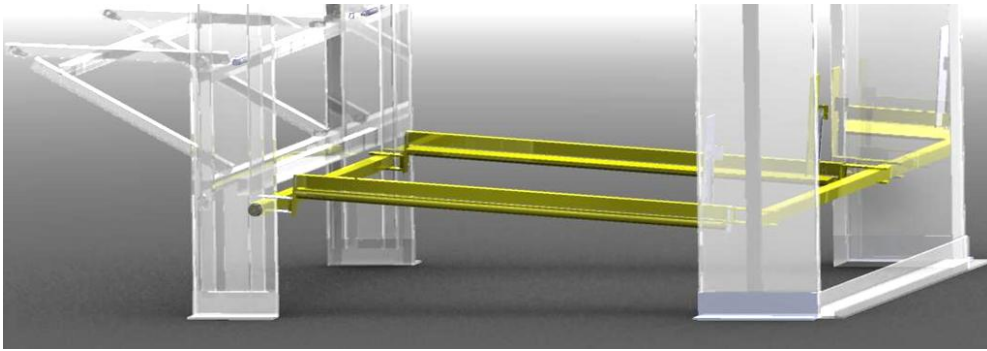
I den første versjonen av maskinen var den indre heisen montert som en gaffel og senket rørene ned i pallen. Denne versjonen av maskinen har større belastning på søylen. Det er også mer bevegelse i armene under drift på grunn av momentet det blir utsatt for når rørene lander på armene. Dermed blir den oppfattet som mer ustabil under drift. Dette er noe man ønsket en forbedring på i den neste versjonen.



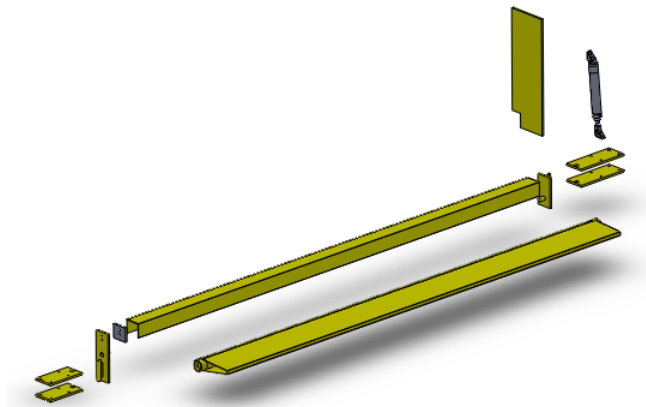
*Figur 10.6.1 Første versjonen av den indre heisdelen.[23]*

I den andre utgaven av maskinen ble den indre heisen festet i både indre og ytre del. Dermed ble belastningen jevnere fordelt og konstruksjonen ble mer stabil. Den indre heisen består nå av mange komponenter som må sammenstilles på verkstedet. Målet blir nå å få ned antall komponenter og få ned arbeidstimer til sammenstilling.

A)

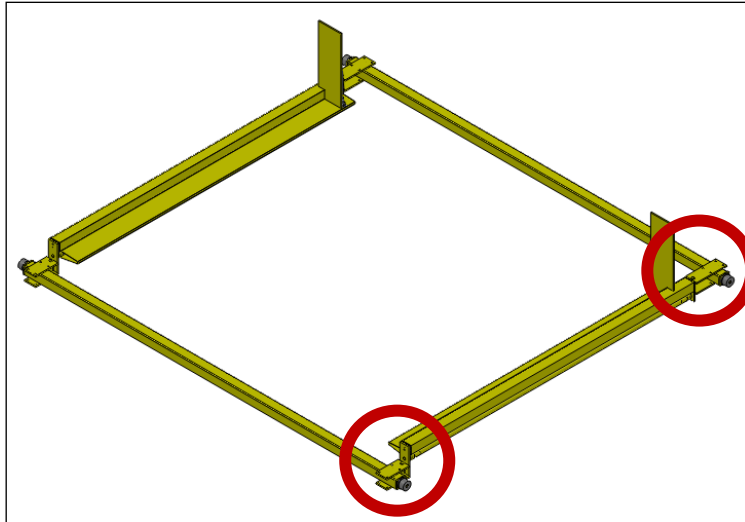


B)



*Figur 10.6.2 Indre heis i versjon 2 . A) Indre heis innfestet i indre og ytre del. B) Eksplosjonstegning av stableramme med faller*

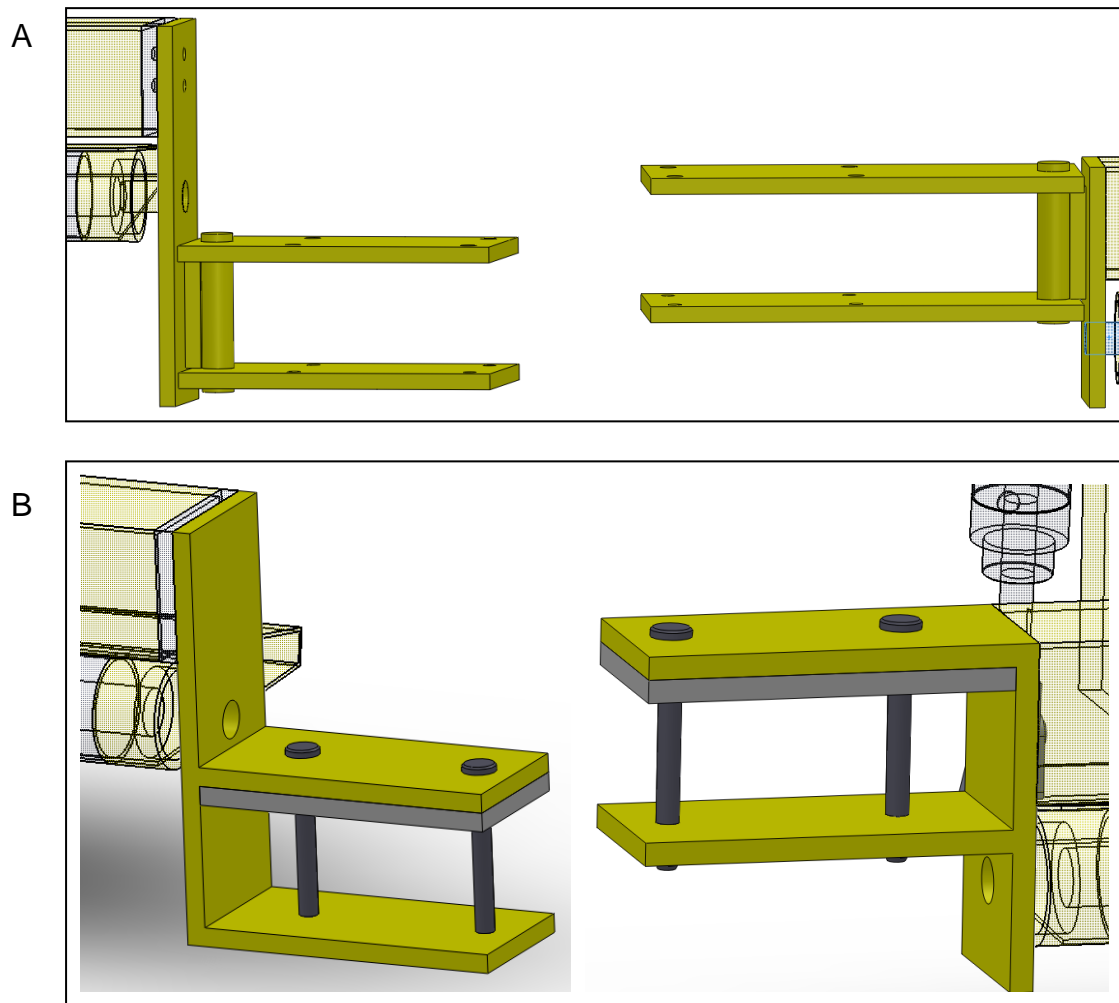
Løsningen på stablerammen slik den er i dag fungerer bra, men det er enkelte komponenter som kan forenkles. Vi har her valgt å se på endringer til innfestingen av fallermene til bommen. Den er i dag satt sammen av mange komponenter for å kunne være bevegelig. Dette er et konsept som ble videreført fra den forrige modellen, men som vi ser er overflødig på denne versjonen. Det er også nødvendig å endre noe på disse festene med tanke på at man i denne versjonen ønsker å justere bredden på stablerammen.



*Figur 10.6.3 Utvalgte deler av stablerammen*

*Tabell 10.6.1 Konseptbeskrivelse og dimensjoner.*

Konsept	Beskrivelse	Dimensjoner	
<b>A</b>	Innfesting slik den er i dag. Her er innfestingsplaten mulig å vinkle. Denne ble modifisert med en POM-plate under bygging av maskinen for at den skulle være lett å skyve på bommen. Her benyttes fire bolter for å feste platene sammen.	Indre Bredde 100 Dybde 270mm Høyde 150mm	Ytre Bredde 100 Dybde 214mm Høyde 240mm
<b>B</b>	Innfesting med rigide deler og POM-plate. Her er vinklingsmuligheten borte da man så at dette ikke var nødvendig. Satt inn to bolter som låser innfestningen til bommen.	Indre Bredde 80mm Dybde 170mm Høyde 150mm	Ytre Bredde 80mm Dybde 170mm Høyde 220mm



*Figur 10.6.4 A) Innfesting til bom slik konstruksjonen er i dag B) Innfesting til bom rigide deler med innføring av POM plate.*

## 10.7 Konseptseleksjon

Her ble det laget en seleksjonsmatrise med vekting av kriterier som maskiningeniør Per Andersen, daglig leder Anders Aker og jeg fylte ut (vedlegg). Andersen og Aker valgte å gå sammen om å fylle ut matrisene så jeg fikk et samlet resultat fra disse. Dette er ikke helt heldig for å kunne gi et riktig bilde av seleksjonen, og det var visst noe uenighet mellom dem på enkelte deler. Jeg har valgt å vekte deres samlede resultater med to trededeler av det totale resultatet for å veie opp for sammenslåingen. Dette er ikke en tilfredstilene statistisk fremgangsmåte for å komme frem til resultater, men vil gi et mer gjennomtenkt utvalg av konseptene. Jeg vil her kun presentere det samlede resultatet.

