

UTVIKLING AV KRANSYSTEM

DEVELOPMENT OF CRANE SYSTEM

CARL FREDRIK TALBERG

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITTENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2011



Utvikling av kransystem

Carl Fredrik Talberg



Mastergradsoppgave ved
Universitet for Miljø- og Biovitenskap



FORORD

Dette prosjektet er utarbeidet som en avsluttende del for masterprogrammet maskin, prosess- og produktutvikling ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap. Prosjektet er gjennomført i vårsemesteret 2011 med et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven omhandler å konstruere og designe et kransystem for løft av storsekker med mineralgjødsel, eventuelt såkorn til bruk i landbruket. Ideen til oppgaven kommer fra undertegnede, som lenge har slitt med tungvinte løsninger for håndtering av storsekker på eget gårdsbruk.

Med min bakgrunn som gårdbruker, samt utdanning innenfor maskin og produktutvikling følte jeg at dette vil være en spennende og allsidig oppgave som passet meg godt. Det er i tillegg motiverende at kranen er tenkt å bli bygget i eget gårdsverksted i nær fremtid. Å konstruere og designe et kransystem er svært komplekst hvor man berører flere ulike fagområder, dette har gitt en stor variasjon i oppgaver og jeg føler jeg har lært utrolig mye. Prosjektet har til tider vært svært krevende og mye tid har blitt lagt ned, spesielt mye tid har gått til å finne løsninger for en rasjonell og brukervennlig kran. Oppgaven har i sin helhet gitt en bedre forståelse av prosjektarbeid og dimensjoneringsarbeid, noe som er positivt i forhold til overgangen til arbeidslivet, som forhåpentligvis vil finne sted innen rimelig tid.

Til slutt vil rettes en takk til hovedveileder og førsteamanuensis Geir Terjesen for gode råd under dimensjoneringsarbeidet i oppgaven, samt utlån av diverse litteratur. Det må også rettes en takk til senioringeniør Egil Stemsrud for rettleiding med dynamiske beregninger, samt medstudenter for gode tilbakemeldinger og motivasjon gjennom prosjektet.

Carl Fredrik Talberg
UMB, Ås 16. Mai 2011

SAMMENDRAG

Denne masteroppgaven beskriver et forslag for en mobil landbrukskran som primært er utviklet for løfte av storsekker med mineralgjødsel, eventuelt såkorn. Selve ideen til oppgaven kommer fra undertegnede, som selv driver et mindre gårdsbruk med kornproduksjon.

Prosessen startet med produktplanlegging i form av litteraturstudie av eksisterende løsninger, samt å få en kjennskap til eksisterende kransystemer og deres virkemåte. Videre har det blitt utredet kravspesifikasjoner med basis i gjeldene forskrifter og geometrisk mål. På bakgrunn av kravspesifikasjonen har det blitt skissert en rekke konsepter for både bunnrammen og løftestruktur til kransystemet. De ulike konseptene ble videre avveid i en konseptscreening, der det blant annet har vært kriterier som stabilitet, brukervennlighet, samt rasjonell håndtering av last.

Foretrukne funksjon og estetikkalternativ ble videre håndberegnet for statisk og dynamiske belastninger etter standard NS 5514, NS 3472 og maskinforskriftene. For kontroll av håndberegninger er det blitt kjørt analyse i Ansys Classic. Kranen har videre blitt simulert i FEM-analyse programmet Ansys Workbench, der det har blitt gjort strukturoptimering på enkelte deler. Til slutt ble det laget maskintegninger og renderte bilder i 3D-modell programmet SolidWorks

Kransystemet består i all hovedsak av standard hulprofiler i konstruksjonsstål s355. Ved løft benytter kranen 4 hydrauliske sylindere som beveges av traktors hydraulikksystem. Kranen kan ved opplagring eller transport, enkelt felles sammen og flyttes med en pallegaffel på traktor. Det gjenstår det en del arbeid før kranen er klar prototype, dette omfatter blant annet styresystem for det hydrauliske anlegget, videre strukturoptimering samt montering av hjul for enklere transport.

ABSTRACT

This Master thesis describes a proposal for an agricultural crane which primarily should be able to lift bags containing fertilizer and possibly bags of seed. The idea has its origin in own needs and problems accrued when engaging in farm work and seed production, which is a part time occupation by writer of this thesis.

The process and first stage of this thesis started with getting both theoretical and practical knowledge of existing solutions and their functions. Second stage was getting the right specifications based on current regulations and geometric measures. On the basis of requirement, specification has been outlined several feature options for both the frame and lifting structure. The different functional options were further ranked in the concept screening and criteria's such as stability, user-friendliness, and efficient handling of load has been prioritized.

Preferred functional and aesthetic alternative's was further hand-designed for static and dynamic loads for standard NS 5514, NS 3472 and machine regulations. For control of hand calculations the FEM analysis in ANSYS Workbench and Ansys Classic is used, where there have been structural optimization of individual component's. Furthermore, the crane has become 3-D modeled in SolidWorks to achieve good rendering images, and machine drawings for prototyping.

The crane system consists mainly of standard hollow sections in structural steel. The actual lifting power of the hydraulic cylinders is generated by the hydraulic system found in common tractors. The crane can during storage or transport easily be joint together, and moved with a pallet fork on the tractor. It remains some work before the prototype crane is ready; this includes the control system for the hydraulic system and the alternative transportation method feature. This extra feature contains installation of wheels that will make the crane easier to maneuver and transport by only using human power.

INNHALDSFORTELENSE

INNHALDSFORTELENSE	6
1. INNLEDNING	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Ide' beskrivelse	10
1.3 Problemstilling og utfordringer i prosessen	11
1.4 Forutsetninger	11
1.5 Symboler, formler og terminologi	12
2. PRODUKTPLANLEGGING	15
2.1 Målsetning og begrensinger	15
2.2 Milepælplan for arbeidet	16
2.3 Eksisterende løsninger	17
2.4 Markedsbehov og potensiale	22
3. PRODUKTSPEISIFISERING	23
3.1 Kundebehov	23
3.2 Kravspesifikasjon	24
4. KONSEPTGENERERING	29
4.1. Funksjonsalternativer for løftestruktur	29
4.2. Konseptskisser for løftestruktur	30
4.3 Konsepter for bunnramme	35
4.4. Materialer og materialeegenskaper	39
5. MATERIALVALG OG KONSEPTVALG	42
5.1 Materialvalg	42
5.2 Konseptscreening av løftestruktur	43
5.3 Konseptscreening av bunnramme	44
5.4 Foretrukne funksjons- og estetikkalternativer	45
6. GRUNNLAGSBEREGNINGER	47
6.1 Materialvalg, tillatte spenninger og gjeldende laster	47
6.2 Dimensjonering for kritisk lasttilfelle 1	52
6.3 Dimensjonering av kritisk lasttilfelle 2	68
6.4 Dimensjonering etter ulike lasttilfeller	76
6.5 Stabilitet mot velting	86

6.6	Dynamiske påkjenninger	89
7	ELEMENT OG LØSININGSVALG	94
7.1	Hovedkomponenter	94
7.2	Delkomponenter	97
8	STRUKTUROPTIMERING	99
8.1	Simulering av lasttilfelle 1	99
8.2	Simulering av lasttilfelle 2:	107
9	FREMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER	114
9.1	Bearbeiding og utforming	114
9.2	Kostandskalkyle for prototype	117
10	MARKEDSPRESENTASJON	118
11	DISKUSJON OG KONKLUSJON	121
11.1	Prosesdiskusjon	121
11.2	Konklusjon	122
12	KILDER	124
13	VEDLEGG	125

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jordbruket i Norge og verden blir drevet på en stadig mer effektiv måte, med store maskiner og mer automatisering. Innenfor planteproduksjon i jordbruket har dette resultert i at traktorer og redskap har blitt større og tyngre. Utviklingen har også smittet andre deler av landbruket, og gjort at neste all mineralgjødning og såkorn har gått fra distribuering i 40 kg småsekker, til 600 kg storesekker. Ved å benytte seg av storesekker på kan-fylling av beholder på landbruksmaskiner, som såmaskin og kunstgjødningsspreder, foregår rasjonelt og lett.

Det finnes i dag en rekke maskinelle metoder på hvordan storesekken blir løftet før den fylles i de ulike landbruksmaskinene. Mange benytter ekstern traktor med frontlaster, dette fungerer godt for store kornprodusenter, der økonomien og behovet tillater egen traktor til dette arbeidet. Men for mellomstore og mindre produsenter, som i realitet vil bruke traktoren svært lite. Blir dette en kostbar løsning som ikke er økonomisk forsvarlig. Av andre rimeligere løfte-løsninger finnes det kraner for påmontering bak på traktor, samt flere stasjonære kraner som fungerer tilfredsstillende, men har begrenset brukervennlighet.



Figur 1: Storesekker med mineralgjødning [1].



Figur 2: Såmaskin påmontert traktor.[2]

Med bakgrunn i mangelen på gode, rimelige løsninger for løft av storekk, bestemte undertegnede seg for å utvikle et mobilt kransystem, som primært skal håndtere storekker opptil 700 kg. En ekstra motivasjonsfaktor for å gjøre nettopp denne oppgaven er at undertegnede selv driver et gårdsbruk med kornproduksjon, der det i nær fremtid kan bli aktuelt å bygge kransystemet i eget gårdsverksted. I bildegalleriet nedenfor vises landbruksmaskiner og diverse utsyr som brukes ved håndtering av storekker.



Figur 3:Fylling av mineralgjødsel i kunstgjødselspreder ved bruk av frontlaster på traktor[3].

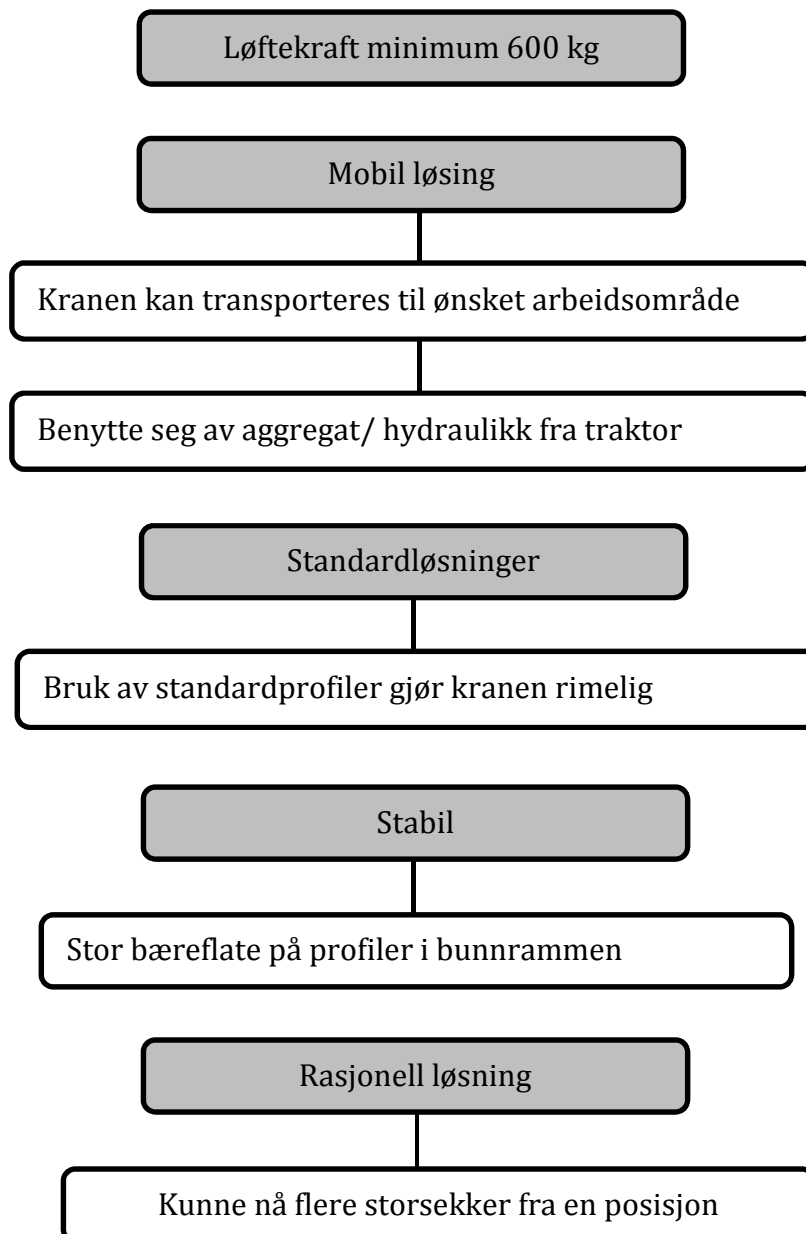


Figur 4:Kunstgjødselspreder med kran[4].

1.2 Ide' beskrivelse

Kransystem skal i all hovedsakelig bli konstruert og designet for løft av 600-700 kg storsekker med mineralgjødsel eller såkorn. Det skal i størst mulig grad benyttes standardløsninger der dette er mulig, samt følge de forskrifter som er gjeldene for løfteutstyr. Kranen vil være en god løsning for de fleste gårdsbruk, men retter seg i hovedsak mot små og middels gårdsbruk med kornproduksjon. Strukturen til kranen bør ha et robust, men estetisk riktig utseende, samt ha flere justeringsmuligheter. Det er tenkt en mobil løsning der kranen er utstyrt med hjul, eventuelt en løfteanordning, slik at den på en enkel måte kan transporteres sammen med gjødsel og såkorn til ønsket arbeidsområde. Fylling i beholder på redskap kan da foregå raskt, siden man slipper å kjøre helt hjem til gårdsbruk for fylling.

Figuren nedenfor viser ideer som kransystemet bør konstrueres og designes etter.



1.3 Problemstilling og utfordringer i prosessen

Å konstruere og designe et kransystem innebærer at man vil berøre mange ulike fagfelt som gir flere ulike problemstillinger. Det er derfor viktig å få en viss oversikt over hvilke typiske problemer man kan møte på senere i prosjektet, slik at det tidsmessig blir estimert ut fra dette. Punktene under viser problemstillingen som prosjektet vil møte på underveis.

Standarder og forskrifter

- Løfteutstyr må være dimensjonert innenfor fastsatte forskrifter i Norge. Det bør dimensjonert i henhold til gjeldende standarder.

Materialer og styrke

- Materialet på kranen må ha gode egenskaper mot statiske og dynamiske belastninger. I tillegg bør det være resirkulerbart, og ha en forholdsvis lav vekt.

Konstruksjon og design

- Kranen bør ha et robust, men fortsatt estetisk riktig utseende, samt ha muligheter for justering og enkel utbytte av deler.
- Kranen må ha stabil og solid bunnramme som hindre velt, i tillegg må den være flyttbar.
- Løftehøyden til kran må være tilpasset flere brukssituasjoner.

Ergonomi og sikkerhet

- Gode tekniske og brukervennlige løsninger for manøvrering av kran, som igjen gir lite belastninger på bruker.
- Enkel håndtering av kran ved transport.

1.4 Forutsetninger

Det forutsettes at leser har grunnleggende forståelse for klassisk mekanikk, samt dimensjonering av ulike konstruksjonselementer i stål.

1.5 Symboler, formler og terminologi

1.5.1 Symboler

Tabell 1: Symboler brukt i denne oppgaven.

Symbol	Navn	Enhet
A	Areal	mm ²
F	Kraft, generelt	N
F _x	Kraft i x-retning	N
F _y	Kraft i y-retning	N
σ_s	Strekkspenninger	MPa
σ_t	Trykkspenning	MPa
σ_b	Bøyespenning	MPa
σ_{jf}	Jevnførende spenning	MPa
$\sigma_{till}=\sigma_a$	Tillat spenning	MPa
τ	Skjærspenning	MPa
τ_{till}	Tillatt skjærspenning	MPa
α	Vinkel	Grader
ρ	Trykk	MPa
n	Sikkerhetsfaktor	-
M	Moment	Nmm
M _B	Bøyemoment	Nm
W	Tverrsnittsmodul	mm ³
I	Tregghetsmoment	mm ⁴
l	Lengde	mm
g	Tyngdeakselerasjonen	m/s ²
m	Masse	kg
R _e	Flytegrense for materialet	MPa
R _{p0,2}	Flytegrense	MPa
SF	Sikkerhetsfaktor mot flyt	MPa
d	diameter	mm
σ_h	Hulltrykkspenning	MPa
v	Hastighet	m/s
$\Delta\sigma$	Spenningsvariasjon	MPa
n _i	Lastsykler	-
N	Antall sykler til brudd	-
l _k	Knekk lengde	mm
S _v	Sikkerhet velt	-
M _s	Stabilitetsmoment	Nmm
M _v	Veltemoment	Nmm
λ	Slankhetsforholdet	-
E	Elastisitetsmodul	Mpa
ξ	Empirisk konstant	-
ψ	Dynamisk faktor	-

1.5.2 Formler

Tillatt spenning konstruksjonen: $\sigma_a = \sigma_{till} = \frac{R_e}{SF}$ (1)

Tillatt skjærspenning i konstruksjonen: $\tau_{till} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}}$ (2)

Kontroll av jevnførende spenninger: $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a$ (3)

Dimensjonere last: $m_{dim} = M(S_G + \psi S_L + S_H)$ (4)

Dynamisk faktor: $\psi = 1 + \xi \cdot V_L$ (5)

Tillatt spenning i bolt: $\sigma_a = 0,7 \cdot \sigma_{Rp0,2}$ (6)

Kraft: $F = m \cdot a$ (7)

Maks moment fritt opplagret bjelke: $M = \frac{F \cdot l}{4}$ (8)

Nødvendig tverrsnittsmodul: $W_{n\ddot{o}d} = \frac{M_l}{\sigma_{till}}$ (9)

Bøyespennning: $\sigma_b = \frac{M_l}{W}$ (10)

Skjærspenning: $\tau = \frac{F}{A}$ (11)

Jevnførende spenning(Von Mises): $\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau)^2}$ (12)

Tverrsnittsmodul, rektangel: $W_x = (\frac{1}{6}BH^2)$ (13)

Bøyespennning sveis: $\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}}$ (14)

Jevnførende spenning, sveis: $\sigma_{Jf} = \sqrt{4\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2}$ (15)

Tillatt skjærpenning sveis: $\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$ (16)

Eulers formel for knekk-kraft: $F_{till} = \frac{\pi^2 E \cdot I}{l_k^2}$ (17)

Treghetsradien: $i = \sqrt{\frac{I_0}{A}}$ (18)

$$\text{Slankhetsforholdet:} \quad \lambda = \frac{l_k}{i} \quad (19)$$

$$\text{Tetmajers formel:} \quad F_K = \sigma_k A \quad (20)$$

$$\text{Trykk:} \quad p = \frac{F}{A} \quad (21)$$

$$\text{Tverrsnittsmodul sirkulær:} \quad W = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \quad (22)$$

$$\text{Hulltrykkspenninger:} \quad \sigma_h = \frac{F_{EI}}{2(d \cdot t)} \quad (23)$$

$$\text{Skjærspenninger bolthull:} \quad \tau = \frac{V}{2 \cdot l_{eff} \cdot t} \quad (24)$$

$$\text{Strekkspenninger bolthull:} \quad \sigma_{maks} = \frac{F}{2((b-d) \cdot t)} \quad (25)$$

$$\text{Sikkerhet mot velt:} \quad S_v = \frac{M_s}{M_v} \quad (26)$$

$$\text{Formel for S-N kurve} \quad N = C \Delta \sigma^{-m} \quad (27)$$

$$\text{Levetid etter Miner Palmgreen:} \quad \left(\frac{n}{N}\right)^x = 1 \quad (28)$$

$$\text{Spenningsvidde:} \quad \Delta \sigma = \sigma_1 + \sigma_1 \quad (29)$$

$$\text{Dimensjonerende utmattingsfasthet:} \quad \Delta \sigma = \left(\frac{a}{m}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (30)$$

1.5.3 Terminologi

Tabell 2: Terminologi brukt i oppgaven.

Navn	Beskrivelse
Såmaskin/Kombisåmaskin	Maskin som legger såkorn og mineralgjødsel på riktig dybde jorda. Monteres vanligvis bak på traktor.
Kunstgjødselspreder	Maskin som sprer mineralgjødsel på overflaten av åker. Monteres vanligvis bak traktor.
Storsekk	Enhet på 600-700 kg.
Redskap	Fellesbetegnelse for flere ulike maskiner.
Såkorn	Fellesbetegnelse for frøet som brukes til dyrking av korn.

2. PRODUKTPLANLEGGING

2.1 Målsetning og begrensinger

2.1.1 Hovedmål

Det skal i oppgaven konstrueres og designes et mobilt kransystem etter gjeldende standarder og forskrifter. Kranen skal primært benyttes til løfte av 600-700 kilo storsekker med mineralgjødsel, eventuelt såkorn.

2.1.2 Prosesstrinn og delmål

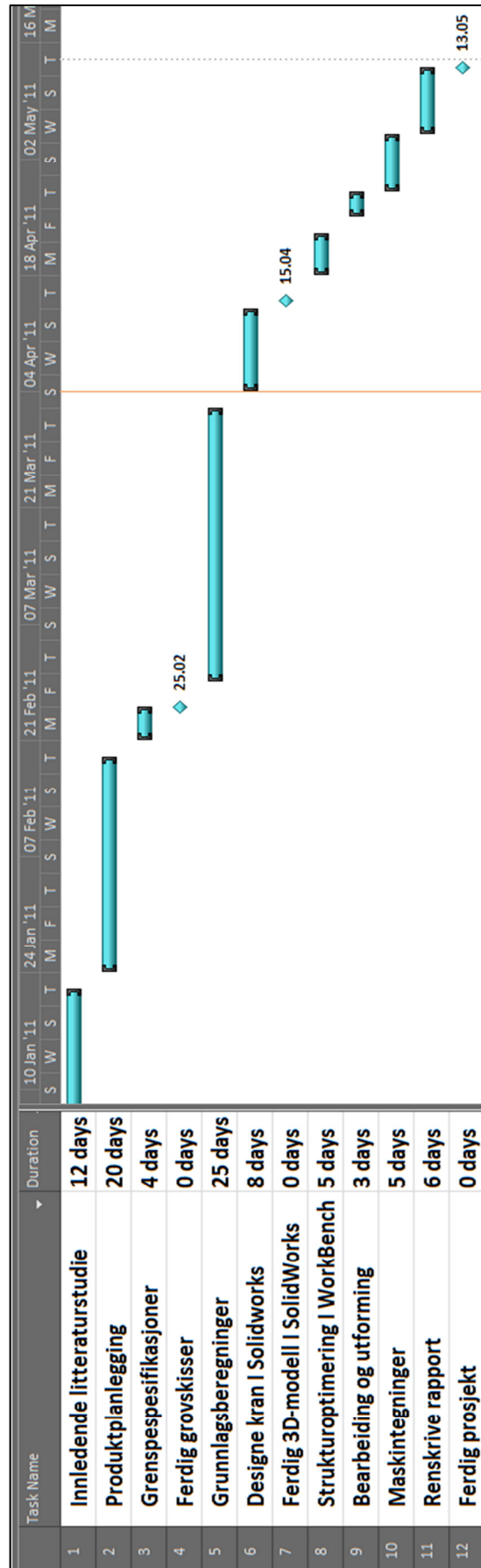
- Bakgrunnsundersøkelse av eksisterende kransystemer og deres spesifikke egenskaper.
- Kartlegge gjeldene forskrifter og standarder for kranen.
- Kartlegge kundens behov, samt geometriske og generelle krav.
- Skissere mulige konseptforslag for kransystemet.
- Gjøre konseptvalg på bakgrunn av ulike kriterier.
- Undersøke potensielle kritiske lasttilfeller
- Fastsette dimensjoner til hovedkomponenter på bakgrunn av grunnlagsberegninger.
- Simulere kranen i programmet Ansys Workbench for kontroll av håndberegninger, samt mulig strukturoptimering.
- Fastsette produksjonsmetoder og kostnader.
- Anvende 3D-modell programmet SolidWorks for fremstilling av renderte bilder, og maskintegninger.

2.1.3 Begrensninger

Denne oppgaven har hovedfokus på produktutvikling og dimensjoneringsarbeid. Grunnet dette, samt begrenset med tid gjør at det vil bli sett bort fra følgende:

- Dimensjonere og utstyre kranen med hydrauliske komponenter som sikkerhetsventiler, styringsventiler og slanger.
- Utføre beregninger og strukturanalyse for total nedbøyning i konstruksjonen.
- Kostandskalkyle for serieproduksjon
- Økonomisk konkurrentanalyse
- Bearbeiding av komponenter ved serieproduksjon.
- Fremstilling av prototype.

2.2 Milepælplan for arbeidet



2.3 Eksisterende løsninger

En gjennomgang av eksisterende løsninger løft av storekker avdekker en forholdsvis stor variasjon i virkemåte og oppbygning. Der dyre løsninger er anvendelige innenfor et atskillig bredere spekter enn de rimeligere løsningene, og ut fra dette er det vanskelig å sette de opp mot hverandre. De fleste løsningene har løftekapasitet godt over vekten til en storekk, dette gjør de anvendelige til tyngre løft, som fort kan oppstå på et gårdsbruk. Innenfor hver eksisterende løsning eller konsept har det blitt valgt å se på en spesifikk produsent. Dette for få konkrete tall på løftehøyde, rekkevidde og pris osv., noe som igjen er viktig for å vite hvilke egenskaper som bør vektlegges under utforming av egne konsept

Det finnes også utallige stasjonære løsninger for håndtering av storekker, men disse er utelatt, siden det i prosjektet er et mål og konstruere et kransystem som skal være mobilt. Flere gårdbrukere har også bygget egne løsninger for håndtering av storekker, disse løsningen er selvfølgelig ikke med i denne oversikten da dette er vanskelig å få oversikt over.

2.3.1 Storsekkran

Produsent:	Levasak
Rekkevidde inne/ute:	2100/2900 mm
Maks løftekraft inne/ute:	1000/750 kg
Maks løftehøyde:	4400 mm
Egenvekt:	273 kg
Oljetrykk:	180 bar
Pris:	26 400kr+mva

Levasak storsekkran er primært bygget for å bli festet til tre-punktsopphenget på ulike traktormodeller, slik at den kan løfte storsekker og diverse. På selve kranen er det sveist fester som kan holde annet redskap samtidig som kranen er i bruk på traktoren (se figur 5). Dette innebærer at redskap blir flyttet 20-30 cm bakover i forhold til når det er festet direkte i tre-punktsopphenget på traktoren. Ved små eller mellomstore traktorer vil dette gjøre traktoren meget lett i front, grunnet forflytning av tyngdepunktet. Denne vektfordelingen er svært uheldig med tanke på belastningene i traktorstrukturen, samt det ekstra marktrykket som vil oppstå under bakhjulene. Levasak storsekkran er bygget i stål med to hydrauliske sylindere som løftesystem. Der nederste sylinder justerer vinkelen mellom vertikal ramme og kranbom, den andre justerer lengden på den utskyvbare delen av bommen. De hydrauliske sylindrene blir drevet av traktorens hydraulikksystem. Dette systemet kan styres fra selve kranen, eventuelt fra traktorhytten hvis ønskelig. Ved opplagring kan kranens støttebein felles ned (se figur 6) og kranen kan enkelt opplagres. Prismessig er storsekkranen en rimelig løsning. Men bruksområdet er nokså lite i forhold til både stykkegodskranen og frontlaster, som blir beskrevet nedenfor. I tillegg har kranen liten rekkevidde sideveis, noe som gjør at traktor må flyttes for å nå flere storsekker. Basert på[4]



Figur 5: Løft av storsekk[4].



Figur 6: Opplagring av storsekkran[5].

2.3.2 Lettportalkran

Produsent:	Abus
Rekkevidde	4000 mm
Maks løftekraft:	1000 kg
Maks løftehøyde:	5000 mm
Egenvekt:	-
Pris:	-

Abus lettportalkran er bygget i konstruksjonsstål, og blir i primært brukt til løft i industrien. Kranen finnes i flere ulike modeller, der den største har løftekraft på hele 2000 kg. For landbruket blir denne modellen ofte for stor og kostbar i forhold til hva det er et behov for. Mer vanlig størrelse for landbruket vil ha løftekraft på cirka 1000 kg, med denne kapasiteten kan de fleste løfteoppgaver bli gjort, samtidig som kranen ikke blir for uhåndterbar og kostbar. Fra produsenten leveres kranen vanligvis med elektrisk talje med spenning på enten 220 eller 400 volt. Dette gjør enkelt å løfte storsekker og annet uten bruk av håndkraft. Eventuelt kan kranen utstyres med manuell kjetting-talje, ved plassering på områder uten strøm. Kranen står på fire plastikkhjul, dette gjør den flyttbar på fast og stabilt underlag. Som man på figur 8 er kranen relativ stor, den krever derfor et stort areal under opplagring. Kranen vil også få et forholdsvis høyt tyngdepunkt når lasten er heist opp til maksimale høyden, dette kan føre til velt ved ustabil underlag. *Basert på[6]*



Figur 7: Abus kran[7].

2.3.3 Stykkegodskran for lastbil

Produsent:	Palfinger
Rekkevidde:	5000 mm
Maks løftekraft inne/ute:	2000/720 kg
Maks løftehøyde:	5000 mm
Minimum høyde til krok:	-
Egenvekt:	238 kg
Pris:	-

Palfingers og andre produsenters stykkegodskran er i første rekke designet for påmontering på kjøretøy. Kranens struktur er i realiteten ganske lik storsekkran for traktor, som er beskrevet tidligere. Kranen er utstyrt med en sylinder som regulerer vinkelen mellom vertikale bjelke og teleskopbommen. Det er også montert sylinder på teleskopbommen som kan skyve ut de enkelte leddene til en maksimal rekkevidde på 5000mm. På Palfingeres stykkegodskran (se figuren 8) er det et separat aggregat med bensinmotor og hydraulikkpumpe som gir oljeforsyning til sylindrerne på kranen. Det finnes og løsninger hvor man benytter seg av lastebilenes dieselmotor til å drive hydraulikkpumpen til kranen. Under tunge løft, spesielt da alle leddene på teleskopbommen ute må støttebeinene på lastebilen være nede for å unngå velt.

Kostnadmessig vil en lastebil med kran fort bli en dyr løsning. En investering i slikt utstyr er derfor mest egnet for gårdsbruk med store produksjonsenheter, der lastebilen kan benyttes til flere gjøremål. Det må også gjennomføres et kranførerkurs for å operere kraner på denne størrelsen, da løftmomentet for kranen overstiger 20kNm. *Basert på[8]*



Figur 8: Palfinger stykkegodskran[8].



Figur 9: Løft av storsekk[8].

2.3.4 Frontlaster på traktor

Produsent:	Quicke
Rekkevidde:	-
Maks løftekraft:	ca 2500 kg
Maks løftehøyde:	4250 mm
Egenvekt:	712 kg
Pris:	ca 70 000 kr+ mva

En stor del av traktorene som selges blir levert med frontlaster. Med frontlaster kan tunge arbeidsoppgaver gjøres enklere og tryggere, da man slipper tunge manuelle løft med kroppen. Frontlaster fra produsenten Quick har en løftekraft på hele 2500 kg, noe som gjør det mulig å håndtere flere store sekker av gangen. Fylling av såmaskin og kunstgjødselspreder gjøres derfor meget raskt, med en slik løsning. Frontlaster har en meget komplisert konstruksjon med flere ulike sylindre og ledd, den blir dermed en forholdsvis dyr investering, i tillegg kreves det selvfølgelig også en traktor å ha laster monter på, men til gjengjeld er bruksområde meget stort i forhold til andre løsninger. Strukturen til frontlasteren består primært av rektangulære hulprofil i konstruksjonsstål, med ulike dimensjoner. Ved bruk opererer to og to sylindere parallelt og gjør det mulige å løfte og tilte laster etter ulike behov. Alle funksjoner kan styres i traktorhytten, fra denne posisjonen har man også et godt overblikk over arbeidsområde til laster. *Basert på [9]*



Figur 10: Frontlaster i bruk under fylling av kunstgjødselspreder[3].



Figur 11: Frontlaster[9].

2.4 Markedsbehov og potensiale

Det norske jordbruket består av totalt 50 tusen gårdbrukere, henholdsvis 15 tusen av disse er kornprodusenter [10]. Inntekten til den norske bonden gått ned med 26 prosent fra 2000 til 2010 og tjener nå i gjennomsnitt 236 tusen kroner i året[11]. For dermed kunne tjene penger på driften må det drives kostnadseffektivt med et fåtall maskiner som ikke binder opp for mye kapital.

Jordbruket i Norge er i dag preget av enkelte store kornprodusenter, samt flere mindre som har kornproduksjonen som en deltidsjobb, i tillegg til annet fast arbeid. For store produsenter, med mye bruk av redskapen, vil det være rasjonelt, og økonomisk forsvarlig med en ekstern traktor med frontlaster for løft av storsekker. Men for mindre produsenter der redskapen brukes i en langt mindre grad, vil en egen traktor for håndtering av storsekker være overflødig. Det er derfor innenfor de små og mellomstore produsentene, med en typisk størrelse på 100-500 dekar, man finner den potensielle kundegruppen for en ny type landbrukskran. Utsalgsprisen for kranen bør da være forholdsvis jevn med prisen på storsekkkranen til Levasak(2.3.1) da begge løsningene har relativt likt bruksområde.

Krane vil også ha et markedspotensial innenfor melk og kjøttproduksjon, der det nå ofte blir brukt traktor med frontlaster for håndtering av grovfôr til drøvtyggere. Denne næringen er også avhengig av frontlaster, eller eventuelt kran til løft av storsekker med mineralgjødsel for fylling av kunstgjødselspreder til beitene. Det vil derav også være en potensiell kundegruppe innfor de 35 tusen bøndene som driver med husdyrproduksjon.