### 10.7.1 Vekting av kriterier

*Tabell 10.7.1 Vekting av kriterier. Vektingen er basert på en skala fra 1 til 5 hvor 5 er veldig viktig og 1 er lite viktig. Adigo står for det samlede resultatet og T står for min egen vekting.*

Nr	Kriterier	Beskrivelse	Vekting		
			Adigo	T	Samlet
1	Stabilitet	I hvilken grad komponentene bidrar til stabilitet av konstruksjonen.	5	5	5
2	Konstruksjon	I hvilken grad komponentene er enkle å lage med hensyn på mekanisk etterarbeid som for eksempel sveising og drilling.	5	5	5
3	Forenkling	I hvilken grad komponentene bidrar til en total forenkling av konstruksjonen. Dette innbefatter hvor mange funksjoner som blir integrert i den enkelte komponenten	4	4	4
4	Design	I hvilken grad komponentene bidrar til det helhetlige utseende på maskinen.	4	3	3,7
5	Kostnader	Hvordan konseptet bidrar i den totale kostnaden.	5	5	5
6	Transport	I hvilken grad komponentene bidrar til forenkling av emballering og transport.	3	4	3,3
7	Drifts sikkerhet.	I hvilken grad komponentene bidrar til den helhetlige driftsikkerheten.	5	5	5

**10.7.2 Seleksjonsmatrise løpesøyler***Tabell 10.7.2 Seleksjonsmatriser for løpesøyler*

	Kriterie	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3,7	5	3,3	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		4,7	5	5	3,7	5	4	5	145,1
<b>B</b>		4,3	5	5	5	5	4	5	<b>148,3</b>
<b>C</b>		4,3	4	4	5	4	4	5	134,3

**10.7.3 Seleksjonsmatrise motorsøyler***Tabell 10.7.3 Seleksjonsmatriser for motorsøyler*

	Kriterie	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3,7	5	3,3	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		5	3	2	2	3	4	5	108,7
<b>B</b>		5	4	4	4	4	4	5	134
<b>C</b>		5	5	5	4	4,3	4	5	<b>144,7</b>

**10.7.4 Seleksjonsmatrise søyle for stableramme***Tabell 10.7.4 Seleksjonsmatriser søyle for stableramme*

	Kriterie	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3,7	5	3,3	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		5	3	2	2	3	4	5	108,7
<b>B</b>		5	4	3	4	3	4	5	125
<b>C</b>		5	5	5	4	5	4	5	<b>148</b>

### 10.7.5 Seleksjonsmatrise portalprofil

*Tabell 10.7.5 Seleksjonsmatriser for portalprofil*

	Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3,7	5	3,3	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		4	4	4,7	4	5	4	5	136,7
<b>B</b>		4	5	5	5	5	4	5	<b>146,7</b>

### 10.7.6 Seleksjonsmatrise mottaksbord

*Tabell 10.7.6 Seleksjonsmatriser for mottaksbord*

	Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3,7	5	3,3	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		4,3	3	3	3	3	3	5	109,7
<b>B</b>		5	4,3	4,3	4,3	4,3	5	5	<b>143,2</b>
<b>C</b>		5	4,7	4,7	4,7	4,3	3	4,7	139,1

### 10.7.7 Seleksjonsmatrise stableramme

*Tabell 10.7.7 Seleksjonsmatriser for stableramme*

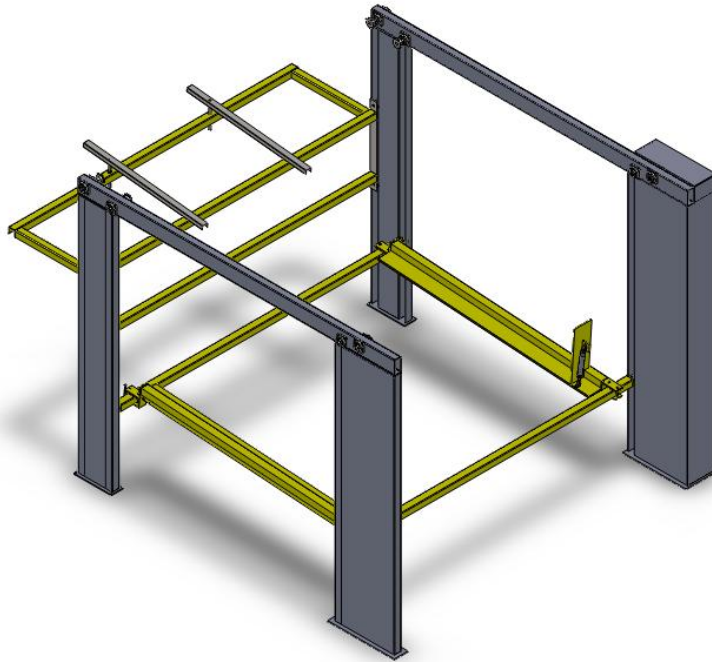
	Kriterier	1	2	3	4	5	6	7	
	Vekting	5	5	4	3,7	5	3,3	5	Poeng
<b>Konsept</b>									
<b>A</b>		5	3	3	4	3	5	4	118,3
<b>B</b>		5	5	5	4	5	5	5	<b>151,3</b>

## 10.8 Resultater av seleksjonsmatrisen

Hvis man ut fra resultatene hadde kommet frem til ulike konsepter som ikke hadde vært forenelige med en helhetlig sammenstilling, måtte man ha vurdert den helhetlige løsningen og tatt valg ut fra dette. Et argument som da ville bli lagt til grunn ville være den konstruksjonsmessige. Hvis man først skulle gå for en løsning med platekonstruksjon som besto av knekte plater, ville det være naturlig å gå for platekonstruksjon på alle delene. Dette vil da være økonomisk og



konstruksjonsmessig fornuftig da man lager alle delene i en operasjon. Ut fra de ovenstående seleksjonsmatrisene ser vi at de prefererte løsningen passer sammen. Dermed trenger vi ikke å ta hensyn til dette.



*Figur 10.8 Sammenstilling av de prefererte konseptene.*

### 10.8.1 Andre tiltak

I tillegg til de delene som har blitt sett på i seleksjonsmatrisen vil man erstatte firkantprofilene som er brukt i stableramme og mottaksbordet med u-profiler. Dette vil forenkle innfestingen av kjedefester og vil redusere vekten på heisedelene betraktelig som vi ser i tabell 10.7.2. Dermed vil man kunne redusere vekten på motvektene i tillegg, og dette vil føre til en total redusert belastning på maskinen. Det som man må ta med i betraktningen er at man enten må velge lettere kjeder slik at disse ikke vil bli hengende for mye mellom ytre og indre søyler, noe de gjør i dag med eksisterende vekt, eller man kan velge å innføre kjedebaner hvor kjedet går mellom indre og ytre del.

*Tabell10.8.1 Oversikt over vektendring på enkeltkomponenter som følge av redesign*

Komponent	Orginal	Redesign	vektendring
Løpesøyle	129 kg	90 kg	39 kg
motorsøyle	355 kg	368 kg	-13 kg
Søyle for stableramme	104 kg	226 kg	-122 kg
Portalprofil	35 kg	83 kg	-48 kg
mottaksbord	205 kg	142 kg	63 kg
stableramme	220 kg	142 kg	78 Kg

Ut fra tabell 10.7.2 ser vi at de redesignede komponentene som skal brukes i den statiske konstruksjonen er tyngre enn de som ble laget i den andre versjonen av Tubestacker. Dette var i utgangspunktet ikke ønskelig, men siden man forenkler sammenstillingen og økt tyngde vil gi økt stabilitet, anser jeg det som gunstig til tross for økt vekt. Heisdelen er blitt lettere og dette gir mindre belastning på konstruksjonen og drivverk.

## 10.9 Teknisk optimalisering

Det var en del rent tekniske løsninger vi ønsker å innføre i den neste versjonen av maskinen. Det vi fant ut når vi hadde installert maskinen på Vinterbro var at beskyttelsesdørene ikke ble benyttet og kunden ønsket å ha dem fjernet. For å ivareta sikkerheten på neste versjon vil vi innføre fotoceller i åpningene slik at maskinen slår seg av hvis personer eller utstyr beveger seg inn i heisen under drift. En annen ting som ble klart under kjøring av maskinen var at det var ønskelig å legge vekselvis partallrad og oddetallrad i noen dimensjoner for å kunne utnytte stellene maksimalt.

Her vil det da være nødvendig å innføre en forandring i programmet som styrer automatikken for å tillate dette, men det kan også være nødvendig å innføre et stempel på rørmottaket på stablerammen slik at man posisjonerer rørene riktig før de slippes ned i stellet. Som tidligere nevnt ble det klart at man ønsker å benytte heisen til 2500mm rør også, dermed vil det være nødvendig å kunne justere stablerammen i to ulike bredder. Dette ble løst i denne versjonen av maskinen med å benytte en låsesplint og to hull i bommen. På neste versjon vil det være ønskelig ha stoppere på bommen slik at man kun kan bevege falletemmen mellom to posisjoner. Det hadde også vært ønskelig med en mer elegant løsning på låsing av falletemmen ved breddejustering.