Videre er det flere verksteder samt gårdsverksteder hvor man utfører løft av ulike slag, det kan være alt fra løft av motorer til traktordekk. Det vil også her være et potensielt marked for en ny type kran.

3 PRODUKTSPEISIFISERING

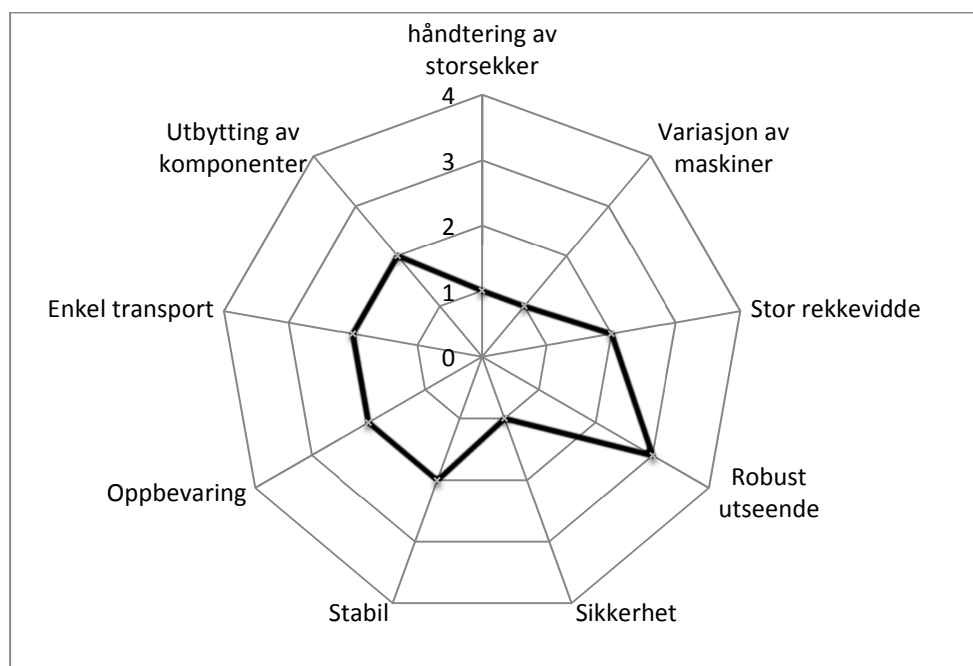
3.1 Kundebehov

I første del av produktspesifiseringen er det forsøkt å rangere ulike egenskaper som vil være betydningsfulle for en potensiell kunde.

I tabellen nedenfor er de ulike produktegenskaper rangert etter hvor avgjørende de vil være for eventuelle kunder. Rangeringen er kun en egenvurdering, men likevel nokså realistisk, da undertegnede selv driver med kornproduksjon og er en potensiell kunde.

Tabell 3:Rangering fra 1-4 over viktig egenskaper for kranen, der 1 er viktigst.

Egenskaper	Vektlegging
Skånsom og rasjonell håndtering av storekker.	1
Kranen bør kunne benyttes til en variasjon av kombisåmaskiner og kunstgjødselspredere.	1
Stor rekkevidde på kranarm gjør det mulig å nå storekker på ulike områder.	2
Robust utseende som gir en følelse av kvalitet.	3
Gode sikkerhetsløsninger som reduserer sjansen for ulykker.	1
Stabil bunnramme som hindrer velt.	2
Opptar lite plass ved oppbevaring.	2
Enkel håndtering ved transport av kran.	2
Mulighet for utbyttning av komponenter.	2



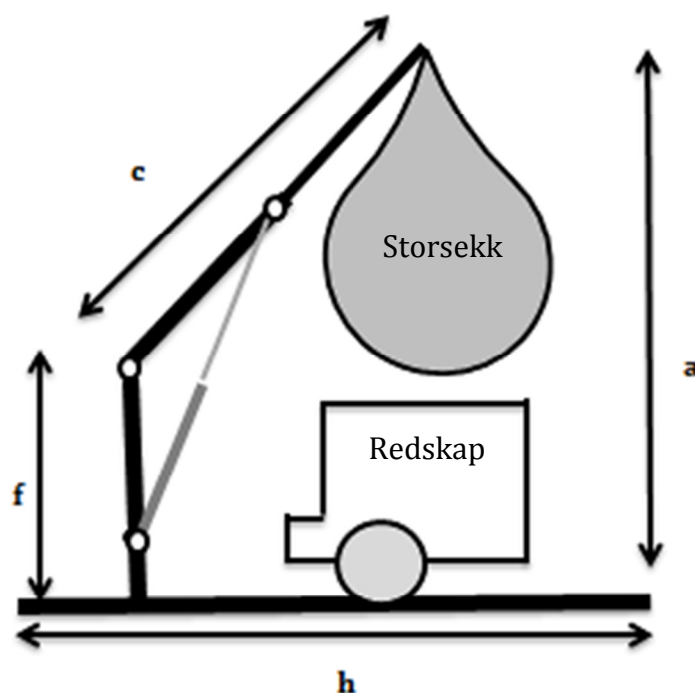
Figur 12: Radardigram over kundes behov.

3.2 Kravspesifikasjon

3.2.1 Geometriske krav

Tabell 4: Geometriske krav for utforming av kran.

Navn	Minste verdi	Maks verdi	Ønsket verdi	Ref.
Maks vertikale løftehøyde.	3000 mm	-	3500 mm	a
Minste løftehøyde	-	1200 mm	1000mm	b
Rekkevidde, bom	1000 mm	2500 mm	2500 mm	c
Løftekraft	600 kg	700 kg	700 kg	d
Egenvekt	-	300 kg	300 kg	e
Egenhøyde	1500 mm	2000 mm	1500 mm	f
Bredde bunnramme	1500 mm	2500 mm	2000 mm	g
Lengde bunnramme	3000 mm	3500 mm	3000 mm	h
Høyde på profil i bunnramme	-	80 mm	50 mm	i
Bredde på profil i bunnramme	100 mm	120 mm	120 mm	j



Figur 13: Forklarende figur til tabell 4

Forklaring til tabell 4 og figur 4

a) Almennelige såmaskiner og gjødselspredere for 3-punkt på traktor vil ved plassering på fast grunn, bygge en maksimal vertikal høyde på cirka 1200 mm. Videre vil storsekken strekke seg maks 1300mm under løft, ut fra dette vil det kreves en minste løftehøyde på 2500 mm for å få storsekken til å henge over redskap. Det er i tillegg ønskelig og praktisk at storsekken kan heises litt høyere, slik at man får en klaring, og unngår unødvendig berøring mellom storsekk og redskap. Ønsket vertikal løftehøyde (a)for kranen vil derfor være 3000 mm

b) Ved oppbevaring plassers storsekker på bakkene, eventuelt på paller. Kroken på kranen må derfor kunne bli senket til et nivå slik at den kan bli festet til øyet på storsekken.

c) Kranens rekkevidde må være tilstrekkelig slik at redskap kan bli plassert under storsekken uten å berøre den vertikale bjelken på kranen. Med en stor rekkevidde vil det være mulig å rekke storsekker som er plassert rundt selve kranen uten å måtte flytte konstruksjonen. Samtidig kan ikke kranbommens ytterste løftepunkt være lengre ut enn de horisontale beina, som utgjør bunnrammen på kranen, da det kan føre til at konstruksjonen tipper fremover ved uheldig lastsituasjoner.

d) Kranen skal i all hovedsak være konstruert for å løfte storsekker med mineralgjødsel og såkorn, som begge har egenvekt på 600 kg[12]. Men for å utvide bruksområdet bør kranen bli dimensjonert for å håndtere en last på 700 kg ved maks rekkevidde.

e) Kranens egenvekt bør ikke overstige 300 kg, da den med hjul skal være flyttbar for en person.

- f)** Under frakt er det ønskelig med en lav egenhøyde som ikke er i hinder. Høyden må derfor ikke overskride 2000 mm.
- g)** Det bør konstrueres med en forholdsvis bred bunnramme for å oppnå stabilitet under løft. Samtidig kan ikke konstruksjonen overstige 2550 mm i bredde ved frakt på offentlig[13].
- h)** Kranens bunnramme bør kunne felles sammen og fraktes på en bilhenger. For å unngå velt, må bunnrammen utfelt minimum være utenfor maks rekkevidde for kranarm.
- i)** Bunnrammen på kranen bør konstrueres med et lavt bjelkeprofil slik at redskap og storsekker kan plasseres på profilene i rammen, uten å bli skadet.
- j)** Bunnrammen skal fordele vekten av kranen og lasten ned i underlaget. Det er derfor nødvendig med et bredt bunnprofil som fordeler vekten av konstruksjonen jevn i underlaget, selv på ustabil underlag.

3.2.2 Generelle krav

Tabell 5: Generelle krav for utforming av kran

Krav	Kommentar
Energikilde	Hydraulikk gir store krefter ut fra små arbeidselementer. Ved å bruke hydraulikk kan man også benytte seg av traktorens hydraulikkssystem. Elektriske kraft kan også være et alternativ til energikilde.
Hjul med store bæreflate.	Bunnrammen må utstyres med avtagbare hjul som gjøre det enkelt å transportere kran, selv på ulendt underlag.
Sikkerhetsventiler ved bruk av hydraulikk.	Ventiler som hindrer uforutsette trykktap ved slangebrudd og overbelastning etc.
Hydraulisk/manuell uttrekkbar kranarm	Gjør det mulig å løfte lasten til ulike posisjoner.
Sammenleggbare ved oppbevaring	Plassbesparende oppbevaring.
Tydelige symboler som viser maksimal lastekapasitet.	Krav fra maskinforskrifter.
Hastighetsbegrensning ved senking av kranarm.	Avverger ukontrollerte nedsenking av last som igjen kan føre til personskader.
Stabil kran selv på lite bærende underlag.	Bunnramme med god bæreevne.
Bruk av standardkomponenter.	Kranen bør være rimelig å fremstille.
Mulighet for regulering av last/storsekker sideveis.	Lasten kan bli plassert på nøyaktig ønsket posisjon.
Enkel utbytting av slidedeler	Hjul og utsatte deler skal være enkelt å skifte ved behov.
Unngå utstikkende og skarpe kanter.	Skarpe kanter og utstikkende deler kan være farlig for bruker av kranen, i tillegg kan det skade last.
Rasjonell håndtering	Traktor og redskap bør kunne bli stående på samme posisjon, imens kranen løfter storsekker opp til riktig høyde for fylling i beholder.

3.2.3 Forskrifter og standarder

Nedenfor vises aktuelle punkter som er hentet fra maskinforskriftene. Dette er krav som må følges under utforming og dimensjonering av kransystemet.

I dimensjoneringsarbeidet følges også NS 5514 samt NS 3472 som henholdsvis omhandler kraner og løfteutstyr i stål, og utmatting.

“Forskrifter om maskiner[14].

1. Krav til vern mot skade på liv og helse ved konstruksjon og bygging av maskiner.

1.1 Generelle krav

1.1.2. Prinsipper for integrering av sikkert

1.1.3. Materialer og produkter

1.1.5. Håndtering av maskinene”

“1.2. Styresystem[14]

1.2.2. Betjeningsinnretning

1.2.6. Svikt i energitilførsel”

“1.3. Vernetiltak mot mekanisk fare[14]

1.3.1. Risiko ved tap av stabilitet

1.3.2. Risiko ved brudd under drift

1.3.4. Faremomenter som skyldes overflater, kanter eller hjørner”

“1.4. Krav til vern og verneinnretninger[14]

1.4.1. Generelle krav”

“1.7. Opplysninger og informasjon[14]

1.7.1. Opplysninger og advarsler på maskinen

1.7.3. Merking av maskiner”

“4. Tilleggskrav om vern mot farer som kan oppstå ved løfteoperasjoner[14]

4.1. Generelt

4.1.2. Vern mot mekaniske farer

4.1.2.1. Manglende stabilitet

4.1.2.3. Mekanisk styrke

4.1.2.5. Løfteredskap og løftekomponenter

4.1.2.6. Styling av bevegelser

4.1.2.7. Håndtering av last”

“4.3. Informasjon og merking[14]

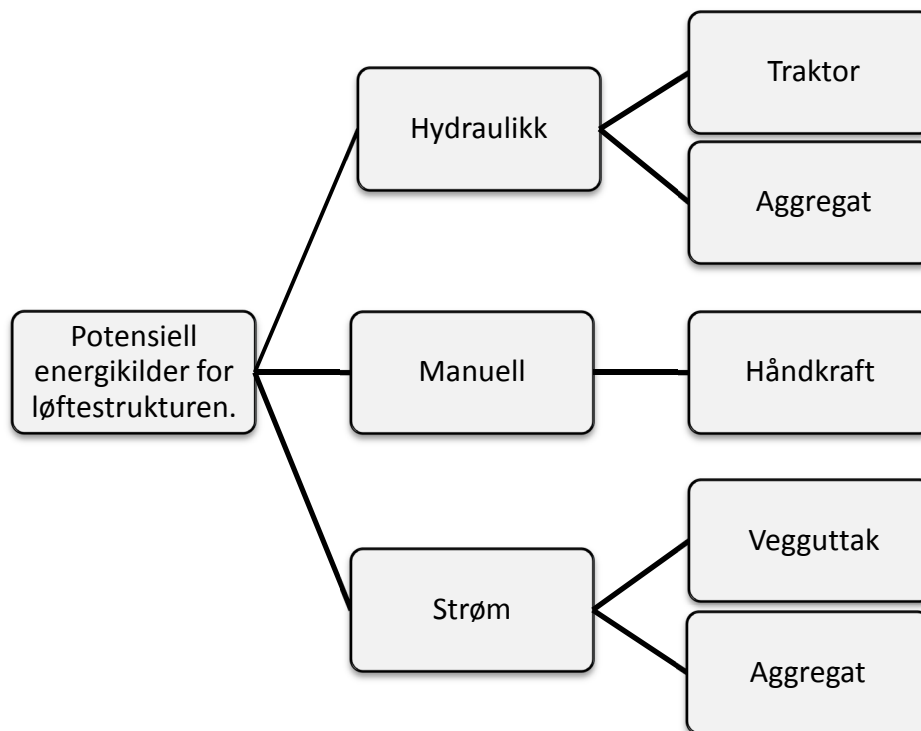
4.3.3. Løftemaskiner”

4. KONSEPTGENERERING

4.1. Funksjonsalternativer for løftestruktur

Konseptskissene for løftestrukturen er basert på fem ulike løsninger der det er lagt vekt på en enkle, rimelige og solide løsninger. De fem skissene varierer stort i metode for hvordan storsekken skal håndteres under løft. Konseptskissene er kun ment for å illustrere grunnleggende prinsipper for utforming av selve løftestrukturen til kranen, det er verken tatt hensyn til materialer, størrelser eller beregningsdata.

Figuren nedenfor viser potensielle energikilder for kranen. Mer opplysende vil det si hvilke energikilde kranen kan bruke under løft av storsekker og annen last.

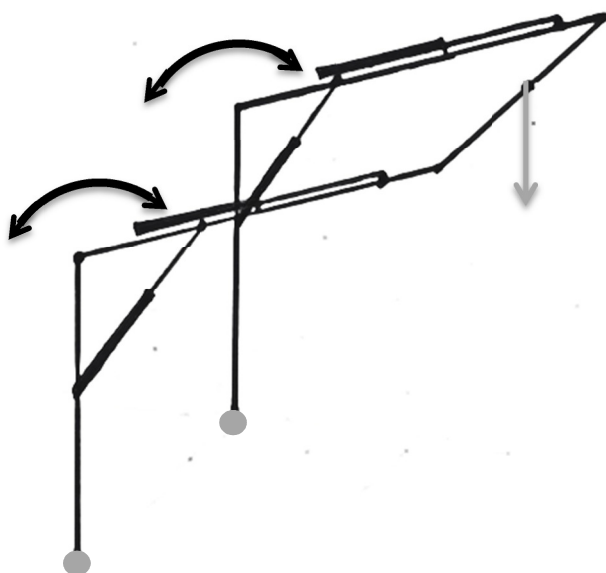


Figur 14: Potensielle energikilder for kranen.

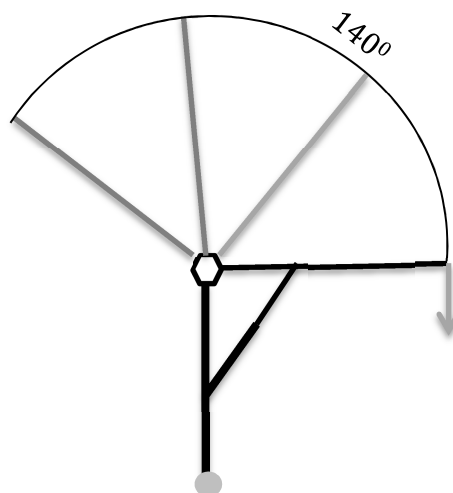
4.2. Konseptskisser for løftestruktur

Det har i konseptgenereringen blitt valgt å dele hovedstrukturen til kranen opp i to hoveddeler; løftestruktur og bunnramme. Ved å dele kranen opp i to separate funksjonsalternativer kan man plukke ut de beste konseptene fra hver del å kombinere dette til den beste komplette løsningen for kransystemet. Konseptskissen har grå punkter som markerer tenkte område for hvor løftestrukturen kan festes til bunnrammen, grå pilene markerer lastpunkt for kranen.

4.2.1 Konseptskisse 1



Figur 15:Konseptskisse 1.



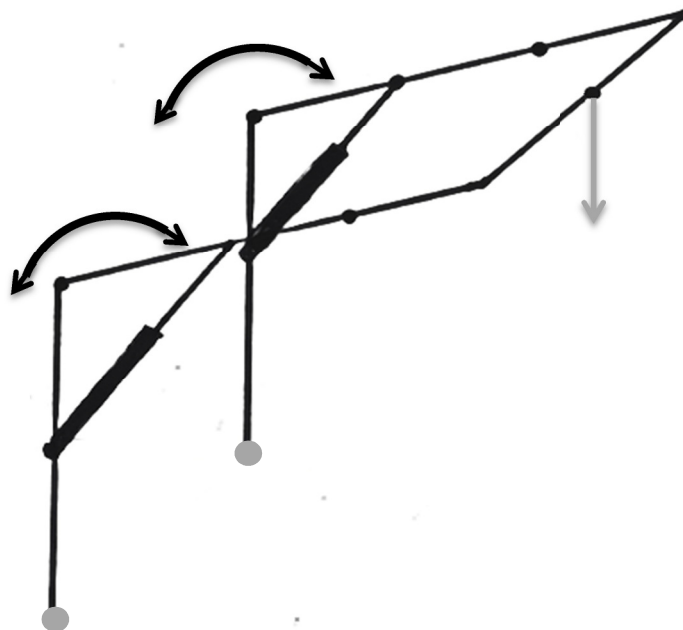
Figur 16: Kranen sett fra siden, med vinkel den må kunne operere.

Strukturen baserer seg på to enkelt kraner som er sammenføyd med horisontal tverrbjelke på ca. 1,5 meter i toppen av kranen. Hver enkelt kran består av en vertikal bjelke i bunn som videre er leddet til teleskopbommen. Konseptskissen viser en tenkt løsning med to hydraulisk sylindere som trekker ut teleskopbommen og to sylindere som juster vinkelen mellom vertikal bjelke og teleskopbom. Vinkelen må kunne justeres opp til 140 grader(se figur 16). Slik at kranen kan vinkles helt over på motsatt side, og løfte storsekker tilbake til ønsket posisjon over redskap. Dette kan foregå uten at redskap behøver å bli flytte, fylling såmaskin eller kunstgjødselspreder vil dermed gå meget raskt. Løsningen krever gjennomtenkte opplagringspunkt for de nedre sylindere, slik at de ikke støter i vertikale bjelke ved løft.

Siden dette kun` er en konseptskisse over strukturen til kranen, vil det ikke bli gitt detaljert beskrivelse av hvordan innfestningen til sylindere bør bli designet for å fungere ideelt.

Strukturen til kranen er forholdsvis enkel, og det kan i all hovedsak brukes standardkomponenter i konstruksjonen. Tverrbjelken som er lokalisert i toppen av kranen vil fordele lasten i hvert enkelt kranbein, dette vil gi en god fordeling av kreftene i strukturen. Tverrbjelke skal være utstyrt med løpekatt som gjør det mulig å bevege lasten sidelengs, slik at emnet i storsekker enkelt kan fordeles i beholder på redskap. Dette vil kreve større profiler og sylindere siden all belastning kan gå gjennom en av bombjelkene. Kranen består som nevnt tidligere av fire enkeltsylindere, der to og to vil operere parallelt, det krever derfor en del konstruksjonsarbeid for å få dette til å fungere ideelt. I tillegg vil innkjøp av fire sylindere var en stor kostnad som gjør løsningen forholdsvis kostbar. Det vil under løft oppstå store spenninger ved innfestingen mellom bunnrammen kran, det her nødvendig med god løsning for å opprettholde styrken til kranen. Ved oppbevaring kan kranens øvre del felles ned, noe som gjør den forholdsvis plassbesparende

4.2.2 Konseptskisse 2



Figur 17: Konseptskisse 2.

Konseptet har lik struktur og oppbygning som konseptskisse1, men istedenfor å anvende teleskopbommer, det her tenkt en rimeligere løsning som anvender kun et enkelt hulprofil i hver bom. Dette profilet har konstant full lengde, men for å kunne ha de samme justeringsmulighetene som konseptskisse 1, er det tenkt en løsning der tverrbjelken kan justeres på selve bombjelken ved hjelp av sylindere som i konspetskisse1.

For å unngå bruken av store og tunge bomprofiler og sylindere er tenkt at storsekken under løft kun` kan henge i senter av tverrbjelke. Som i konseptskisse 1 må det også for dette konseptet bli designet en god løsning for innfestning av de to løftesylinerne, slik at kranen kan vinkles over til motsatt side for løft av storsekker.

4.2.3 Konseptskisse 3

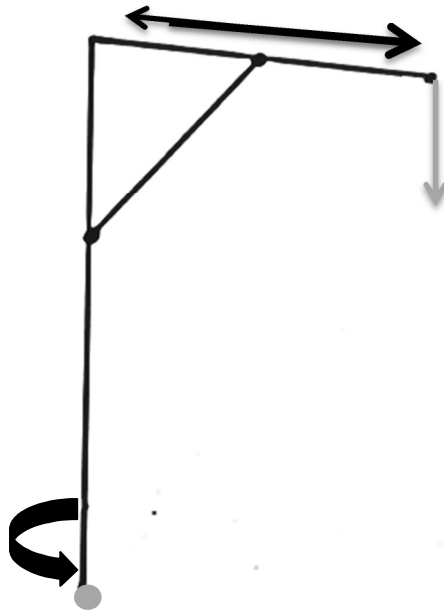


Figur 18: Konseptskisse 3.

Konseptskisse 3 er basert på en velkjent kranstruktur med to hydrauliske sylindere, der nedre sylinder regulerer vinkelen mellom vertikale bjelke og teleskoparmen. I øvre del av kranen sitter det sylinder som regulerer teleskoparmen. I festepunktet mellom kranstruktur og bunnramme er det montert svingkrans som gjør at kranen kan dreies 360 grader om egen akse. I dette svingpunktet vil det oppstå store krefter under løft, gode tekniske løsninger er derfor en forutsetning for at dette knutepunktet skal holde under bruk.

Kranen vil også behøve en bred og stabil bunnramme, grunnet forskyvningen av tyngdepunktet under dreining med last på kranen. Utforming og bearbeidingskostnader kan for denne kranstrukturen være lavere enn konsept 1 og 2, selv om svingssystemet kan bli komplisert og dyrt.

4.2.4 Konseptskisse 4

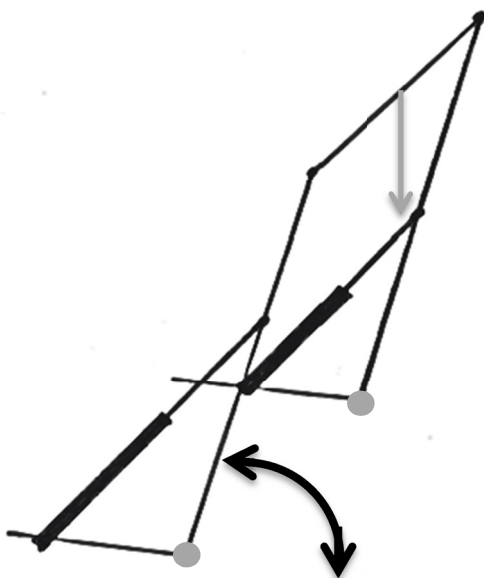


Figur 19: Konseptskisse 4

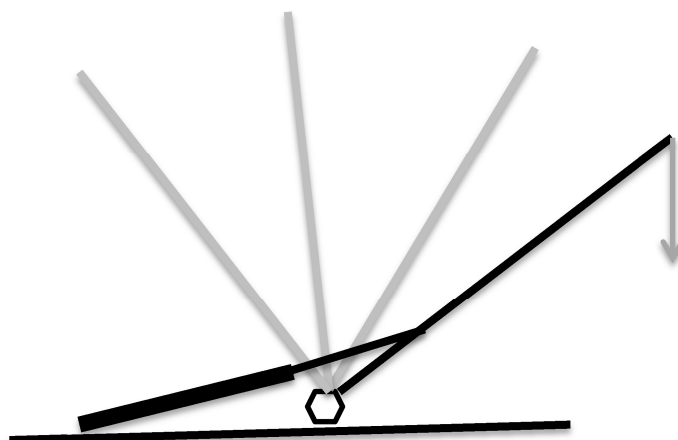
Konseptskisse 4 er en svingkran som ofte ser på kaianlegg og verksteder. I øvre del kranen er det festet en langsgående bjelke der det kan beveges løpekatt med talje. Løftesystemet for kranen kan være elektrisk eventuelt manuell talje. Konseptet krever heller ingen dyre hydraulikk komponenter, dette gir lave fremstillingskostnader for kranen.

Selve strukturen er relativ høyreist, dette gjør kranen ustabil og lite plassbesparende. Kranen vil som konseptskisse 3, være utstyrt med en svingkrans mellom kranstruktur og bunnramme. I dette knutepunktet vil det oppstå store spenninger når kranen blir belastet. Svingkrans vil gjøre kranen brukervennlig da den med last kan svinges rundet seg selv, men den blir desto mer ustabil og krever derfor en bunnramme med stor bæreflate. Kranen har en relativ ukomplisert struktur noe som kan være gunstig i forhold til konstruksjon og produksjonskostnader.

4.2.5 Konseptskisse 5



Figur 20: Konseptskisse 5

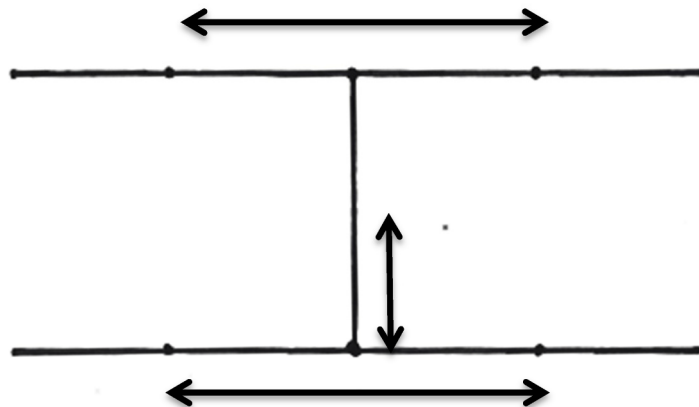


Figur 21. Konseptskisse 5 sett fra siden.

Konseptskissen 5 fungerer på forholdsvis samme måte som konseptskisse 1 og 2. Det likevel en stor forskjell i selve løftestrukturen, som i dette konseptet består av to lange bjelker. Øverst i strukturen er det montert tverrbjelke med skinne. På skinnen skal det være festet løpekatt med vinsje. Lasten kan da heises til ønsket høyde og videre beveges i horisontalt med løpekatt.

Bjelkene er som vist på skissen også festet til to hydrauliske sylindere. Sylinderne har som oppgave å regulere vinkelen mellom bunnrammen og de to bjelkene, på den måten kan storsekker heises inn over redskap. Konseptet krever smart løsning for innfesting av sylindere, da det må være mulig å justere vinkelen mellom bunnramme og de to bjelkene med opp til 140 grader (se figur 21). Sylinderne må også være festet på en slik måte at de ikke kommer i konflikt med redskap som skal kunne plasseres under kranen. Konstruksjonen påbyr også en lang bunnramme, siden løftebjelkene må være forholdsvis lange for å kunne oppnå en løftehøyde på 3 meter. Dette vil gi ugunstig tyngdepunkt under løft. Kranens øvre del vil ved oppbevaring kunne felles ned slik at den bygger en liten takhøyde, men tar et vesentlig gulvareal. Kostnadmessig vil kranen ligge på samme nivå som konsept 1 og 2.

4.3.2 Konseptskisse 2



Figur 23; Konseptskisse 2 for bunnramme.

Lik strukturoppbygning som konseptskisse 1, men konseptet har kun en tverrbjelke. Dette gjør rammen lettere og rimeligere, men desto mer spinkel. De to hoved bjelkene vil også for dette konseptet kunne skyves i hverandre slik som teleskoparmer, men det er her også mulighet for å skyve sammen tverrbjelken. Bunnrammen vil da oppta vesentlig mindre plass ved oppbevaring.

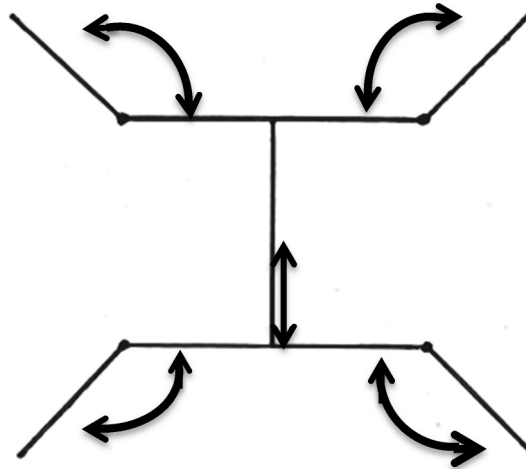
Positivt:

- Lett
- Rimelig
- Enkel bearbeiding.

Negativt:

- Liten bæreflate.
- Spinkelt utseende

4.3.3 Konseptskisse 3



Figur 24: Konseptskisse 3 for bunnramme.

Konseptet har som de tidligere skissene; to hoved bjelker i bunnrammen. Under bruk kan stabiliteten til bunnrammen forbedres ved å felle ut ytre del av hoved bjelke(se figur24) Dette gir en svært stabil ramme, med liten muligheter for velt i noen av retningen. Konseptet krever mye konstruksjons og produksjonsarbeid, da ytre svingleddet på hoved bjelkene må ha en smart utforming, og låsefunksjon for ikke bryte sammen under løft. Det er også her tenkt at tverrbjelke kan skyves sammen, slik at kranen tar liten plass ved opplagring.

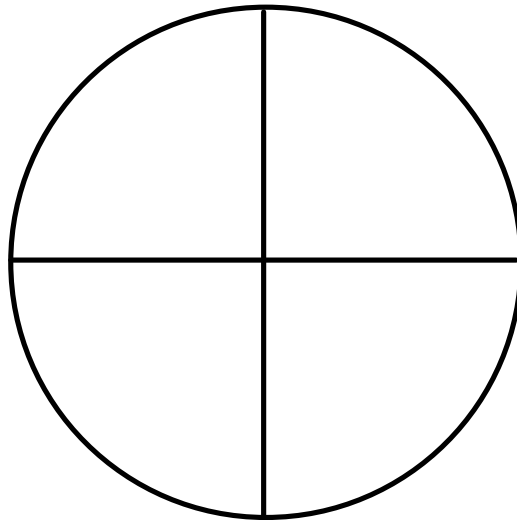
Positivt:

- Stabil i flere retninger
- Lett

Negativt:

- Kostbar
- Spinkel utseende.
- Mye produksjonsarbeid.

4.3.4 Konseptskisse 4



Figur 25: Konseptskisse 4 for bunnramme.

Sirkelformet bunnramme som er meget godt egnet for løftestrukturene med svingkrans, da stabiliteten for bunnrammen er lik i alle retninger. Konseptet krever lite fremstillingsarbeid, men vil oppta mye plass ved opplagring.

Positivt:

- Stabil i alle retninger.
- Stor bæreflate.

Negativt:

- Ikke sammenleggbar.
- Noe mye materiale
- Dårlige egenskaper for transport.

4.4. Materialer og materialegenskaper

Ved bygging av kraner og løfteutstyr blir det i hovedsak bruk stål som materiale. Ved krav om lav egenvekt kan aluminium være et mulig alternativ. Nedenfor er det gjort en beskrivelse av aktuelle materialer i hovedkomponenten på kranen.

4.4.1. Konstruksjonsstål:

Stål er en legering av jern med karboninnhold mindre enn 2 prosent, der mengden karbon klassifiserer om det er konstruksjonsstål, maskinstål eller verktøystål. For kran og løfteutstyr blir det i all hovedsak brukt konstruksjonsstål i strukturen. Konstruksjonsstål har høy fasthet og god sveisbarhet. God sveisbarhet er svært viktig for en kran der de fleste knutepunkter vil være sammenføyd med sveis. Felles for alle stålklasser er den høye elastisitetsmodul på 200000 MPa, noe som gjør at det kan bygges relativt slanke strukturer samtidig som styrken opprettholdes. Likevel kan egenvekten på kranen fort bli høy da stål har en densitet på ca. 7800 kg/m³. Konstruksjonsstål leveres i utallige profiler, det vil derfor være mulig og ønskelig å bruke et standardprofil i strukturen på kranen slik at bearbeidingskostanden kan holdes lave. Korrosjonsbestandigheten for ulegerte og lavlegerte stål er svært lav, det må derfor gjøres en vurdering ut fra miljøforhold om stålet bør bli behandlet for unngå korrosjon. Dette kan bli gjort med galvanisering eller påføring av pulverlakk som begge er en forholdsvis rimelig måte å beskytte konstruksjonen mot korrosjon. Av andre løsninger finnes det både rustfritt og syrefast stål som har svært god korrosjonsbestandighet, men er til gjengjeld svært dyrt og blir uaktuelt da denne kranen vil bli brukt i lite korrosive miljøer. I tabellen under vises de aktuelle sveisbare stålkvalitetene for kranen. *Teksten ovenfor er basert på [15,s.147-164]*

Tabell 6: Aktuelle konstruksjonsstål for kranen [16,s.68].