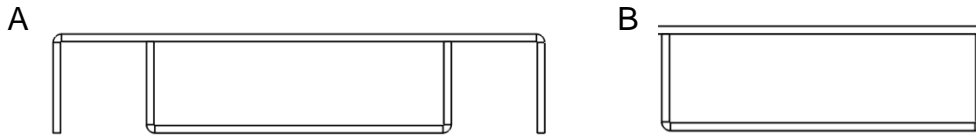
## 10.10 Økonomisk optimalisering

Man kan vurdere å finne billigere produsenter til de enkelte innkjøpte komponentene, men her blir det en vurdering av kvalitet mot pris. Det er per i dag produkter fra anerkjente bedrifter som Adigo man har god erfaring med hva kvalitet angår. Hvis produksjonen av maskinen vil innebære relativt små serier, vil det ikke være nødvendig å vurdere andre leverandører. Hvis man derimot tenker å bygge større serier med maskinen bør man ta en grundigere gjennomgang av de innkjøpte komponentene. Her vil kvantumspriser og en nærmere gransking på antatt levetid i forhold til kvalitet av enkeltkomponentene spille inn.

## 10.11 Beregninger på redesign

I denne beregningsdelen vil jeg kun se på løpesøylen som jeg anser som den svakeste søylen i konstruksjonen. Jeg velger å benytte samme fremgangsmåte på vurdering av den svakeste søylen som jeg har gjort i kapittel 7. Her vil vi finne den maksimale kritiske sidekraften denne søylen kan bli utsatt for. Jeg velger her å vise en forenklet utregning da denne står detaljert uttrykt i kapittel 7.9 Jeg velger her å

forenkle den redesignede løpesøylen slik at vi anser denne som en firkantprofil. (Figur 10.9).



*Figur 10.11.1 A) Profilen til løpesøylen slik den er tenkt i dag. B) Den forenklede delene av løpesøylen vi velger å beregne på her.*

Det var en tanke at man gjenbrakte målene fra den forrige utgaven av maskinen så mye som mulig i redesignet. Derfor har jeg valgt samme dybde på denne profilen, men jeg har valgt å gå litt ned på den totale bredden. I denne sammenhengen kommer jeg til å la høyden til angrepspunktet til kraften være lik den vi hadde i kapittel 7.9 for å kunne sammenligne resultatene.

*Tabell 10.11.1 Dimensjoner på løpesøyle som skal beregnes*

Dimensjoner	mål
<b>Total bredde</b>	400mm
<b>Dimensjonerende bredde (b)</b>	248mm
<b>Dybde(d)</b>	80mm
<b>Tykkelse (t)</b>	4mm
<b>Indre bredde (bi)</b>	240mm
<b>indre dybde (di)</b>	72mm

Vi finner annet arealmomentet og motstandsmomentet til søylen

$$I_{ls2} = \frac{1}{12} * (248 * 80^3 - 240 * 72^3) = 3116373mm^4 \quad (10.11.1)$$

$$W_{ls2} = \frac{1}{6} * (248 * 80^2 - 240 * 72^2) = 57173,3mm^3 \quad (10.11.2)$$

Dermed bruker vi sammen fremgangs måte som i kapittel 7.9

$$Fls_{kr} = \left(1 - \frac{Fy_{ls}}{Fk_{till}}\right) * \frac{M_{flyt}}{1,5 * h} \quad (7.9.7)$$

Ved å bruke denne formelen får vi to verdier på den sideveis kritiske belastningen denne søylen vil motstå med og uten stabiliseringsbom.

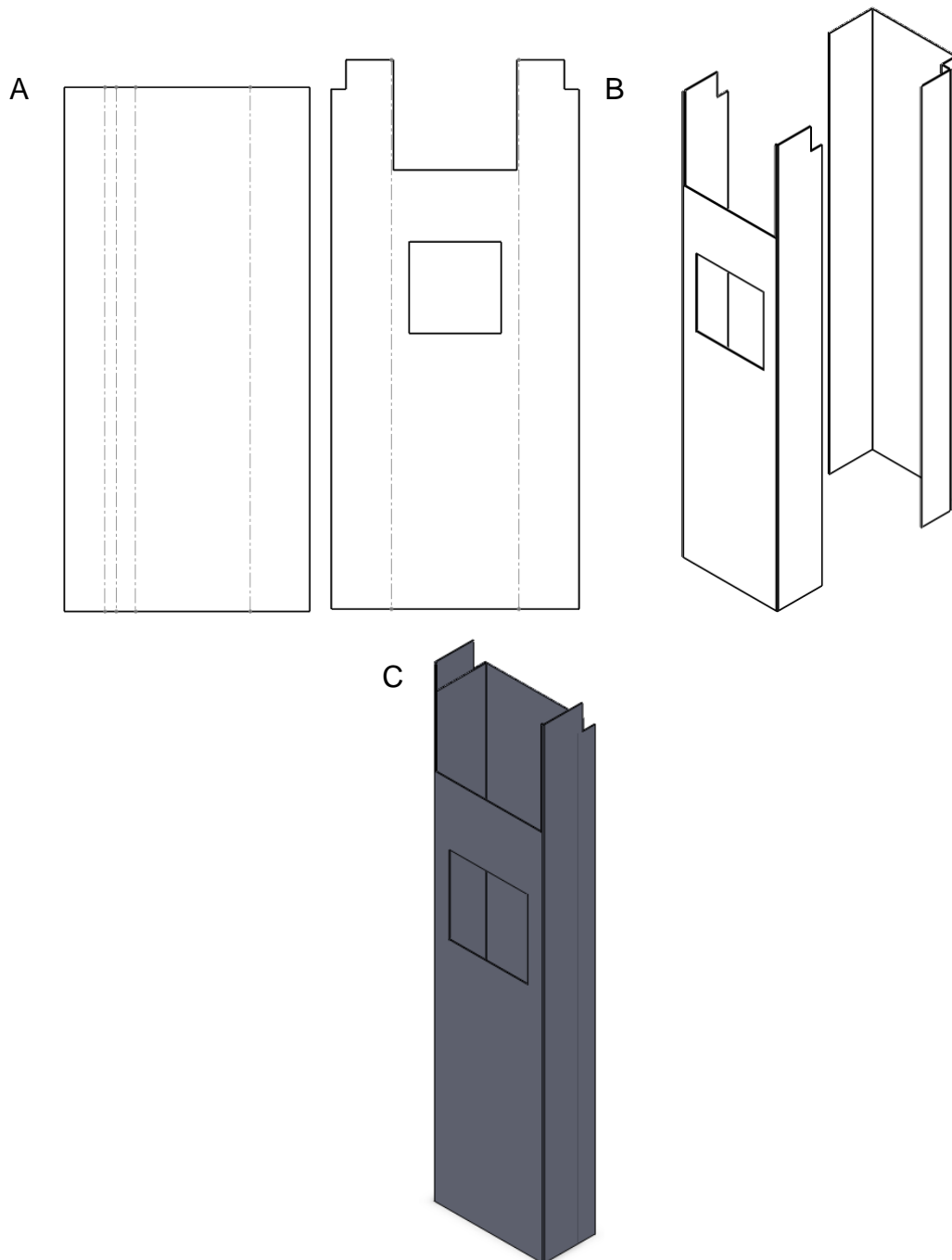
$$Fls_{kr}hls2 = \mathbf{6366,04N}$$

$$Fls_{kr}hbbs = \mathbf{8925,8N}$$

Hvis vi sammenligner resultatene vi fikk fra løpesøylen på den forrige maskinen, ser vi at den redesignede søylen har noe høyere verdier enn den originale. Dette er ikke helt reelle tall da forenklingen av upn-søylene og arealtrehetsmomentet vi fant her var på veldig konservativ side. Men dette gir uansett en indikasjon på at de redesignede søylene vil være omtrent like stive, og det er ingen fare for utbøyning. Det man her må vurdere er om man bør gå opp i tykkelse på godset slik at man unngår utvalsing på grunn av løpehjulene.

## 10.12 Konstruksjon av søyler

Valg av type søyle er avhengig av hvordan den lar seg produsere. Det er ønskelig å få laserskjært platene slik at man unngår mekanisk bearbeiding i etterkant. Enkelte firmaer som driver med laserskjæring kan også knekke platene som for eksempel Weland. [28] Jeg har her laget en enkel skissering av prosedyre for konstruksjon av motorsøylen.



*Figur 10.12 A) Laserskjærer plater og angir knekkpunkter. B) Knekker platene til ønsket profil. C) Sammenstiller komponentene med punktsveising.*

## 10.13 Kostnadsoversikt over redesignet av Tubestacker.

I utviklingen av redesignet til Tubestacker har jeg brukt mye tid på kartlegging av andre versjon av maskinen.