Standard	Betegnelse	Egenskaper
NS-EN 10025	S235JRG2	<ul style="list-style-type: none"> • Sveisbart, brukes i bjelker, stangstål • Strekkfasthet 340-470MPa. • Flytegrense 215- 225Mpa.
	S355J0	<ul style="list-style-type: none"> • Brukes i bjelker, hulprofil, akselstål • Strekkfasthet 490-630MPa. • Flytegrense 315-345MPa.
	E335	<ul style="list-style-type: none"> • Sveisbart etter forvarming. • Strekkfasthet 570-710MPa. • Flytegrense 295-325MPa.

4.4.2 Aluminium

Aluminium er et typisk lettmetall med densitet på 2700 kg/m^3 , dette gjør det meget aktuelt i konstruksjoner der det er ønske om lav egenvekt samtidig som kreves en god styrke. Blant annet blir det i moderne fly brukt aluminiumslegeringer i flykroppen og vingene for å redusere drivstofforbruket. Også innenfor faste konstruksjoner, spesielt der det er lange spennvidder har det blitt vanlig å bruke aluminium i strukturen for å redusere egenvekten. Kostnadmessig blir det like dyrt som ved bruk av konstruksjonsstål, men vedlikeholdskostnadene er mindre.

Aluminium har også en god formbarhet som gjør at det lett kan bearbeides med valsing, pressing og ekstrudering. Den gode formbarheten gjør at det på en billig måte kan fremstille krevende profiler. På den negative siden har aluminium en lav elastisitetsmodul i forhold til stål, aluminiumprofiler må derfor dimensjoneres med større tverrsnittsmodul enn stål for å unngå betydelige nedbøyning i konstruksjonen. Aluminium blir som konstruksjonsstålet produsert i utallige standardprofiler, det bør derfor i høyest mulig grad brukes slike profiler for å holde bearbeidingskostnaden lave. Selv om fremstillingskostnaden til aluminium er høye kreves det ved gjenvinning kun 5 prosent av energien i forhold til å produsere nytt, dette grunnet den lave smeltepunktet for aluminium. Det kan derfor gjenvinnes til lave kostander, utallige ganger uten å miste noe av egenskapene. Korrosjonsmotstanden i aluminium er også god, siden det raskt danner seg et oksydasjonssjikt i overflaten som er med på å beskytte materialet.

Det er vanlig å dele aluminiumlegeringen inn i *ikke-herdbare legeringer* og *herdbare legeringen*, der de ikke herdbare legeringene blir levert som plater med en relativ moderat styrke og egner seg derfor dårlig i kraner og løfteutstyr. De herdbare legeringene har en bedre styrke, som fort kan være på høyde med vanlig konstruksjonsstål. Av de herdbare legeringene vil 6000 og 7000 serien være mest aktuell, der begge har gode korrosjonsegenskaper og styrke, samt sveiseegenskaper. Tabellen under viser aktuelle legeringer for landbrukskranen. *Teksten ovenfor er basert på [16,s.84-88] og [15,s.182-206]*

Tabell 7: Aktuelle aluminiumserier for hovedkomponenter til kranen [15,s.182-206].

Aluminiumserier	Egenskaper
6000 (herdbare legering)	<ul style="list-style-type: none"> • Legering med magnesium og silikon. • Serien har god styrke, sveisbarhet og formbarhet • Flytegrensen mellom 100-270MPa. • Mye brukt i fagverk og skipsindustrien. • Brinell hardhet 70-100.
7000 (herdbare legeringer)	<ul style="list-style-type: none"> • Meget god styrke, men dårligere korrosjonsmotstand enn 6000 serien. • Mye brukt i flyindustrien med flytegrense mellom 300-630MPa. • Kan sveises hvis kobberet fjernes fra legeringen. • Brinell hardhet 114-180.

5. MATERIALVALG OG KONSEPTVALG

I dette kapitelet er det gjort en konseptutvelgelse for løftestruktur og bunnrammen til kranen. Det er i tillegg gjort et materialvalg for hovedkomponenter, da dette må være fastsatt før dimensjoneringsarbeidet.

. Ved å rangere de ulike konseptalternativene opp i mot hverandre gjennom en rekke kriterier, sitter man forhåpentligvis igjen med de beste alternativene. Konseptene sammen med kriteriene er satt opp i en tabell for å få en bedre oversikt. Det gis poeng etter hvor godt konseptet sammenfaller med de ulike kriteriene, der +1 er best, 0 er middels og -1 er dårligst. Poengene er deretter summert for hvert konsept i bunn av tabellen. Forhåpentligvis vil man etter konseptscreeningen sitte igjen med det beste konseptet fra løftestrukturen og bunnrammen, samt materiale, dette vil da bli det fortrukne funksjons- og estetikkalternativet for kranen.

5.1 Materialvalg

For valg av material vil det kun bli sett på de mest egnede stål- og aluminiumslegeringene for løftestrukturen og bunnrammen.

Tabell 8: Valg av materiale for kransystemet, basert på [17] og [15]

Kriterie	S235JRG2	S355JO	Al 6060	Al 6063	Al 6082	Al 7021
Korrosjonsegenskaper	0	0	+1	+1	+1	-1
Sveisbarhet	+1	+1	0	0	0	0
Styrke	0	+1	-1	0	+1	+1
Slagseighet	+1	+1	+1	+1	0	0
Pris	+1	+1	0	0	0	-1
Vekt	0	0	+1	+1	+1	+1
Sum poeng	3	4	3	3	3	1
Rangering	2	1	2	2	2	4
Videreføres	Nei	ja	Nei	Nei	Nei	Nei

Fra tabell kommer det frem at S355Jo vil være best egnet for kransystemet. Dette vil derfor bli brukt som materiale i hovedkomponenter for kranen.

5.2 Konseptscreening av løftestruktur

Tabell 9:Konseptscreening for løftestruktur.

Kriterier	Beskrivelse	Konsept				
		1	2	3	4	5
Bruksområde	Kan kranen brukes til flere ulike løfteoperasjoner som traktordekk, storsekker og motorer osv.	+1	+1	+1	+1	0
Oppbevaring	Hvor stor plass opptar løftestrukturen ved lagring? Konsepter som krever lite opplagringsplass gis best score.	+1	+1	+1	-1	-1
Robust utseende	Hvor visuelt solid er løftestrukturen.	+1	+1	0	-1	+1
Rasjonell håndtering	Har konseptet gode løsninger som gjør det effektivt og rasjonelt å håndtere lasten.	+1	0	+1	+1	+1
Tyngdepunkt ved løft	Hvor nærme kranstrukturens midtpunkt er lasten under løft.	+1	+1	-1	-1	+1
Skånsom håndtering av last	Har løftestrukturen skarpe kanter eller utstikkende komponenter som kan skade lasten eller bruker.	+1	+1	+1	+1	+1
Utviklingskostnader	Hvilke konsept kan bli konstruert og designet rimelig, samt effektivt slik at det kan komme raskt ut i markedet.	-1	0	0	+1	0
Transport av kran	Har konseptets løftestruktur lavt tyngdepunkt. Dette er viktig i forhold til transport av kransystemet.	0	0	0	-1	0
Fremstillingskostnader	Har løftestrukturen flere kompliserte tekniske løsninger som krever mye fremstillingsarbeid, dette fører automatisk til høyre kostander. Få kompliserte løsninger gir best score.	-1	0	0	+1	-1
Nyskapende	Hvor nyskapende er løftestrukturen i forhold til eksisterende konsepter? Originale ideer kan gi store avkastninger eller markedsdominans i fremtiden.[18,s.151]	+1	+1	-1	-1	+1
Sum poeng		5	6	3	2	3
Rangering		2	1	3	5	3
Videreføres		Nei	Ja	Nei	Nei	Nei

For løftestrukturen vil konsept 2 videreføres da dette fikk høyest poengsum gjennom konseptscreening. Konseptet for strukturen er nyskapende og bygger på rimelige tekniske løsninger, samt at konseptet opptar et lite areal. Dette er i samsvar med de viktigste kravene fra produktspesifiseringen.

5.3 Konseptscreening av bunnramme

Tabell 10:Konseptscreening for bunnramme.

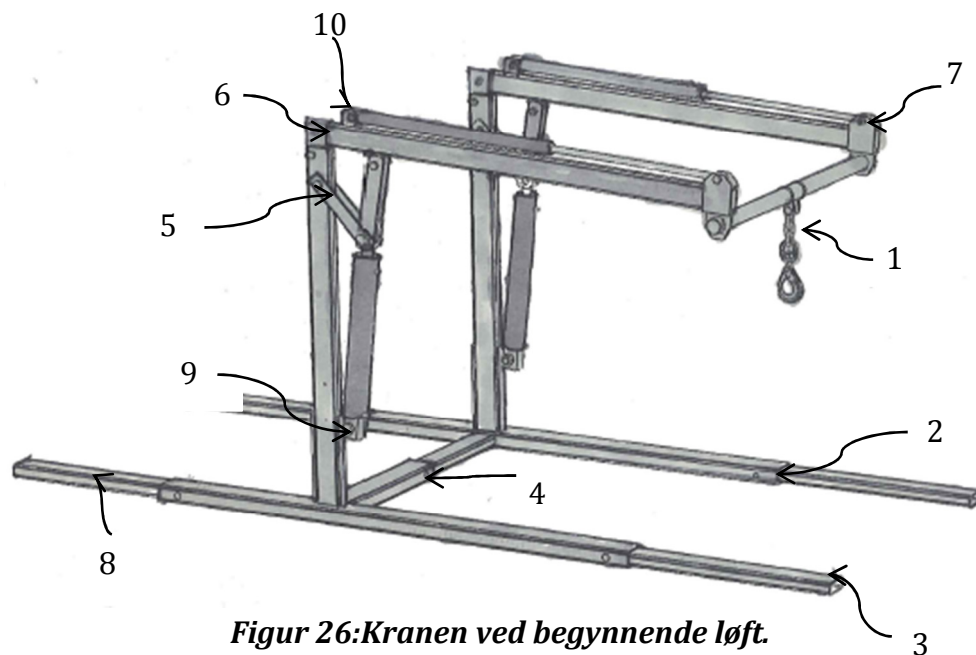
Kriterie	Beskrivelse	Konsept			
		1	2	3	4
Utviklingskostnader	Hvilke konsept kan bli dimensjonert og designet rimelig og effektivt, og på den måten komme raskt ut i markedet.	0	0	-1	0
Stabilitet ved løft	Hvor gode egenskaper har bunnrammen mot velt sidelengs og tipping fremover.	0	0	+1	0
Fremstillingskostnader	Har bunnrammen mange kompliserte løsninger som krever mye fremstillingsarbeid. Få kompliserte løsninger gir best score.	0	+1	-1	-1
Vekt	Hvor lett er bunnrammen, konseptet med lavest antatt egenvekt gir best score	-1	+1	+1	-1
Oppbevaring	Hvor stor plass opptar bunnramme ved lagring. Konsepter som krever lite opplagringsplass får best score.	0	0	0	-1
Robust utseende	Hvor visuelt solid er bunnrammen.	+1	0	0	+1
Bæreflate	Hvor godt håndterer bunnrammen ustabile og ulendt underlag. Konseptet meg god bæreflate får best score.	+1	0	0	+1
Sum poeng		1	2	0	-1
Rangering		2	1	3	4
Videreføres		Nei	Ja	Nei	Nei

I tabell 7 kommer det frem at konsept 2 videreføres da dette har høyest poengsum. Konseptet bygger på enkle, rimelige løsninger, samt enkel sammenlegging av konstruksjonen ved oppbevaring.

5.4 Foretrukne funksjons- og estetikkalternativer

I figurene nedenfor vises en sammensatt løsning med løftestruktur og bunnramme for kransystemet. Løsningen er blitt valgt på bakgrunn av konseptscreeningen gjort i delkapittel 5.1,5.2 og 5.3. Figur 27 viser kranen ved begynnende løft da storsekken festes til løftekrok.

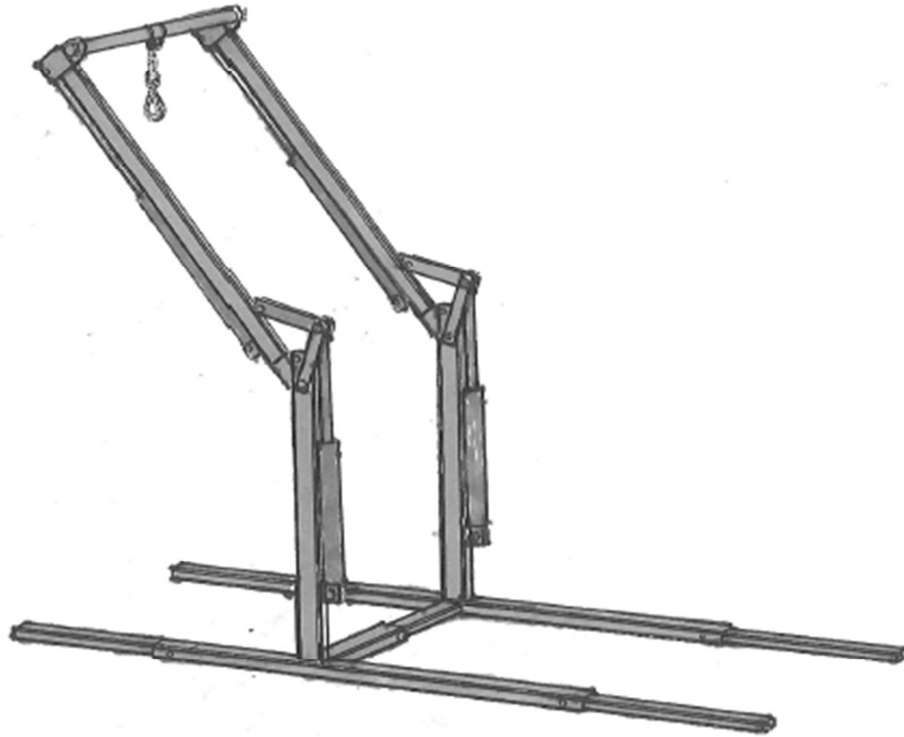
Ved bruk kan posisjonen til løftekrok justeres med sylindrerne, dette gjør at flere storsekker kan oppbevares på bunnrammen. Fylling av mineralgjødsel og såkorn i beholder på redskap kan da forløpe uten å måtte hente storsekker med traktor til kranen.



Figur 26:Kranen ved begynnende løft.

Tabell 11: Beskrivelse av komponenter i det valgte konsptet.

Komponent	Beskrivelse
1	Kjetting gjør det enkelt å feste last til krok.
2	Kranen kan lett transporteres ved å stikke pallegaffel til traktor inn i profilet.
3	Innfellbare profiler gjør kranen liten ved opplagring og transport.
4	Innfellbare tverrprofiler gjør kranen liten ved opplagring og transport.
5	Svingarmer gjør det mulig å løfte lasten til motsatt side løft. Noe som er den essensielle fordelene med kransystemet,
6	Leddene hvor bombjelke dreies.
7	Justerbare fester som gjør det mulig å bevege lasten underveis i løftet.
8	Profiler som gir stabilitet når lasten er henger over redskap. Disse kan også felles inn i ytre profil ved transport av kran.
9	Sylinder1
10	Sylinder 2 trekker/ skyver tverrbjelke i front.



Figur 27:Kranens bombjelker vinklet over til motsatt side

Ved tømning av innhold i storsekker, vinkles kranen over på motsatt side slik at lasten blir hengende over traktor og redskap. Innholdet i sekkene kan da enkelt fylles i beholder. Løsningen gjør at flere storsekker kan løftes, uten redskap og traktor må flyttes.

6 GRUNNLAGSBEREGNINGER

6.1 Materialvalg, tillatte spenninger og gjeldende laster

6.1.1 Materialer for hovedkomponenter:

Fra konseptscreeningen i kapittel 5 kom stål(S355) ut med høyeste poengsummen, og vil dermed bli brukt som materiale i hovedkomponentene på kranen. I tabellen nedenfor vises den aktuelle stålkvaliteten, med flytegrense og strekkfasthet, ved ulike veggtykkelser.