*Tabell 10.13 Timefordeling*

Arbeidsoppgave	Timer	Pris	Totalt (kr)
<b>Forarbeid</b>			
Kartlegge maskin	150	Kr 600,-	Kr 90000,-
Solidworks konstruksjon	200	Kr 600,-	Kr 120000,-
Kartlegge og beregne kritiske komponenter	75	Kr 600,-	Kr 45000,-
Delsum			Kr 255000,-
<b>Ferdigstilling av andre versjon av Tubstacker</b>			
Prototypebygging	215	Kr 165,-	Kr 35475,-
Risikoanalyse	75	Kr 600,-	Kr 45000,-
Delsum			Kr 80475,-
<b>Utarbeiding av ny løsning</b>			
Redesign	200	Kr 600,-	Kr 120000,-
Rapportering	100	Kr 600,-	Kr 6000,-
Delsum			Kr 180000,-
<b>Totalt</b>	<b>1015</b>		<b>Kr 515475,-</b>

Normert tid på en masteroppgave er 900 timer. Grunnen til at jeg ligger noe over dette er at mye tid gikk med til bygging av prototyp. Her var jeg lønnet som verkstedsarbeider og i en reell sammenheng ville det ikke vært naturlig å sette en ingeniør til dette. Dermed ville tidsbruken her vært mye lavere.

## 11. PROSESSDISKUSJON

I kontrast til den tilsynelatende lineære og strukturerte oppbyggingen av denne oppgaven har det i virkeligheten vært en prosess hvor de enkelte arbeidsoppgavene har vært overlappende og mye av arbeidet har skjedd parallelt. Dette er en relativt stor og komplisert maskin med mange komponenter og det har vært nødvendig å ta noen antagelser og forenklinger for å kunne gjennomføre denne masteroppgaven innen rimelig tid. I utgangspunktet var det meningen at jeg skulle vurdere og eventuelt lage nye konsepter til løpekattløsningen samt konstruere en 3d-konstruksjon av maskinen, men etter hvert som tiden gikk ble oppgaven mer omfattende på grunn av problemstillinger som dukket opp. Kartlegging av maskinenes funksjoner og mål var allerede satt når jeg kom inn i denne prosessen. Dermed ble min jobb her å strukturere dette og få det ned på en form som var ryddig og lett forståelig. Jeg fikk også klarhet i hvilket arbeid som var gjort tidligere og hvilke mangler man ønsket å rette på i den neste versjonene. Det som viste seg å være en stor mangel i dette arbeidet var at man ikke hadde avdekket at det var ønskelig å benytte denne stablere til 2500mm lange rør i tillegg til 3000mm. Dette viser at det ikke har vært god nok kommunikasjon med kunden før arbeidet med maskinen var igangsatt. Det fantes heller ingen skriftlig dokumentasjon på hvilke funksjoner denne maskinen skulle ha, noe som ville vært gunstig hvis det skulle oppstå konflikt. Heldigvis fant man en løsning på problemet som ikke innebar større endringer i konseptet. Ved utvikling av slike produkter er det ikke alltid kunden vet hva de trenger, og dermed blir det opp til leverandøren å kartlegge problematikken og løsninger på dette. Det jeg vil konkludere ut fra denne erfaringen er at det er viktig å ha skriftlig dokumentasjon på funksjonalitet og begrensninger på produktet som kunden er innforstått med.

Dette er den største og mest kompliserte modellen jeg har konstruert i SolidWorks, og her ble utfordringene mange. I starten av arbeidet hadde jeg ingen klar struktur på oppbyggingen av modellen, noe som resulterte i kaotiske mapper hvor det å modifisere modellen ble tidkrevende på grunn av all tiden man brukte på å finne igjen komponentene. Så jeg innså at man trengte en fornuftig oppdeling av delsammenstillingene og sortering av enkeltdelene slik at det ble enkelt å gå inn og modifisere maskinen. Det som forenklet arbeidet var å ta kontakt med produsentene av enkelt komponenter for å få tak i ferdige SolidWorks-tegninger som jeg satt inn i modellen. Det å innføre testelementer viste seg også å være fornuftig da man fikk kartlagt dimensjoneringsfeil. Tegningsgrunnlaget som var utviklet i 2d i AutoCAD var ikke spesielt strukturert, derfor gikk det mye tid med til å tolke tegninger og overføre dette til 3d. Dermed så jeg nødvendigheten av å ha et ryddig tegningsgrunnlag når man er flere som jobber på et prosjekt. Hvis man har en god struktur blir det lettere for andre å sette seg inn i tegningene og dermed vil man effektivisere arbeidet betraktelig.

De delene av prosessen som var mest overlappende var beregning av kritiske komponenter og prototypbygging. Jeg jobbet tett med Per Andersen under hele perioden og valgene som er tatt i denne oppgaven er stort sett løsninger som vi tok i

Samråd. Det å jobbe med en erfaren ingeniør har vært veldig lærerikt og samtidig ganske fjernt fra den fremgangsmåten jeg er vant med fra skolen. Da denne maskinen er en prototyp som ble utviklet på relativ kort tid, ble det ikke satt av mye tid til å dimensjonere de enkelte komponentene. Selv om jeg i denne oppgaven har valgt å dimensjonere enkelte komponenter, ble det i realiteten tatt valg på disse dimensjonene ut fra erfaringsgrunnlaget til Per Andersen. Det som viste seg i ettertid var at disse dimensjonene var på konservativ side, men dette er ikke et problem siden vi her har produsert en fungerende prototyp hvor hovedmålet var å avdekke den tekniske løsningen. Den dimensjoneringen som har blitt gjort i denne oppgaven vil uansett være nyttig med tanke på neste versjon av maskinen som jeg har utkastene til i redesignkapitlet. Prototypbyggingen har vært den mest lærerike delene av denne prosessen da man fortløpende måtte finne løsninger på problemene som oppsto underveis. Det jeg ser nå er at jeg kunne vært mer proaktiv med tanke på dimensjoneringen da alle data forelå før vi startet byggingen. Ved bygging av neste versjon bør man ha en grundigere dimensjoneringsgjennomgang da man ønsker å benytte denne modellen i innseilingssammenheng mot Spiro AS, produsent og forhandler av spiromaskinene.

I utviklingen av risikoanalysen valgte vi å ha et møte hvor de som var mest involverte i byggingen av maskinen var representert. Her burde vi hatt en representant fra kunden i tillegg for å oppfylle kravet fullstendig, men det ble vurdert som tilstrekkelig med tanke på at de som var til stede hadde nok erfaring med bruken av maskinen til å dekke den biten. Her ble det avdekket farekilder og tiltak man skulle iverksette. Et resultat av denne risikoanalysen var innføring av gitterdører og gittervegger rundt maskinen som hindret adgang under heisdelene. Det man så i ettertid var at innføring av gitterdørene var unødvendig da kunden ønsket disse fjernet siden de ikke ble brukt i praksis. Dermed hadde det vært fornuftig om vi hadde hatt en representant fra kunden under utviklingen av denne analysen.

Redesignet av maskinen var en parallell prosess med prototypbyggingen da man her så i praksis hvilke tiltak man kunne gjøre på den neste modellen for å forenkle den. Et hovedmoment i denne prosessen var å velge mindre godstykkelse på enkeltelementene slik at man fikk ned vekten på heise delene. Denne maskinen skal løfte rør som har en maksvekt på rundt 200kg, og ut fra dette må man anse prototypen som overdimensjonert i forhold til denne vekten. Det som taler for at man har så grove dimensjoner er at maskinen ser og føles veldig robust. I et forbrukerperspektiv er dette veldig bra. Jeg valgte å benytte meg av nesten like ytermål ved utviklingen av redesignet slik at maskinen ser omtrent lik ut. Men man kan her velge å gå for tynnere godstykkelse på komponentene for å spare vekt. Bruken av seleksjonsmatriser i utvelgelse av komponenter var en god løsning, men ga ikke noe avvik i forhold til det vi ble enig om på møtet i forkant. Det som var svakheten med denne fremgangsmåten var at den statistisk sett ikke ga oss et grundig nok datagrunnlag. Ved en ny gjennomgang ville jeg ha benyttet flere personer for evaluering og hatt en mer faglig riktig gjennomgang av seleksjonskriterier og skalering for å få et mer korrekt statistisk grunnlag.



## 12. KONKLUSJON

I denne oppgaven har vi kartlagt maskinens bruksegenskaper og tekniske løsninger. Konstruert maskinen i 3d og dimensjonert kritiske elementer. Foretat en risikoanalyse og igangsatt tiltak for å hindre risiko for skade. Dette som grunnlag for en CE-merking av produktet. Redesignet enkeltkomponenter som vil bidra til en forenkling av maskinen og vurdert disse med tanke på belastningene de blir utsatt for.

### 12.1 Resultater og anbefalinger

#### Kartlegging av maskinen.

Under kartleggingen av maskinen kom jeg fram til at maskinen bør dimensjoneres ut fra målene i tabell 12.1.1.

*Tabell 12.1.1 Kartlagte dimensjoner på konstruksjonen.*

Dimensjoner	Størrelse
Indre bredde for heiser.	3390 mm
Indre bredde for stell	2436 mm
Dybde på mottaksbord	1400 mm
Maks belastning på mottaksbord	304 kg
Maks belastning på stable ramme	418 kg

Disse målene er satt ut fra rørdimensjoner og stelldimensjoner. Her ville jeg vurdert å øke bredden for stellene ytterligere for å gi gaffeltrucken mer rom å jobbe på ved inn- og utkjøring. Denne vurderingen baserer seg på erfaringene som ble gjort ved testkjøringen av prototypen på Vinterbro.

#### Utvikling av 3D konstruksjon.

3D-konstruksjonen av maskinen i SolidWorks ble gjort på bakgrunn av 2D-tegninger i AutoCAD. Her ble det valgt å lage romtegningen ut fra målsettingen på 2D-konstruksjonen framfor å importere tegningen og ekstrudere disse. Det ble kartlagt en metode for å organisere en kompleks modell inn i del sammenstillinger. Disse delsammenstillingene dannet utgangspunktet for oppdelingen av maskinen i moduler med tanke på transport og montering. Ved innføring av testelementer i 3D-konstruksjonen ble det avdekket noen dimensjoneringsavvik i 2D-tegningene. Disse ble rettet på før man laget endelige verkstedstegninger.