Tabell 12:Strekkfasthet og flytegrense ved ulike veggtykkelser i mm.[3,s. 75]

Kvalitet	Standard	Strekkfasthet R_m (MPa)	Flytegrense R_e (MPa)			
			t<16	16<t<35	35<t<50	50<t<70
S355J0	NS 10025	490-630	355	355	345	325

6.1.2 Tillatt spenning i hovedkomponenter:

Maskinforskriftene krever at maskiner og løfteredskap skal være bygd for å tåle en statisk lastfaktor på 1,5 av nyttelast. Dette gir en minimum sikkerhetsfaktor på 1,5 i konstruksjonen. Det finnes også en spesifikk standard (NS 5514) som omhandler løfteutstyr og kraner i stål. Standarden opererer med en sikkerhetsfaktor etter lasttilfelle, samt en dimensjonerende last som er multiplisering av ulike faktorer som påvirker konstruksjonen. Velger å følge anbefalingen til NS 5514 i dimensjoneringsarbeidet, da sikkerhetsfaktorene i denne standarden ligger over sikkerhetsfaktoren til maskinforskriftene, samt at den er spesifikt utarbeidet for kransystemer.

Tillatt spenning konstruksjonen fastsettes etter Ns5514[19,s.22]:

$$\sigma_a = \sigma_{till} = \frac{R_e}{SF} = \frac{355}{1,5} = 236,7 \text{ Mpa} \approx \mathbf{237 \text{ MPa}} \quad (1)$$

Sikkerhetsfaktor SF avhenger av lasttilfelle. Kranen vil være en forholdsvis liten konstruksjon som i begrenset grad påvirkes av vinden. Lasttilfelle 1, som omhandler konstruksjoner uten påvirkning av vind blir dermed gjeldende. Ut fra dette settes sikkerhetsfaktor til 1,5 mot flyt i materialet

Tillatt skjærspenning i konstruksjonen etter NS 5514:[19,s.23]

$$\tau_{till} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} = \frac{237}{\sqrt{3}} = \mathbf{137 \text{ MPa}} \quad (2)$$

Strekk eller trykk kombinert med skjærspenning etter NS 5514:[19,s.23]

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a \quad (3)$$

6.1.3 Dimensjonerende last etter NS 5514

Lasttilfelle:

Kranen vil ha en forholdsvis liten struktur som i liten grad påvirkes av vind. Av den grunn kan formel; *arbeid uten vind* (lasttilfelle 1) anvendes[19,s.20]:

$$m_{dim} = M(S_G + \psi S_L + S_H) \quad (4)$$

Her: M er en faktor som fastsettes etter krangruppe

S_G er last fra egenvekten til kranen.

S_L er last fra nyttelasten til kranen.

S_H er =ugunstige horisontale belastningen.

m_{dim}=dimensjonerende last

ψ er dynamisk faktor:

$$\psi = 1 + \xi \cdot V_L$$

V_L=løftehastighet

ξ= empirisk konstant

Valg av faktor M:

Faktoren M tar høyde for uforutsette påkjenninger, samt feil i beregningsmetoder. Faktoren avhenger av hvilken krangruppe kransystemet tilhører. For å fastsette faktor M må bruksklasse og krangruppe bli bestemt.

Tabell 13:Bruksklasse for kran[19,s.6].

Bruksklasse	Bruksfrekvens for løftebevegelse	Antall lastsykler
a	Uregelmessig drift fulgt av lange hvileperioder	$6,3 \times 10^4$
b	Regelmessig drift med periodevis belastning	2×10^5
c	Regelmessig drift med intensiv belastning	$6,3 \times 10^5$
d	Intensiv og høy belastning	2×10^6

Kommentar til tabell 9:

Kransystemet vil kun` brukes i korte, aktive perioder, bruksklasse a blir dermed gjeldende.

Tabell 14:Krangruppe[20,s.9].

Lastklasse eller spenningstilstand for komponenter	Bruksklasse og antall lastsykler			
	$6,3 \times 10^4$	2×10^5	$6,3 \times 10^5$	2×10^6
0 (svært lett belastning)	1	2	3	4
1 (lett belastning)	2	3	4	5
2 (moderat belastning)	3	4	5	6
3 (Tung belastning)	4	5	6	6

Kommentar til tabell 10

For kransystemet vil krangruppe 4 være gjeldende da den til tider vil utsettes for tunge belastninger.

Tabell 15:Faktor M[19,s.21]

	Krangruppe					
	1	2	3	4	5	6
M	1	1	1	1,06	1,12	1,20

Kommentar til tabell 11

*Fra tabell 11 ble krangruppe 4 valgt, dette gir faktor **M= 1,06***

Egenvekt til kran S_G :

$$S_G = 300 \text{ kg}$$

Egenvekt settes ut fra hva som kan være tenkelig for kransystemet.

Nyttelast S_L :

$$S_L = 700 \text{ kg}$$

Nyttelasten er fastsatt ut fra kravspesifikasjonene.

Dynamisk faktor Ψ :

$$\psi = 1 + \xi \cdot V_L \Rightarrow \quad (5)$$

$$\psi = 1 + 0,3 \cdot 0,7 \text{ m/s} = \mathbf{1,21}$$

Den dynamiske faktoren avhenger av løftehastigheten til kranen, samt empirisk faktor. I beregningen settes løftehastigheten V_L for kranen til 0,7 m/s. Verdien for den empiriske faktoren bestemmes ut fra strukturen til kranen. NS 5514 har ingen fastsatt faktor for undertegnede kransystem. Velger å anvende faktoren til jibb-kran på 0,3, da denne krantypen har forholdsvis lik struktur som kranen for dette prosjektet[19,s.12].

Horisontale belastning S_H :

$$S_H = \mathbf{0}$$

Kranen skal ikke konstrueres for håndtere last mens den selv blir flyttet, S_H kan derfor settes til 0,[19,s.20].

Dimensjonerende last:

$$m_{dim} = M(S_G + \psi S_L + S_H) \Rightarrow \quad (4)$$

$$m_{dim} = 1,06(300 \text{ kg} + 1,21 \cdot 700 \text{ kg}) = \mathbf{1215,82 \text{ kg}}$$

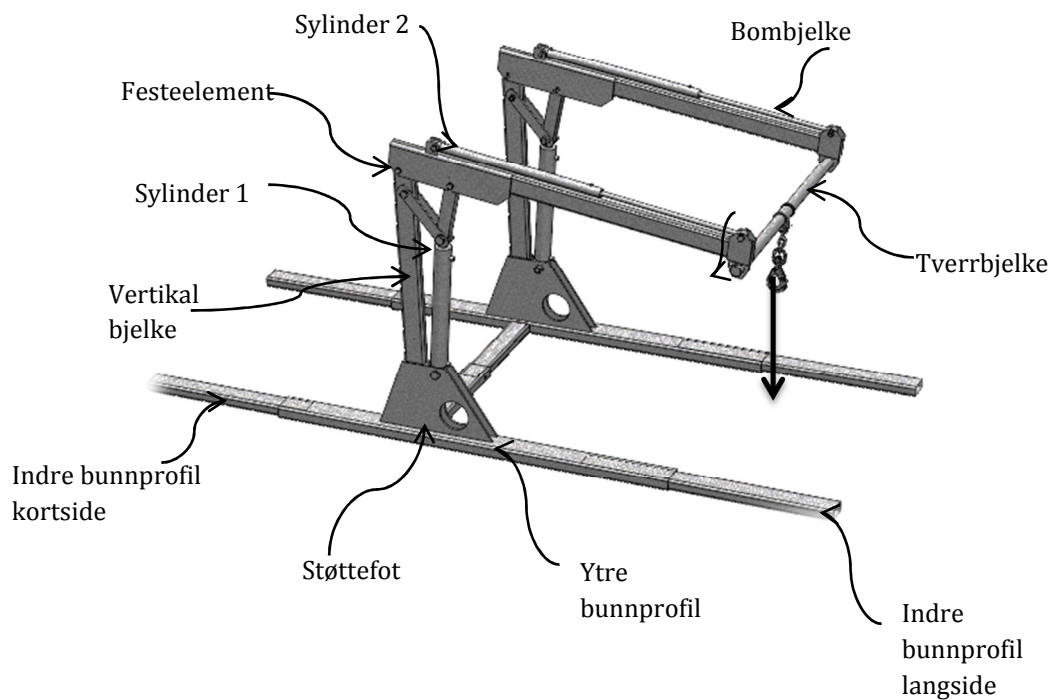
6.1.4 Tillatt spenning i høyfaste skrueforbindelser

Det vil i konstruksjonen bli brukt syrefaste bolter med strekkfastheten 800 MPa og flytegrense $R_{p0,2}$ lik 640 MPa[21]. Tillatt spenning i høyfaste bolter blir dermed[19,s.26]:

$$\sigma_{till} = \sigma_a = 0,7 \cdot \sigma_{Rp0,2} = 0,7 \cdot 640MPa = 448 MPa \quad (6)$$

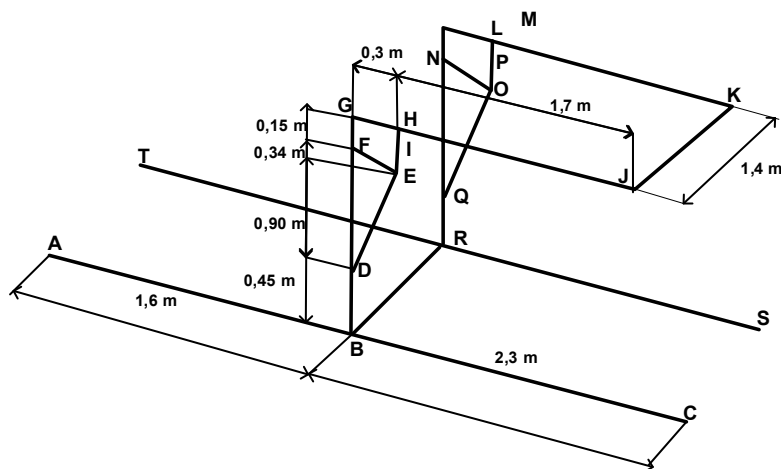
Videre er det ikke nødvendig å kontrollere høyfaste skruer for avskjæring[19,s.26]

6.2 Dimensjonering for kritisk lasttilfelle 1



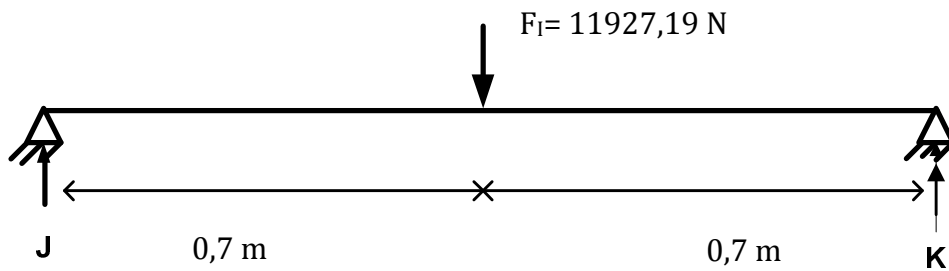
Figur 28: Kritisk lasttilfelle 1

Lasttilfelle 1 oppstår ved begynnende løft, da lasten blir hengende 2 meter fra vertikale bjelke. Lasttilfelle 1 vil i tillegg til lasttilfelle 2 se(6.3) være det dimensjonerende kritiske lasttilfellet for kranstrukturen. Enkelte av komponentene i kranen dimensjoneres mot slutten av håndberegningene, da det har vært vanskelig å fastsette kritisk lasttilfelle for disse delene underveis.



Figur 29: Strek-figur med mål som vil bli brukt i beregningen.

6.2.1 Dimensjonering av tverrbjelke J-K



Figur 30: Punktlast tverrbjelke J-K

Tverrbjelke J-K vil bli påført størst spenninger når lasten virker vertikalt ned i senter av bjelken. Bjelken blir sett på som fritt opplagret, da dette vil være tilnærmet virkeligheten. For tverrbjelke J-K vil det ikke bli tatt hensyn til skjærspenninger, da det for lange bjelker er størst skjærspenninger i profilets nøytralakse, der bøyespenningen er minst. [22,s.39]. For videre beregninger i prosjektet vil det kun bli tatt hensyn til skjærspenninger for svært korte bjelker, der denne spenningen kan være dimensjonerende. Av den grunn tegnes det heller ikke skjærkraftdiagram for lange bjelker.

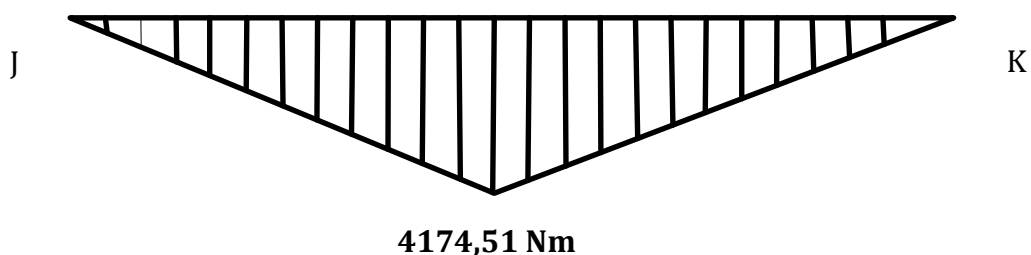
Kraften på tverrbjelke J-K:

$$F_l = 1215,82 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \mathbf{11927,19 \text{ N}} \quad (7)$$

Den vertikale kraften F_l vil gi et moment midt på tverrbjelken:

$$M_l = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{11927,19 \cdot 1,4}{4} = \mathbf{4174,51 \text{ Nm}} \quad (8)$$

Momentdiagram:



Nødvendig tverrsnittsmodul pga. bøyemomentet for bjelke J-K:

$$W_{n\ddot{o}d} = \frac{M_I}{\sigma_{till}} = \frac{4174,51 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{237 \text{ MPa}} = 17,64 \text{ mm}^3 \cdot 10^3 \quad (9)$$

Profilvalg:

Ved løft må hylsen som holder løftekrok kunne rotere, dette fører til at lastens angrepspunkt vil forandre seg. Det derfor nødvendig å velge et sirkulært profil som innfestningen eller hylsen kan rotere rundt. Velger et massivt rundprofil (se vedlegg V.01)

Betegnelse: S355J0

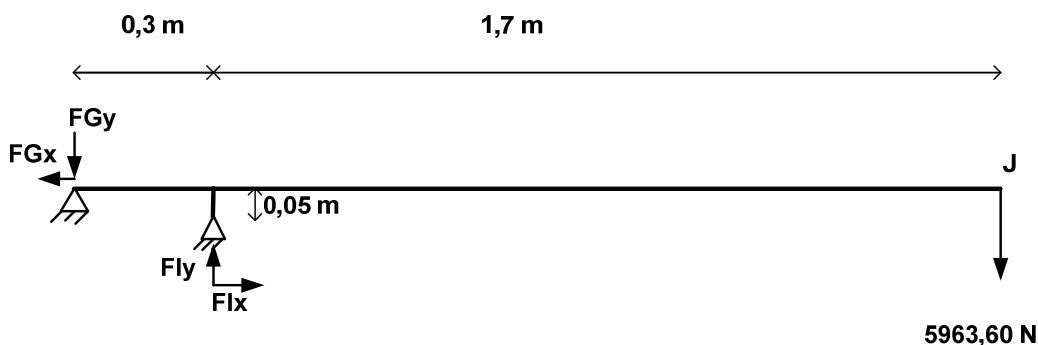
Dimensjon: 60mm (massivt rundprofil)

Vekt: 19,01 kg/m

Tverrsnittsmodul: $21,20 \text{ mm}^3 \cdot 10^3$

$$W > W_{n\ddot{o}d} \Rightarrow \text{ok}$$

6.2.2 Dimensjonering av bombjelke, G-J



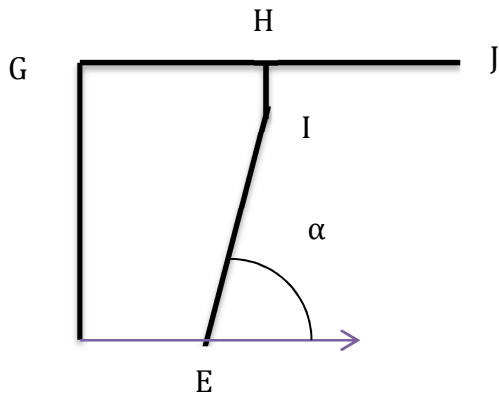
Figur 31: Lastbilde for bombjelke G-J.

Figur 32 viser lasten som virker på bombjelke G-J. Det vil kun bli dimensjonert for en av de to bommene til kranen, da de kan betraktes som symmetriske. For å oppnå nødvendig tverrsnittsmodul og forankringslengde ved punkt I, er det tenkt å plassere opplageret 50 mm nedenfor bombjelken. Håndberegningene er gjort ut fra verst tenkelig lasttilfelle for løftebom. Dette lasttilfellet inntreffer ved begynnende løft, med total last på 1215 kilo hengende midt på tverrbjelke J-K. Lasten vil da virke vertikalt ned i en avstand på 2 meter fra opplagerpunkt G. Hver bombjelke vil da påføres halvparten av den totale lasten.