#### Beregning på kritiske elementer.

I samråd med Adigo ble det i denne oppgaven avdekket noen kritiske elementer man burde vurdere nærmere. Det forelå løsningsforslag på disse komponentene og disse ble vurdert opp mot nye konsepter. Noen av de kritiske elementene ble avdekket under byggingen av prototypen og løsninger ble da valgt før man kunne foreta en konseptvurdering og dimensjonering. Dermed vil resultatene som ligger i dette kapitlet være mer aktuelle for den redesignede versjonen av Tubestacker. I tabell 12.1.2 er resultatene av beregningene presentert.

Tabell 12.1.2 Dimensjoner på utvalgte kritiske elementer.

Komponent	Mål grunnlag	Dimensjoner
Løpehjulaksel	Diameter	16 mm
Innsveising av løpehjulaksel	A-mål	3 mm
Kjedehjulaksel	Diameter	25 mm
Løpesøyle	Kritisk sideveis belastning etter innføring av stabiliserings ramme.	5786,4 N

Resultatene fra dette kapitlet viser at noen valgte løsninger ble overdimensjonert og dermed kan man redusere størrelsen på disse i redesignet.

### Prototypebygging.

Under byggingen av maskinen ble det avdekket flere problemer som man måtte finne løsninger på. Disse har blitt løst og gjort rede for. Det ble også klart at maskinen skulle benyttes til rør med lengder på 2500mm i tillegg til 3000mm. Dette fant vi her en enkel løsning på ved å gjøre stablerammen justerbar i bredderetning. Det er i dette kapitlet kartlagt produsenter og samarbeidspartnere som ble benyttet i produksjonen. Jeg har også avdekket hvilke løsninger som ble valgt på de kritiske delen og hvordan disse avviker i forhold til de dimensjonerte løsningene. Det ble under denne prosessen avdekket hvilke tiltak som burde gjøres for å forenkle konstruksjonen, noe jeg tar med i redesignet av maskinen.

### Risikoanalyse.

Her avdekket man kravene som må oppfylles for å CE-merke maskinen. Arbeidet konkluderte med at denne maskinen er underlagt kravene som omhandler vern mot skade på liv og helse i maskindirektivet, samt EMC-direktivet som omhandler elektromagnetisk støy. Her ble farekildene kartlagt og forslag til tiltak ble utarbeidet. Dette resulterte i at man implementerte gitterdører med automatisk stopp på maskinen ved åpning, og gittervegger foran motvektene. Det ble konkludert med at det var tilfredsstillende å foreta en intern kontroll på maskinen. I dette kapitlet ble det utredet hvilken dokumentasjon som må foreligge for å CE-merke maskinen.

### Redesign og optimalisering av Tubestacker.

På bakgrunn av resultatene jeg fikk i kapitlet om kritiske komponenter og vurderingen etter prototypbyggingen, arbeidet jeg frem nye løsninger på enkeltkomponenter. Disse ble utarbeidet med tanke på økonomisk, teknisk og konstruksjonsmessig optimalisering. Det ble lagt frem en enkel skissering på hvordan man ser for seg at delene kan produseres, og jeg foretok også en enkel beregning på stivheten til den svakeste søylen. Dette viste at man fikk omtrent samme resultat på den redesignede søylen som den opprinnelige.

Følgende elementer ble redesignet:

- Løpesøyle
- Motorsøyle
- søyle for stableramme
- Portalprofil
- Mottaksbord
- Stableramme

Det var ønskelig å få ned vekten på denne konstruksjonen. Det som viste seg ved redesignet var at vekten gikk opp på det meste av de strukturelle elementene. Dette er ikke optimalt med hensyn på transport, men på den annen side vil det være gunstig med tanke på stabilitet. Heisdelen gikk ned i vekt, og dette er gunstig med tanke på belastningen på transmisjonssystemet. Ut fra dette kan man vurdere om man ønsker å fjerne materiale på de tyngste elementene, men dette blir en helhetlig økonomisk vurdering man kan se på i videre arbeid med maskinen.

## 12.2 Videre arbeid

Det var ikke mulig å dekke alle aspektene på maskinen i denne oppgaven, og følgelig har jeg vurdert det som fornuftig å legge dette til videre arbeid.

- Til neste versjon av Tubestacker er det hensiktsmessig å se på motorer og foreta en videre kraftberegning på disse ut fra belastningen de blir utsatt for. Dette for å se om man kan gå ned på kraften og dermed velge en billigere løsning.
- Kjeder og kjedehjul bør vurderes nærmere med tanke på å gå ned på dimensjonen av disse.
- En mer inngående dimensjonering av den redesignede utgaven av maskinen slik at man kan optimalisere denne ytterligere.
- Foreta en utfyllende kostnadsanalyse av maskinen for å ha et bedre grunnlag for hvilke tiltak som bør gjøres med hensyn på de økonomiske aspektene.
- Kartlegge hvilke funksjoner denne maskinen bør inneha og få en skriftlig avklaring med kunden.
- Ta en grundigere seleksjonsmatrise hvor man involverer kunden i større grad, slik at man har et bedre grunnlag for utviklingen av redesignet.

## 13. LITERATURREFERANSER

### Skriftelig kilder

1. Aasen, B. & Svarliaunet, G. H. (2010). *Stål håndbok, Del 3, Konstruksjoner av stål*. Oslo: Norsk stålforbund. IV, 348 s.
2. Baldi, G. (2003). *Palletizing machine*. 12 s.
3. Dahlvig, G., Christensen, S. & Strømsnes, G. (1991). *Konstruksjonselementer*. [Ås]: Yrkesopplæring. 486 s.
4. Det Norske, v. (2010). *Fatigue design of offshore steel structures: April 2010*. Høvik: Det norske veritas. 142 s.
5. Direktoratet for, a. (2009). *Forskrift om maskiner: fastsatt av Arbeids- og inkluderingsdepartementet 20. mai 2009, nr. 544*. Oslo: Arbeidstilsynet. 99 s. s.
6. EMC-direktivet. (1996). *Håndbok: EMC-direktivet*. Skedsmo: Klöckner-Moeller norsk. 38 s.
7. Gieck, K. & Gieck, R. (2006). *Engineering formulas*. New York: McGraw-Hill. 1 b. (flere pag.) s.
8. Mergler, Y. J., Schaake, R. P. & Huis in't Veld, A. J. (2004). Material transfer of POM in sliding contact. *Wear*, 256 (3–4): 294-301.
9. Norge. (1992). *Patentloven (1967)*. [Oslo]: Styret for det industrielle rettsvern. 23 s.
10. Norskstål. (1997). *Norsk Stål produktkatalog*
11. Standard, N. (2010). *Eurokode 3: prosjektering av stålkonstruksjoner, Del 1-9, Utmattingspåkjente konstruksjoner*. Lysaker: Standard Norge. 34, 5, 3 s. s.
12. Stålkonstruksjoner. (2003). *Stålkonstruksjoner: profiler og formler*. Trondheim: Tapir akademisk forl. 56 s. s.
13. Terjesen, G. (2011). *Bruk av standarder Fokus: DNV-RP C203: UMB*. 43 s. Upublisert manuskript.
14. YUKIO, G. P. J. K. (1993). *Apparatus for stacking tube and related method*. 17 s.

### Personlig meddelelser

15. Aker, A. (2012). *Ferdigstilling av andre utgaven av Tubestacker*.
16. Andersen, P. (2011). *Autocad tegning av motorsøyle [jpeg]*.
17. Bringas, C. S. (2011). *Samtale vedrørende 2D til 3D overføring (04.09)*
18. Terjesen, G. (2012). *Samtale vedrørende kombinerte laster på søyler. (25.04)*.