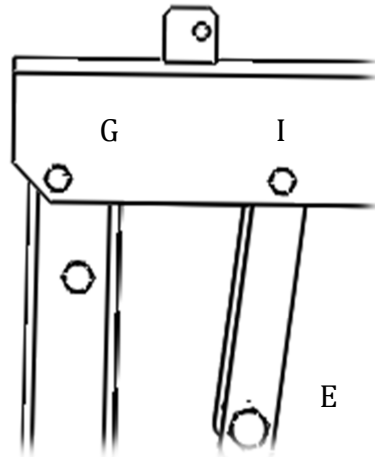
Bombjelke G-J vil ikke utsettes for vridemoment, da knutepunktet mellom bombjelke og tverrbjelke J-K blir sett på som fritt opplager.

Last som blir overført fra tverrbjelke K-J til bom G-J:

$$J = \frac{1215,82 \text{ kg}}{2} = \frac{11927,19 \text{ N}}{2} = 5963,60 \text{ N}$$



Figur 32: Illustrasjonsbilde med vinkel α mellom svingarm E-I og vertikalplanet.



Figur 33: Illustrasjonsbilde av svingarm E-I med innfesting.

For å kunne beregne krefter i bombjelke G-J må det først fastsettes retninger på opplagerkrefter i svingarm E-I. For finne avstander og vinkler er det tegnet en strekmodell i Solidworks(se vedlegg: V.05), fra denne modellen kan man enkelt hente hente ut gjeldene vinkler og avstander ved de ulike lasttilfellene.

Beregning av vinkel mellom svingarm E-I og vertikalplanet:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{0,07 \text{ m}}{0,30 \text{ m}} \rightarrow \alpha = 76,51^{\circ}$$

Krefter i vertikal svingarm E-I:

$\cup \sum M_G = 0$ gir:

$$J \cdot 2,00 \text{ m} - F_{EI} \sin \alpha \cdot (0,30 \text{ m}) - F_{EI} \cos \alpha \cdot (0,05 \text{ m}) = 0 \Leftrightarrow$$

$$F_{EI} = \frac{2 \cdot 5963,60 \text{ N}}{(\sin 76,51^\circ) \cdot (0,30 \text{ m}) + (\cos 76,51^\circ) \cdot (0,05 \text{ m})} = \mathbf{39283,16 \text{ N}}$$

Dekomponering av krefter i svingarm E-I gir:

$$F_{Ix} = \cos 76,51^\circ \cdot (39283,16 \text{ N}) = \mathbf{9163,81 \text{ N}}$$

$$F_{Iy} = \sin 76,51^\circ \cdot (39283,16 \text{ N}) = \mathbf{38199,36 \text{ N}}$$

$\sum F_y = 0$ gir:

$$F_{Gy} = 38199,36 \text{ N} - 5963,60 \text{ N} = \mathbf{32239,68 \text{ N}}$$

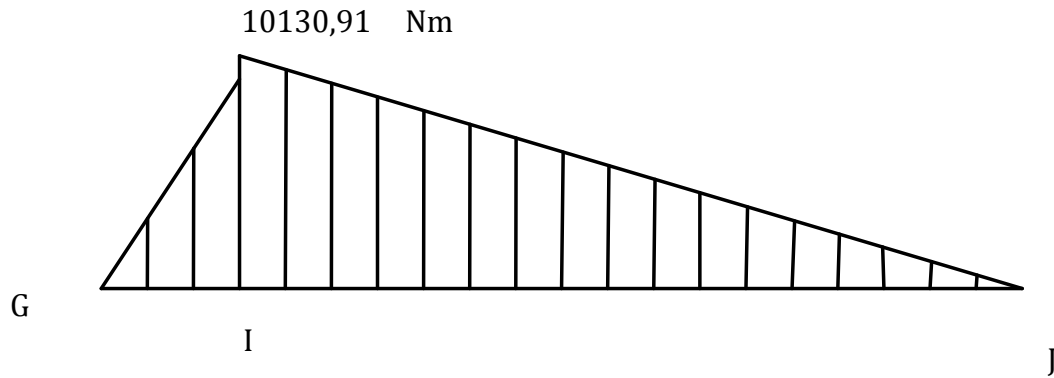
$\sum F_x = 0$ gir:

$$F_{Gx} = F_{Ix} = \mathbf{9163,81 \text{ N}}$$

Momentdiagram for bom G-J:

$$y - \text{retning} \Rightarrow M_G = F_{Gy} \cdot l \Rightarrow 32239,68 \text{ N} \cdot 0,3 = \mathbf{9671,90 \text{ Nm}}$$

$$x - \text{retning} \Rightarrow M_G = F_{Gx} \cdot l \Rightarrow 9163,82 \text{ N} \cdot 0,05 = \mathbf{458,19 \text{ Nm}}$$



Maks bøyemoment vil opptre ved opplager I, nødvendig tverrsnittsmodul blir dermed:

$$W_{n\ddot{o}d} = \frac{M_G}{\sigma_a} = \frac{10130,91 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{236,7 \text{ MPa}} = \mathbf{42,80 \text{ mm}^3} \quad (9)$$

Valg av bomprofil og kommentar til utregning:

Som det vises i momentdiagrammet vil det største bøyemomentet oppstå i opplager I. Det er tenkt å tilvirke et festelement med form som et kanalstål, dette kan tres utenpå bomprofilet ved opplager I. På denne måten kan man oppnå nødvendig tverrsnittsmodul i de mest utsatte områdene på bommen samtidig som vekten holdes nede. Det velges dermed et profil fra Norsk stål med mindre tverrsnittsmodul da dette profilet inklusive det tilvirkede festelementet vil oppnå tverrsnittsmodul godt over det nødvendige ved opplager I.

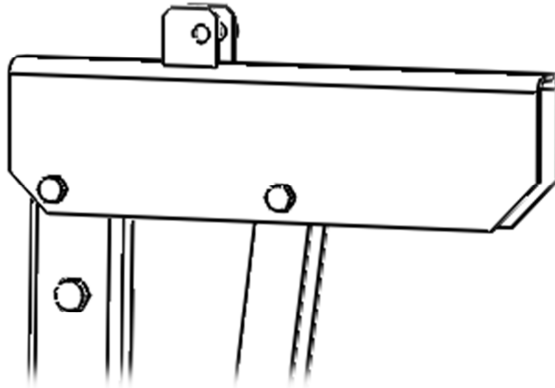
Betegnelse: S355NH

Dimensjon: **100x50x5 mm** (se vedlegg: V.02)

Tverrsnittsmodul: **29,81 mm³ · 10³**

Vekt: 8,56 kg/m

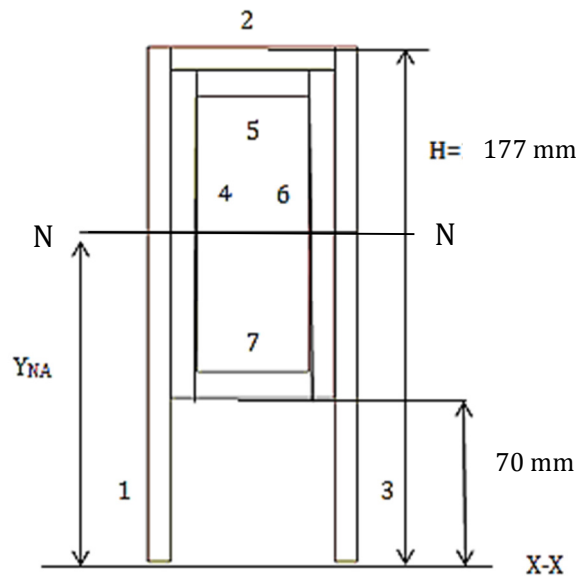
6.2.3 Dimensjonering av festelement:



Figur 34: Tenkt form på festelement som forbinder vertikale bjelke til bombjelke.

Figur 34 viser en mulig form for festelement som sveises til bombjelke. På figuren er det også vist et midtre bolthull som sammenfører svingarm E-I til festelementet på kranen. Festelementet vil gi bombjelken ekstra styrke ved opplager I som er området der bøyemomentet er høyest. Det er tenkt å fremstille festeelementet fra en plate med veggtykkelse 7mm, platen knekkes i kantene slik at det passer til profilet på bombjelken. Den relativt store platetykkelsen er valgt på bakgrunn av de store lastene, med påfølgende hulltrykkspenninger, som vil forekomme i bolthull I.

Beregning av tverrsnittsmodul for hulprofil og festeelement:



Figur 35: Tverrsnitt for hulprofil og festelementet

Tabell 16: Utregning av tverrsnittsmodul.

Element	Dimensjon (mm)	Areal (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I= (bh ³)/12(mm ⁴)
1	7x157	1099	88,5	97261,5	8607642	2257437
2	50x7	350	173,5	60725	10535787	1429,2
3	7x157	1099	88,5	97261	8607642	2257437
4	5x100	500	120	60000	7200000	416666,7
5	34x5	170	167,5	28475	4769562	354,16
6	5x100	500	120	60000	7200000	416666,7
7	34x5	170	72,5	12325	893562	354,16
Sum		4692	830,5	416047	47814195	5350344,9

Avstand til nøytralaksen fra x-x:

$$Y_{NA} = \frac{\sum AY}{\sum A} \Rightarrow \frac{416047}{4692} = 88,67 \text{ mm}$$

Annet arealmoment om x-x:

$$I_{x-x} = \sum AY^2 + \sum I_i \Rightarrow 47814195 \text{ mm}^4 + 5350344,9 \text{ mm}^4 = 53164539 \text{ mm}^4$$

Annet arealmoment om N-N:

$$I_{NA} = I_{X-X} - (\Sigma A) \cdot Y_{NA}^2 \Rightarrow 53164539 \text{ mm}^4 - 4692 \text{ mm}^2 \cdot (88,67 \text{ mm})^2 = 16274304,12 \text{ mm}^4$$

Tverrsnittsmodul:

$$W_1 = \frac{I_{NA}}{Y_{NA}} \Rightarrow \frac{16274304,54 \text{ mm}^4}{88,67 \text{ mm}} = \mathbf{183,22 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}$$

Bøyesspenning i hulprofil og festelement ved punkt I:

$$\sigma_b = \frac{M_I}{W} = \frac{10130,91 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{183,22 \text{ mm}^3 \cdot 10^3} = \mathbf{55,61 \text{ MPa}} \quad (10)$$

Skjærspenning i festelement og hulprofil ved punkt I:

$$\tau = \frac{38199,36 \text{ N}}{4692 \text{ mm}^2} = \mathbf{8,15 \text{ MPa}} \quad (11)$$

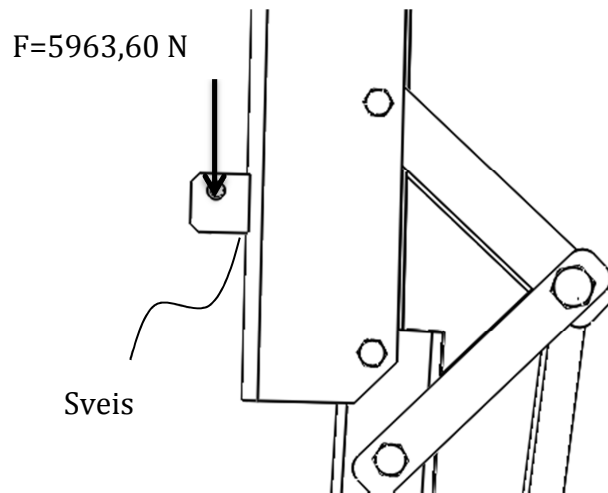
Jevnførende spenning ved punkt I:

$$\sigma_j = \sqrt{54,61^2 + 3(8,15)^2} = \mathbf{55,21 \text{ MPa}} \quad (12)$$

Kontroll:

$$\sigma_j < \sigma_{till} \rightarrow \mathbf{ok}$$

6.2.4 Beregning av sveis mellom festelement og brakett.



Figur 36: Sveisens angrepspunkt

Kranen vil ha hydrauliske sylindere på bombjelken, sylindrene gjør mulig å justere avstanden mellom lasten og vertikal bjelke som løftekroken er feste til. Sylindrene er festet til brakett med bolt, braketten er videre sveist til festelementet. Sveisen vil bli påført store krefter når lasten er hengende over vertikale bjelke, da all kraft går gjennom sylinder og videre til brakett. Det antas at sveisen har like gode egenskaper som grunnmaterialet, samt at den er riktig utført.

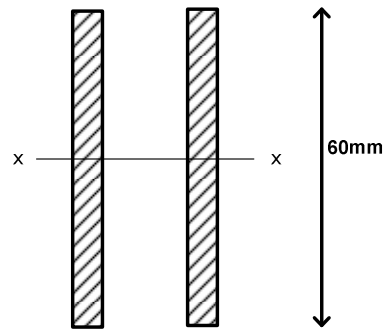
Kraft gjennom sveis:

$$F_{sveis} = 5963,60 \text{ N}$$

Det sveises kile-sveis på langsiden til braketten, platetykkelsen til braketten settes til 5 mm. Sveisens a-mål bør ikke overstige veggykkelse til grunnmaterialet multiplisert med 0,7[16].

Gjeldene a-mål:

$$a - \text{mål} = 0,7 \cdot 5\text{mm} = 3,5\text{mm}$$



Figur 37:Sveis

Sveisens tverrsnittsmodul:

$$W_x = 2 \left(\frac{1}{6} BH^2 \right) \Rightarrow W_x = 2 \left(\frac{1}{6} 3,5 \cdot 60^2 \right) = 42,00 \cdot 10^3 \text{mm}^3 \quad (13)$$

Bøyesspenning i sveis:

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} = \frac{5963,60 \text{ N} \cdot 45 \text{mm}}{42,00 \cdot 10^3 \text{mm}^3} = 6,39 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{6,39 \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 4,52 \text{ MPa} \quad (14)$$

Skjærspenning i sveis:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{A_{sveis}} = \frac{5963,60}{2(60 \cdot 3,5)} = 14,19 \text{ MPa} \quad (11)$$

Jevnførende spenning i sveis:

$$\sigma_{Jf} = \sqrt{4\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = 26,18 \text{ MPa} \quad (15)$$

Tillatt jevnførende spenning i sveis hentes fra tabell i NS 5514, spenningen fastsettes ut fra grunnmateriale, type svies og lasttilfelle[19,s.27]:

$$\sigma_{tjf} = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tjf} > \sigma_{Jf} \Rightarrow \mathbf{Ok}$$

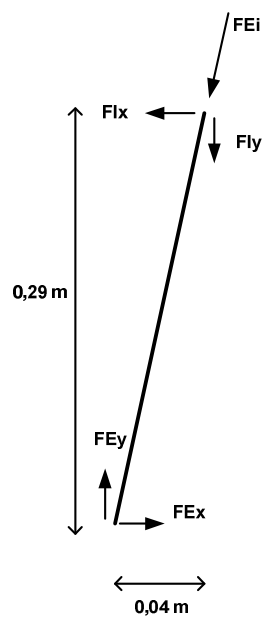
Tillatt skjærspenning i sveis etter NS 5514[20,s.26]

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}} = \frac{235}{\sqrt{2}} = 166,17 \text{ Mpa} \quad (16)$$

Sveisen godkjennes hvis:

$$\tau_a > \tau_{\parallel} \Rightarrow \mathbf{Ok}$$

6.2.5 Dimensjonering av svingarm E-I



Figur 38: Krefter på svingarm E-I

Som det vises på figur vil svingarm E-I bli påført knekkspenninger fra kraften F_{EI} . Svingarmen blir holdt fast, men er fritt dreibar i begge endene. Dette vil gi en knekk lengde som tilsvarer svingarmens lengde.[23,s.382]

Fra tidligere er kraften i F_{EI} blitt beregnet til:

$$F_{EI} = F_{till} = \mathbf{39283,16 \text{ N}}$$

Knekk lengde:

$$l_k = 300 \text{ mm}$$

Tverrsnittets arealmoment beregnes ved Eulers formel:

$$I_{0n\theta d} = \frac{F_{till} \cdot n \cdot l_k^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{39283,16 \text{ N} \cdot 3 \cdot (300 \text{ mm})^2}{\pi^2 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2} = 5111,14 \text{ mm}^4 \quad (17)$$

Sikkerhetsfaktoren for knekking settes til 3 som er minimum, da det allerede ligger sikkerhet i lasten til kranen. [24,s61]

Profilvalg for svingarm E-I:

Ved valg av profil må det tas hensyn til at profilet for svingarm E-I skal passe til festelement for bombjelke, samt sylinder D-E. Profilet må også ha arealmoment over 5111,14 mm⁴ om alle akser. I oppgaven er det ikke vedlagt vedlegg over plater og flattjern til svingarm og andre mindre komponenter, men dimensjoner for disse komponentene finnes både i Rukki og Norsk Ståls produktkataloger.

Betegnelse:S355NH

Dimensjon: Massivt rektangel, 60x5mm

Areal: 600 mm²(2 svingarmer)

$$I_{0y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} HB^3 \right) = 1250 \text{ mm}^4$$

Profilvalg for avstiver

Beregningen viser at arealmomentet er langt under det nødvendige, ved bruk av kun to svingarmer. Velger derfor å sveise en avstiver mellom komponenten for kunne oppnå det nødvendige arealmomentet.