### Nett kilder

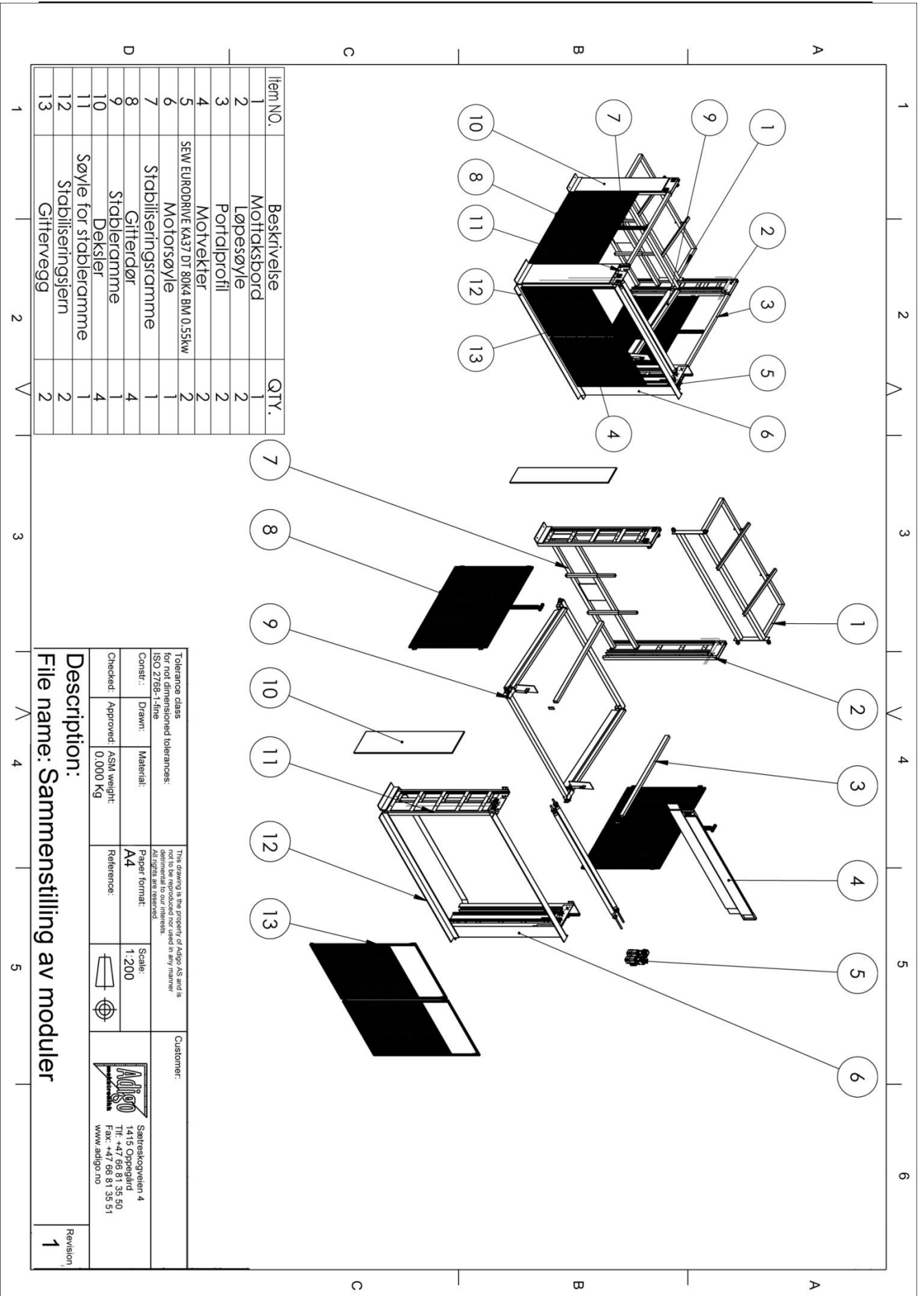
19. 3DContentCentral. (2012). *3D Content Central*. Tilgjengelig fra: <http://www.3dcontentcentral.com/> (lest 11.05).
20. Anver. (2012). *Vakumløfter*. Tilgjengelig fra: <http://www.anver.com> (lest 08.05).
21. Brannvern. (2012). *Støysone bruk hørselsvern*. Tilgjengelig fra: <http://www.brannvernbutikken.no/> (lest 08.05).
22. Multigaffel. (2012). *Multigaffel rør løfter*. Tilgjengelig fra: [http://pavetech.com/tools/fixed\\_multi\\_forks.htm](http://pavetech.com/tools/fixed_multi_forks.htm) (lest 08.05).
23. Skarbo, P. M. (2011). *Inventor tegning av Tubestacker*

24. Solidworks. (2012). *2D til 3D i SolidWorks* Tilgjengelig fra: <http://help.solidworks.com> (lest 08.05).
25. Startrace. *Magnetløfter*. Tilgjengelig fra: <http://www.themagneticguide.com>.
26. TobiasJensen. (2012). *Tobias Jensen Production*. Tilgjengelig fra: <http://www.ball-tik.com/> (lest 08.05).
27. traceparts. (2012). *traceparts*. Tilgjengelig fra: <http://www.tracepartsonline.net>.
28. Weland. (2012). *Weland AS*. Tilgjengelig fra: <http://www.weland.no> (lest 08.05).


## **VEDLEGG**

- I. Tegning av Tubestacker 2 modulliste.
- II. Tegning av Tubestacker 2 målsatt.
- III. Tegning av Tubestacker 3 Modulliste.
- IV. Tegning av Tubestacker 3 målsatt.
- V. Håndtering av spirorør.
- VI. Patentgranskning.
- VII. Møtereferat redesign.

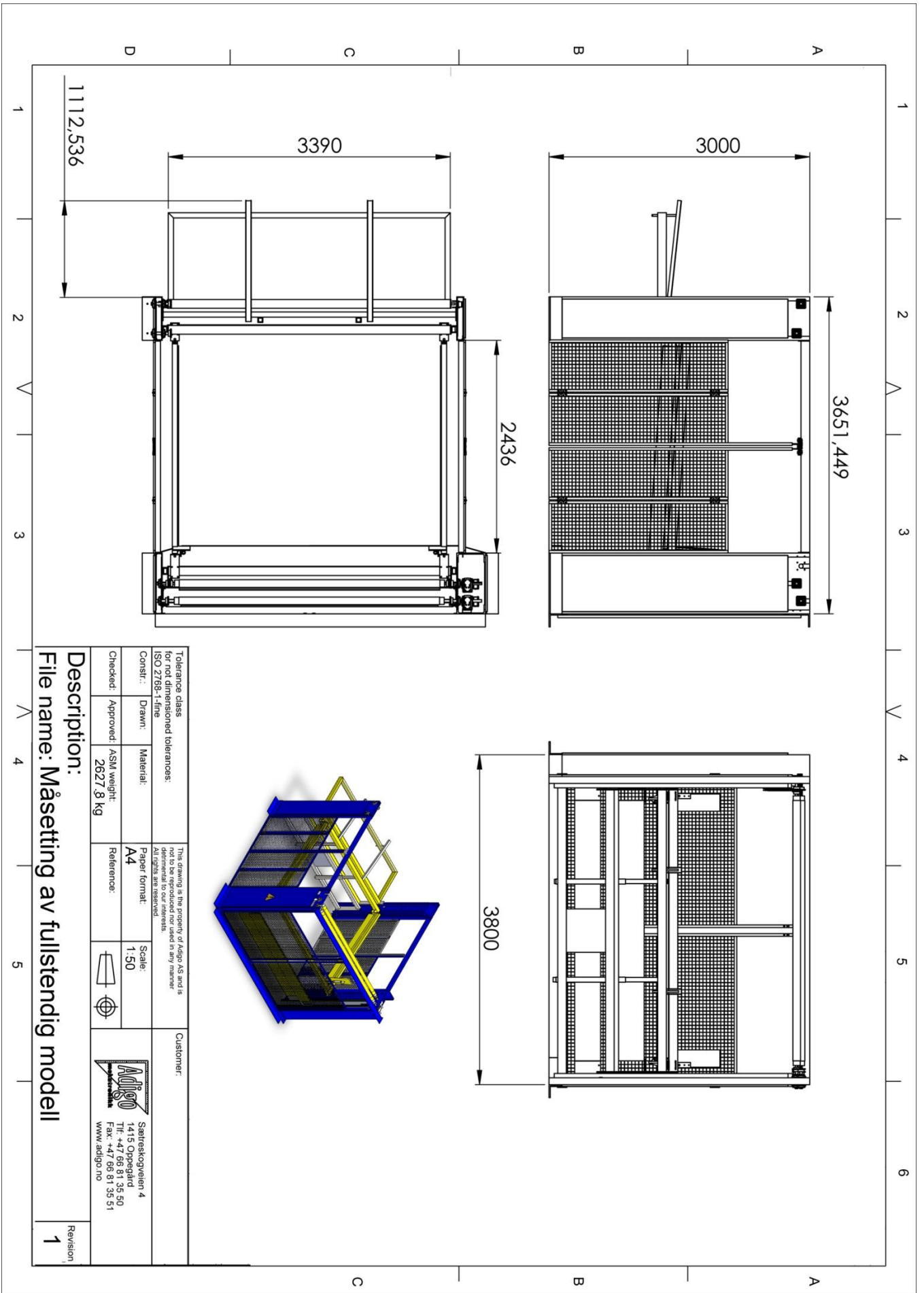
# VEDLEGG I



Item NO.	Beskrivelse	QTY.
1	Mottaksbord	1
2	Løpesøyle	2
3	Portalprofil	2
4	Motvæker	2
5	SEW EURODRIVE KA37 DT 80K4 BM 0,55kW	2
6	Motorsøyle	1
7	Stabiliseringsramme	1
8	Gitterdør	4
9	Stableramme	1
10	Deksel	4
11	Søyle for stableramme	1
12	Stabiliseringsjern	2
13	Gittervegg	2

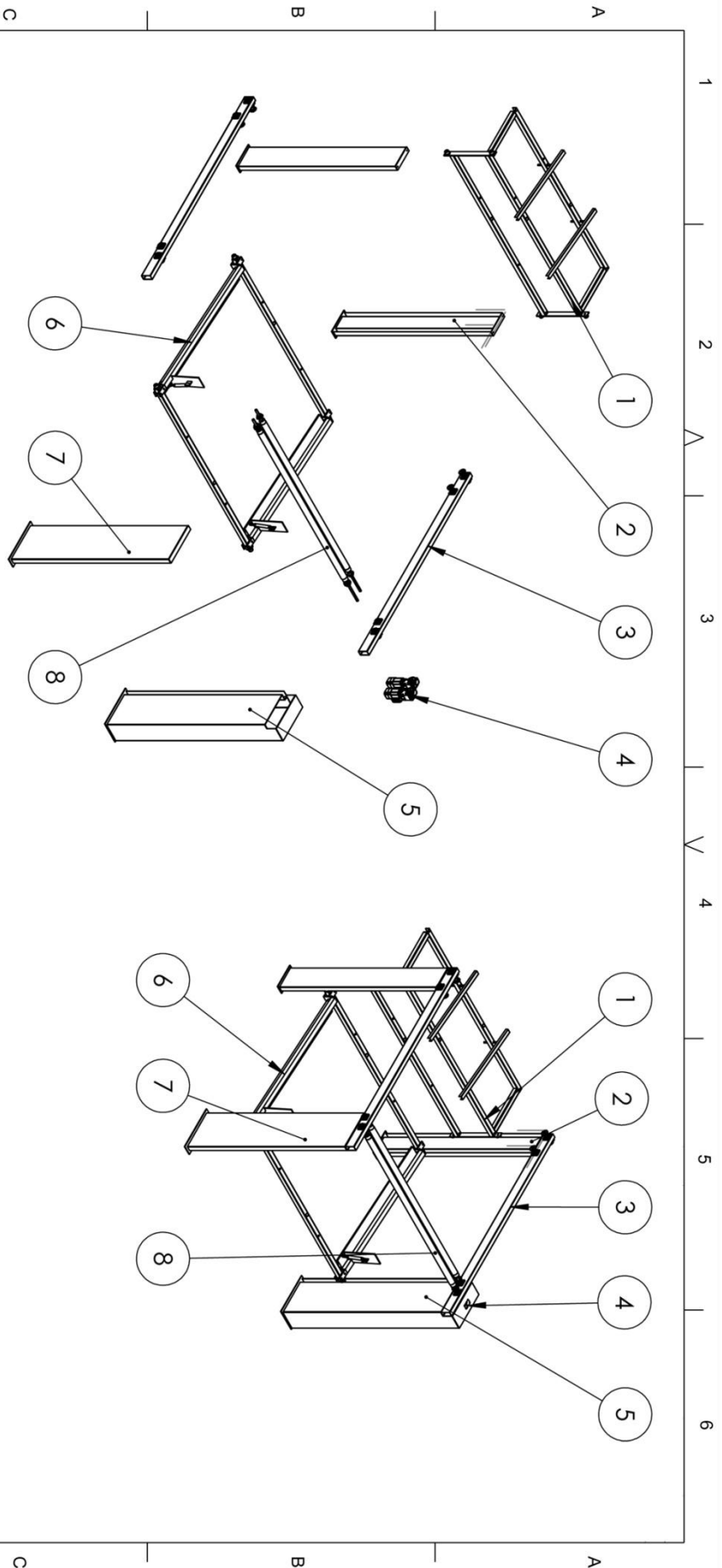
Tolerance class for not dimensioned tolerances: ISO 2768-1-fine		This drawing is the property of Adigo AS and is not to be reproduced nor used in any manner without the written consent of Adigo AS. All rights are reserved.		Customer:
Constr.:	Drawn:	Material:	Paper format:	Scale:
Checked:	Approved:	ASM weight:	Reference:	1:200
0.000 Kg		 Satreskogveien 4 14415 Spangdal 95 50 Tlf. +47 86 81 35 51 Fax. +47 86 81 35 51 www.adigo.no		
Description: File name: Sammenstilling av moduler				Revision 1

# VEDLEGG II







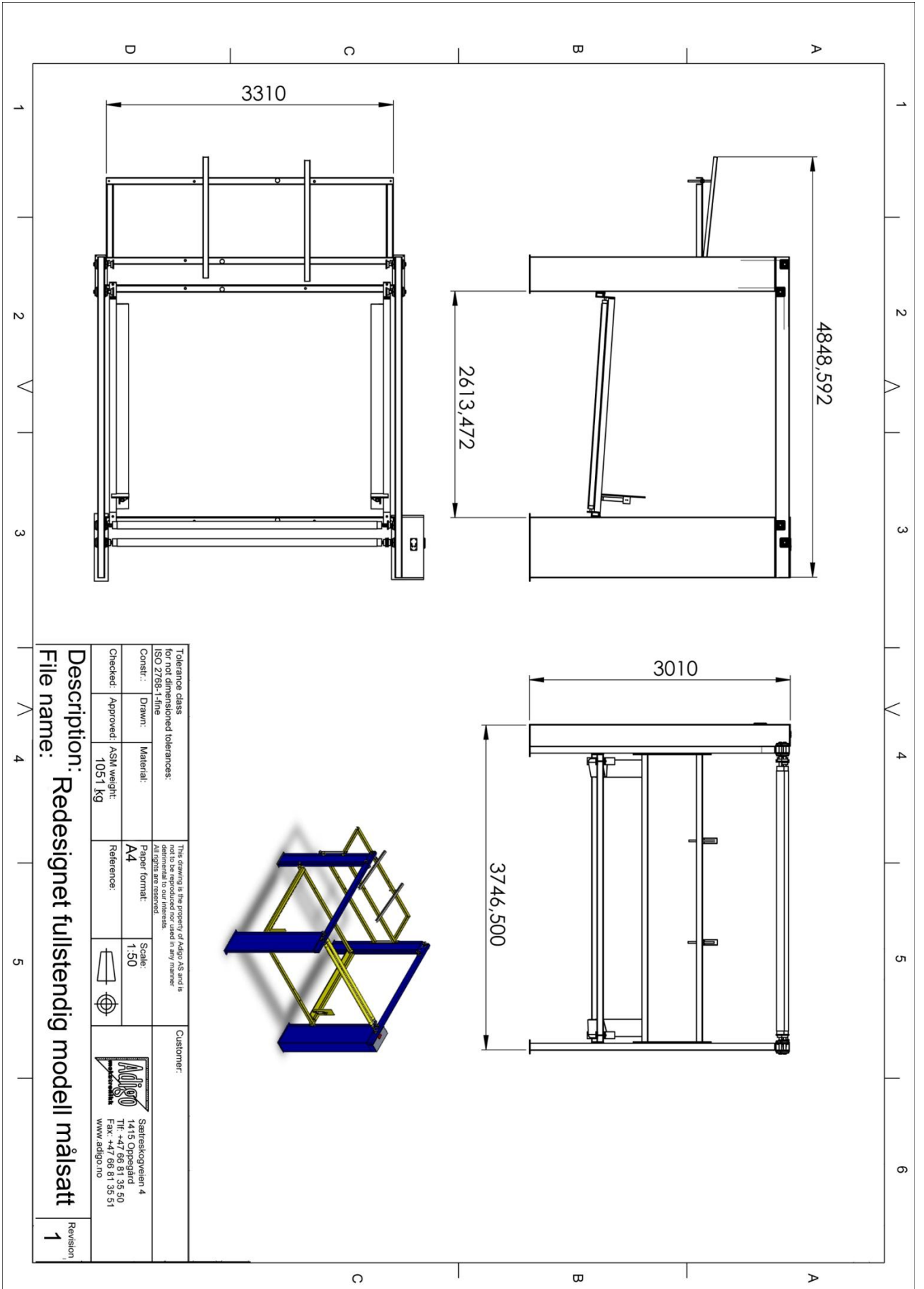
# VEDLEGG III






ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Motakbord	1
2	Løpesøyle	2
3	Portallprofil	1
4	KA37DRS71M4	1
5	Motorsøyle	1
6	Stableramme	1
7	Søyle for stableramme	1
8	Kjedefom	1

Tolerance class for not dimensioned tolerances: ISO 2768-1-fine		The drawing is the property of Adigo AS and is not to be reproduced nor used in any manner detrimental to our interests. All rights are reserved.		Customer:	
Constr.:	Drawn:	Material:	Paper format:	Scale:	 Satreskogveien 4 1415 Oppsgård Tlf: +47 66 81 35 50 Fax: +47 66 81 35 51 www.adigo.no
Checked:	Approved:	ASM weight:	Reference:	 1:80	
File name: Redesignet fullstendig modell		Revision: 1			

# VEDLEGG IV



Tolerance class for not dimensioned tolerances: ISO 2768-1-fine		This drawing is the property of Adigo AS and is not to be reproduced or used in any manner without the prior written consent of Adigo AS. All rights are reserved.		Customer:	
Constr.:	Drawn:	Material:	Paper format:	Scale:	 Sættreskogveien 4 1415 Oppstad Tlf: +47 66 81 35 50 Fax: +47 66 81 35 51 www.adigo.no
Checked:	Approved:	ASM weight: 1051 kg	Reference:	  1:50	
Description: <b>Redesignet fullstendig modell målsatt</b> File name:			Revision: <b>1</b>		

# VEDLEGG V

A D I G O A S

T: 66 81 35 50

F: 66 81 35 51

---

## Håndtering av spirorør

*notat fra forprosjekt*



---

Oppdragsgiver: Ventistål AS, 1407 Vinterbro

---

Av: Anders Aker, Adigo AS

---

Utskriftsdato: 25.03.2008

---

SÆTRESKOGVN. 4

1415 OPPEGÅRD

ORG: 976 518 292 MVA

BANK: 1594 10 85382

### Bakgrunn og formål

Ventistål har behov for en maskin som kan lette arbeidet for operatørene som betjener spiromaskinen. Etter at rørene er spunnet skal de over i en lagringsenhet (pall med 2 vertikale sider) som gjerne betegnes som "stell". Storparten av denne prosessen foregår manuelt i dag.

Etter at røret er spunnet blir det kappet. Maskinen løfter så røret opp på et bord for mellomlagring. På mellomlagringsbordet forestår operatøren avgrading ved at han klipper av den skarpe og spisse restene på røret. Deretter setter han på endelokk før han løfter røret over i stellet.

Denne siste arbeidsoperasjonen er relativt tung og da særlig for de større rørene.

Adigo har sett på ulike løsninger for hvordan håndteringsarbeidet kan mekaniseres. Et ledd i forstudiet har vært besøk på anlegget på Lysaker for å se på maskinen de benytter der.

Et par løsningsalternativer for en maskin som kan utføre de beskrevne arbeidsoppgavene ble tatt frem. Det konseptet som vi anser for å være det beste, baserer seg på at spirorørene skal rulle relativt jevnt nedover stålprofilene. På grunn av falsen på rørene har vi vært usikre på hvor jevnt rørene faktisk ruller. Dersom rørene ikke rullet jevnt ville vi måtte se på andre løsningskonsept for maskinen. Derfor ble det i samråd med Ventistål besluttet å kjøre et forprosjekt hvor en skulle teste ut hvordan rørene ruller på ulike underlag og med ulike vinkler på skråplanet.

### Testoppsett

Vi fikk knekt opp noen stålprofiler og vi sveiste disse sammen slik at vi hadde to profillengder med en lengde på ca 2200mm. I tillegg to profiler med en lengde på 1100 mm.

De lengste profilene ble plassert med en avstand på vel 3 m og med en stigning på ca 9 cm på en legnde på 2200mm. Dette tilsvarer en vinkel på ca 4 grader.

I de tilfellene hvor vi også benyttet de to korteste profilene ble disse satt opp med stigning på ca 12 cm over 1100 med mer lengde. Det tilsvarer ca 11 grader stigning.

Vi valgte å teste med rør på hhv 100 og 400 mm i diameter.

Vi testet ren rulling av rørene både enkeltvis og i puljer. Videre har vi konstruert situasjoner hvor rørene "kiler" seg fast til den ene kanten (røret er skråstilt på rullebanen). Deretter har vi latt ett eller flere rør følge etter for å studere hva som skjer med de rørene som har satt seg fast.

Helt til slutt har vi tatt med noen bilder som viser hvordan vi hadde rigget til det hele.

### Konklusjoner

Vi hadde forventet at rørene med minst diameter (Ø100) ville være mest uregelmessige mht rulling nedover skråplanet. Vi hadde i forkant antatt at falsen ville skape uregelmessigheter. Det viste seg imidlertid at det var en ubegrunnet frykt. På det ordinære skråplanet (vinkel på ca 4 grader)

kunne vi ikke registrere noe vandring i horisontalplanet av betydning. Også for rørene med Ø400 var det en helt marginal vandring.

Imidlertid kan det altså oppstå situasjoner hvor ett-eller-annet medfører at den ene enden av røret går mot kanten. Det ble derfor konstruert situasjoner hvor rørene ble lagt slik at de stoppet mot den ene kanten. For de større rørene (Ø400) var det tilstrekkelig massefart i ett ekstra rør som fulgte etter på skråplanet - til å løse opp situasjonen. For de minste rørene var det stort sett nok med ett rør, men når 4-5 rør ble sendt etter i samlet flokk, løsnet selv de "tyngre" situasjonene vi hadde satt opp.

Når vi i tillegg benyttet de minste profilen med en vinkel på 11 grader (tilsvarende den vinkel vi vil få ut fra bordet etter spiromaskinen), var det tilstrekkelig massefart til å løse opp i alle situasjoner vi greide å konstruere. Uavhengig av rørdiameter.

Vår konklusjon er således at dette "mini-forprosjektet" ga ganske entydige svar. Spirorørene ruller svært jevnt og vi greide ikke å fremprovosere noen problemsituasjoner i simuleringen. Det maskinkonseptet som vi har jobbet med forutsetter at rørene ruller relativt greit. Vi mener derfor at forsøkene har vist oss at dette er et konsept å basere den endelige maskinen på.



Rør med  $\text{Ø}400$  på rullebanen. Røret til høyre ligger an mot profilet i bakkant (ved Per). Røret til venstre har tiltrekkelig massefart når det treffer det høyre røret til at begge rørene ruller pent videre etter sammenstøtet (se bildet under). Obs! Vinkelen på rullebanen er her ca 4 grader.





**Forsøk med Ø100-rør:**



Rørene ruller like fint uavhengig om de ruller på en skarp kant (bildet til venstre) eller på en horisontal flate (bildet til høyre).



På bildet ser vi to rør til høyre som er lagt an mot det nærmeste profilet. Til venstre slippes 7 rør (Ø100).





Etter sammenstøtet ruller alle rørene samlet og jevnt nedover planet.

# VEDLEGG VI

## FORUNDERSØKELSE

### MULIG PATENTSØKNAD PÅ TUBESTACKER ??

#### Søkene er foretatt i følgende patent-kilder:

Database EPODOC via portalen EPOQUE som er EPOs (European patent office) hoved database.

#### Vi har utført søk i følgende klasser:

IPC (International Patent Classification), Heretter IC  
ECLA (European Classification) Heretter EC:

B65G57/18/ic

B65G57/20/ic

B65G57/22/ic

B65G57/24/ic

*B65G1/08/ec*

*B65G1/04d/ec*

*B65G57/18d/ec*

*B65G57/03s/ec*

*B65G57/06/ec*

*B65G57/24s/ec*

*B65G57/24/ec*

*B65G47/88/ec*

#### Vi har benyttet følgende søkeord:

Inclined, sloping, slanting, oblique, cylinder, pipe, hose, bottle, tube

## Resultat fra nyhetsgranskningen

D1: US5222859 A

[http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_E  
P&FT=D&date=19930629&CC=US&NR=5222859A&KC=A](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_E&FT=D&date=19930629&CC=US&NR=5222859A&KC=A)

D2: US6152670 A

[http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_E  
P&FT=D&date=20001128&CC=US&NR=6152670A&KC=A](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_E&FT=D&date=20001128&CC=US&NR=6152670A&KC=A)

D3: US4389148 A

[http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_E  
P&FT=D&date=19830621&CC=US&NR=4389148A&KC=A](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_E&FT=D&date=19830621&CC=US&NR=4389148A&KC=A)

D4: EP1842803 A1

[http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_E  
P&FT=D&date=20071010&CC=EP&NR=1842803A1&KC=A1](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_E&FT=D&date=20071010&CC=EP&NR=1842803A1&KC=A1)

D5: EP0384869 A1

[http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_E  
P&FT=D&date=19900829&CC=EP&NR=0384869A1&KC=A1](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_E&FT=D&date=19900829&CC=EP&NR=0384869A1&KC=A1)

D6: WO2008154903 A1

[http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en\\_E  
P&FT=D&date=20081224&CC=WO&NR=2008154903A1&KC=A1](http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&adjacent=true&locale=en_E&FT=D&date=20081224&CC=WO&NR=2008154903A1&KC=A1)

Vi vurderer at nærmeste kjente teknikk til Tubestackeren er D1. De øvrige er vel ikke veldig relevante. Til gjengjeld er D1 veldig lik!

## Konklusjon

Ikke helt overraskende er det patentert mange liknende konstruksjoner. Det er grunn til å tro at det kan være vanskelig å få Tubestackeren patentert. Oppfinnerhøyden er begrenset og mange av de løsninger vi har brukt er vel hva man i patentspråket vil kalle "konstruksjoner som er nærliggende for en fagmann og derfor ikke bidrar til oppfinneshøyde". Følgelig bør vi bruke begrensede midler på et evt patentarbeide.

Oppegård, 26.03.2010

ADIGO AS

Anders Aker

# **VEDLEGG VII**

## **14.03.2012 - gjennomgang av Tubestacker II**

Tilstede:

- Terje Brandshaug
- Per Andersen
- Anders Aker

### **Beskyttelsesdører**

Droppe dører der hvor trucken skal inn og erstatter dette med fotoceller  
Hva vi gjør på den andre siden, må vi diskutere med kunden

### **Mottaksramme**

Overdimensjonert, materialtykkelse for stor  
Kan gå ned til 2 - 3 mm materialtykkelse  
Gå over til U-profil der hvor kjedeboltene skal monteres inn.  
Går over til U-profil på hele mottaksramma.  
"Rulleskinnene" bør kunne justeres/flyttes uten sveising.

### **Løpekatter for mottaksrammen**

går bra, må sjekke pom-hjulene for slitasje  
Ingen endring på løpehjul, vurdere å sette inn lagre  
Skinnene er også greie

### **Løftesøyler for mottaksramme**

Velger U-i-U  
sveiser plater på topp og bunn av søylene  
Bore huller for sammenføyning i forkant

### **Portalprofil**

Bores for aksler til tannhjulene, innfesting mot søylene for mottaksramme  
samt et litt større hull for kabling  
sveise på flattjern i enden mot motorsøyle hvor begge hullene gjenges.

### **Søyle for stableramme**

## **VEDLEGG VII**

Velger samme bredde som for motorsøyle. Det ser best ut.

To standard U-profiler som sveises sammen med en plate

På motsatt side sveises fast min 3 flattjern

skruer fast dekselplate som knekkes som et lokk

kan vurdere hylser e.l. for montasje av dekselplata

OBS! Huske på at kjedene må gå rett og at søyler kommer på linje

Ser på hele søyleløsningen med ovenstående i tankene!

### **Føringsskinner for motveker**

Standard hyllevare. Funker bra

### **Motorsøyle**

Prøver oss på en platekonstruksjon

hvor alt flukter på innsiden

### **Drivaksler for kjedehjul**

Enkel og grei konstruksjon. Ingen grunn til å endre disse.

### **Stablerammen**

Innfesting til bom endres i hht modell.

### **Docking-skiner for stellet**

Ser ingen grunn til å endre dette.

### **Speilvending av konstruksjonen**

Ser ikke behovet for å lage en "generell konstruksjon" som enkelt kan tilpasses høyre- eller venstre-drift