Betegnelse:S355NH

Dimensjon: Massivt rektangel 40x15 mm

Areal: 600 mm²

$$I_{0y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} HB^3 \right) = 11250 \text{ mm}^4$$

Treghetsradien:

$$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \sqrt{\frac{12500 \text{ mm}^4}{1200 \text{ mm}^2}} = 10,41 \quad (18)$$

Slankhetsforholdet:

$$\lambda = \frac{300}{10,41} = 28,81 < 89 \Rightarrow \text{Eulers formel er ikke gjeldende [23,s.387]} \quad (19)$$

Anvender Tetmajers formel:

Verdien av knekkfastheten for stålsort s355[23,s.390]:

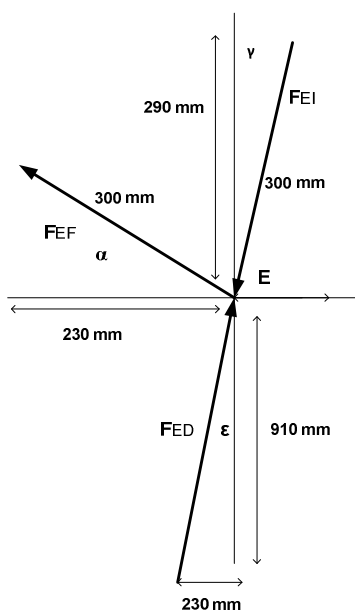
$$\text{St 50/st 60} \Rightarrow \sigma_K = 335 - 0,62 \cdot \lambda$$

Tetmajers formel:

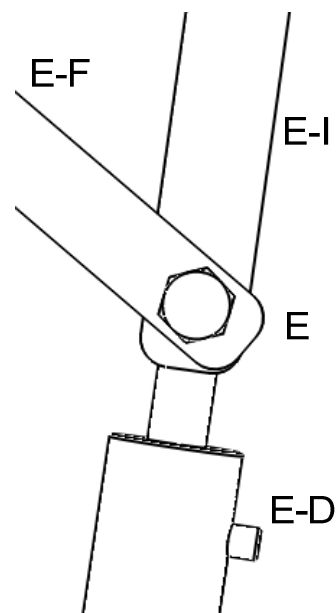
$$F_K = \frac{A \cdot (335 - 0,62 \cdot \lambda)}{n} = \frac{1200(335 - 0,62 \cdot 28,81)}{3} = \mathbf{126855 \text{ N}} \quad (20)$$

$F_K > F_{EI}$, valg av profil er godkjent.

6.2.6 Beregning av krefter i svingarm E-F



Figur 39: Kreftens retning i knutepunkt E. Mål hentes fra vedlegg V.05.



Figur 40:Knutepunkt E.

Fra tidligere er kraften i F_{EI} beregnet til:

$$F_{EI} = 39283,16 \text{ N}$$

Vinkel α mellom F_{FE} og x-akse:

$$\cos\alpha = \frac{230,00 \text{ mm}}{300,00 \text{ mm}} \Rightarrow \alpha = 39,95^\circ$$

Vinkel γ mellom F_{EI} og y-akse:

$$\cos\gamma = \frac{290,00 \text{ mm}}{300,00 \text{ mm}} \Rightarrow \gamma = 13,50^\circ$$

Vinkel ϵ mellom F_{ED} og y-akse:

$$\tan\epsilon = \frac{230,00 \text{ mm}}{910,00 \text{ mm}} \Rightarrow \epsilon = 14,21^\circ$$

Likevekt i y-retning i planet gir:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow$$

$$F_{DE}\cos\epsilon - F_{EI}\cos\gamma + F_{EF}\sin\alpha = 0 \Rightarrow$$

$$F_{DE} = \frac{F_{EI}\cos\gamma - F_{EF}\sin\alpha}{\cos\epsilon} = 39403,24 - F_{EF}0,66 \quad (\text{A})$$

Likevekt i x-retning i planet gir:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow$$

$$F_{DE}\sin\epsilon - F_{EI}\sin\gamma - F_{EF}\cos\alpha = 0 \Rightarrow$$

$$F_{EF} = \frac{F_{DE}\sin\epsilon - F_{EI}\sin\gamma}{\cos\alpha} \quad (\text{B})$$

Setter ligning (A) inn i ligning (B):

$$F_{EF} = \frac{(39403,24 - F_{EF}0,66)\sin14,21^\circ - 39283,16 \text{ N}\sin13,50^\circ}{\cos39,95^\circ} = 541,30 \text{ N}$$

6.2.7 Beregning av krefter i hydraulisk sylinder D-E:

Likevekt i x-retning i planet gir fra ligning (B):

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow$$

$$F_{DE} \sin \epsilon - F_{EI} \sin \gamma - F_{EF} \cos \alpha = 0 \Rightarrow$$

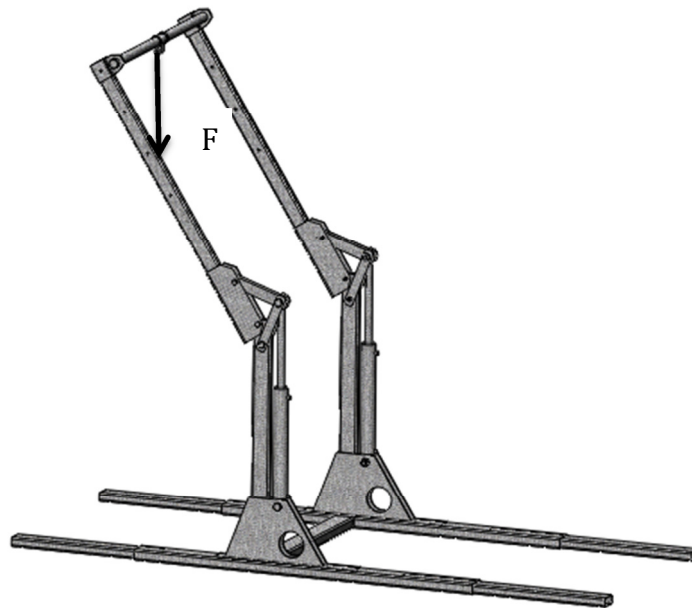
$$F_{DE} = \frac{F_{EI} \sin \gamma + F_{EF} \cos \alpha}{\sin \epsilon} =$$

Nødvendig løftekraft for hydraulisk sylinder D-E:

$$F_{DE} = \frac{39283,16 \text{ N} \cdot \sin 13,50^\circ + 541,30 \text{ N} \cdot \cos 39,95^\circ}{\sin 14,21^\circ} = \mathbf{39048,27 \text{ N}}$$

I vedlegg V.07 vises en kontrollberegning utført i Ansys Classic, der det er påsatt laster og opplager, for å finne reaksjonskrefter i svingarmene, samt hydraulisk sylinder D-E. Sammenligning av håndberegninger mot simuleringen i Ansys Classic viser forholdsvis like svar, antar dermed at håndberegningene er riktige.

6.3 Dimensjonering av kritisk lasttilfelle 2



Figur 41: Lasttilfelle 2

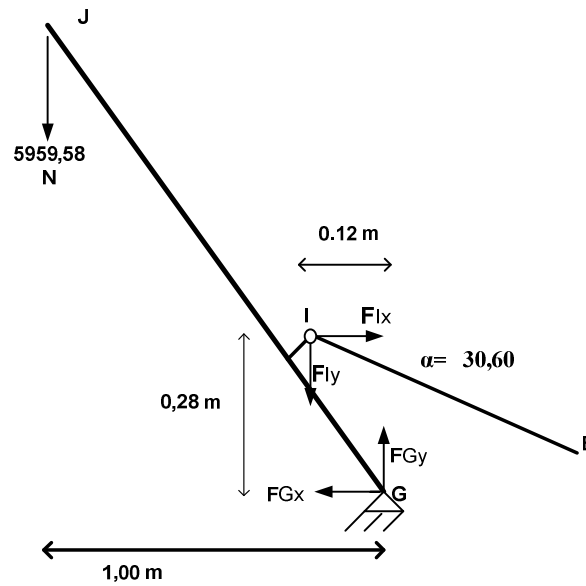
Ved fylling av mineralgjødsel eller såkorn kreves det løftehøyde på 3 meter for å få storsekk over redskap.. Samtidig må det være en horisontal avstand lik 1 meter mellom last og vertikale bjelke, dette for å unngå kontakt mellom redskap og kran. Er det behov for en større avstand kan man plassere redskap vinkelrett mot kranen, slik at innholdet i storsekk blir fylt fra siden. Lasttilfellet vil gi store belastninger på hydraulikksylinder D-E, svingarm E-F og svingarm E-I. Det gjøres derfor en beregning av krefter og spenninger som påføres de aktuelle komponentene ved dette lasttilfellet. Videre sees det ingen grunn til og beregne momentet i bombjelke G-J, da lasten i dette tilfellet henger nærmere opplagerpunkt G.

Lasten som påføres bombjelken G-J vil være lik som i lasttilfelle 1, altså halve vekten til den total lasten lik 1215 kilo.

Last som blir overført fra tverrbjelke K-J til bom G-J:

$$J = \frac{1215,82 \text{ kg}}{2} = \frac{11927,15 \text{ N}}{2} = 5963,60 \text{ N}$$

6.3.1 Dimensjonering svingarm E-I:



Figur 42: Lastbilde over bombjelke G-J og svingarm E-I.

Krefter i svingarm E-I:

Vinkel α og ulike lengder hentes fra vedlegg: V.06.

$\sum M_G = 0$ gir:

$$J \cdot 1,00 \text{ m} + F_{EI} \sin \alpha \cdot (0,12 \text{ m}) - F_{EI} \cos \alpha \cdot (0,28 \text{ m}) = 0 \Rightarrow$$

$$F_{EI} = \frac{1,0 \cdot 5963,60 \text{ N}}{(\sin 30,60) \cdot (0,12 \text{ m}) - (\cos 30,60) \cdot (0,28 \text{ m})} = 33145,32 \text{ N}$$

Vinkel $\alpha = 30,60^\circ$ hentes fra vedlegg V.06. Dimensjoneringen viser at lasttilfelle 1 er mer kritisk for svingarm E-I enn lasttilfelle 2, lasttilfelle 1 blir dermed dimensjonerende.

Krefter i opplager G og I:

Dekomponering av krefter fra svingarm E-I:

$$F_{Iy} = \sin 30.60^\circ \cdot (33145,32 \text{ N}) = \mathbf{16872,20 \text{ N}}$$

$$F_{Ix} = \cos 30,60^\circ \cdot (33145,32 \text{ N}) = \mathbf{28529,29 \text{ N}}$$

Likevekt i y-retning gir:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow$$

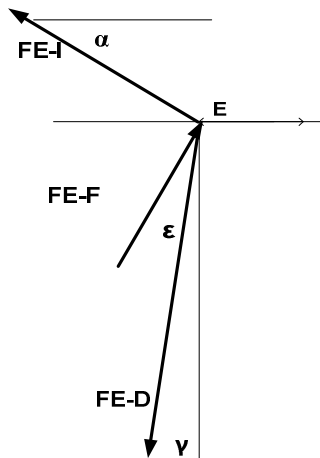
$$F_{Gy} = 16872,20 \text{ N} + 5963,60 \text{ N} = \mathbf{22835,80 \text{ N}}$$

Likevekt i x-retning gir:

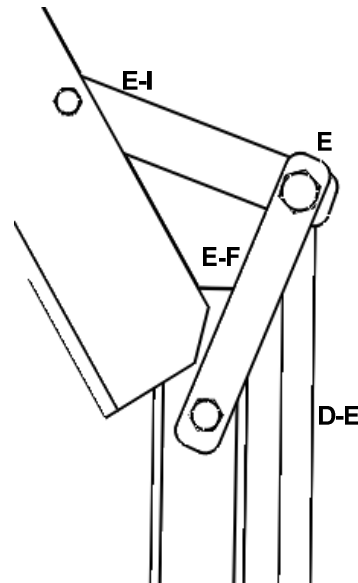
$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow$$

$$F_{Gx} = F_{Ix} = \mathbf{28529,29 \text{ N}}$$

6.3.2 Dimensjonering av svingarm E-F



Figur 43: Krefter i knutepunkt E ved lasttilfelle 2



Figur 44: Komponenter som er sammenføyd til knutepunkt E.

Vinkel α , ϵ og γ og ulike lengder hentes fra vedlegg: V.06

$$\epsilon = 27,12$$

$$\alpha = 30,60$$

$$\gamma = 3,63$$

Kraften fra svingarm E-I er fra tidligere:

$$F_{EI} = 33145,32 \text{ N}$$

Likevekt i y-retning i planet gir:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow$$

$$F_{EI} \sin \alpha + F_{EF} \cos \epsilon - F_{DE} \cos \gamma = 0 \Rightarrow$$

$$F_{DE} = \frac{F_{EI} \sin \alpha + F_{EF} \cos \epsilon}{\cos \gamma} = 16906,25 + F_{EF} 0,88 \text{ (A)}$$

Likevekt i x-retning i planet gir:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow$$

$$F_{EF} \sin \epsilon - F_{EI} \cos \alpha - F_{DE} \sin \gamma = 0 \Rightarrow$$

$$F_{EF} = \frac{F_{DE} \sin \gamma + F_{EI} \cos \alpha}{\sin \epsilon} \text{ (B)}$$

Ligning (A) settes inn i ligning (B) og løses:

$$F_{EF} = \frac{(16906,25 + F_{EF} 0,88) \sin 3,63^\circ + 33145,32 \cos 30,62^\circ}{\sin 27,12^\circ} = \mathbf{74075,34 \text{ N}}$$

Trykkraft i svingarm E-F:

$$F_{EF} = \mathbf{74075,34 \text{ N}}$$

Lasttilfelle 2 gir en trykkraft i svingarm E-F som er langt over krefter i tilfelle 1, tilfelle 2 blir dermed dimensjonerende. Beregningen har noe avvik fra Ansys Classic, dette grunnet små desimaler og vinkler som vil ha stor innvirkning. Videre kontrolleres svingarm mot knekking.

Knekk lengde:

$$l_k = 300 \text{ mm}$$

Tverrsnittets arealmoment beregnes ved Eulers formel:

$$I_{on\ddot{o}d} = \frac{F_{till} \cdot n \cdot l_k^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{74075,34 \text{ N} \cdot 3 \cdot (300 \text{ mm})^2}{\pi^2 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2} = 9649,80 \text{ mm}^4 \quad (17)$$

Sikkerhetsfaktoren for knekking settes til 3 som er minimum, da det allerede ligger sikkerhet i lasten til kranen. [24,s61]

Profilvalg

Må velge et profil med arealmoment på minst 9649,80 mm⁴ om alle akser.

Betegnelse: S355

Dimensjon: 60x10

Areal: 1200 mm² (2 elementer)

$$I_{0y} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} HB^3\right) = 10000 \text{ mm}^4$$

Multiplisere med to siden lasten fordeles på flattstål.

Tregghetsradien:

$$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \sqrt{\frac{10000 \text{ mm}^4}{1200 \text{ mm}^2}} = 2,89 \quad (18)$$

Slankhetsforholdet:

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{300}{2,89} = 103,92 \quad (19)$$

$103,92 > 89 \Rightarrow$ Eulers formel er gjeldende og profilene kan brukes [23,s.387].

6.3.3 Dimensjonering av sylinter1 (D-E):

Likevekt i y-retning i planet gir fra ligning (A):

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow$$

$$F_{EI} \sin \alpha + F_{EF} \cos \epsilon - F_{DE} \cos \gamma = 0 \Rightarrow$$

Total trekkraft som påvirker hydraulisk sylinter D-E:

$$F_{DE} = \frac{F_{EI} \sin \alpha + F_{EF} \cos \epsilon}{\cos \gamma} \Rightarrow$$

$$F_{DE} = \frac{33145,32 \text{ N} \cdot \sin 30,62 + 74075,34 \cdot \cos 27,12}{\cos 3,63} = \mathbf{82979,16 \text{ N}}$$

Ved beregning med dimensjonerende belastning vil hydraulisk sylinter bli påført en strekkraft langt over hva sylindere skal kunne trekke og skyve ved normalt bruk. Det er av den grunn ikke nødvendig å beregne sylindere etter dimensjonerende belastninger. Isteden vil det bli utført en beregning på bakgrunn av maskinforskriften der det kreves at konstruksjonen tåler en prøvelast som er 1,5 ganger nyttelast på 700 kg. På denne måten unngår man unødvendig store dimensjoner på hydrauliske komponenter samtidig som man holder seg innenfor gitte forskrifter.

Trekkraft:

$$F_{DE1} = \mathbf{82979,16 \text{ N}}$$

Beregner nødvendig trekkraft for sylinter ved belastning av nyttelast:

$$\frac{F_{DE \text{ nød}}}{F_{DE}} = \frac{\text{Nyttelast}}{\text{dimensjonerte last}} \Rightarrow$$

$$F_{DE \text{ nød}} = F_{DE} \cdot \frac{\text{Nyttelast}}{\text{Dimensjonerend}} = 82979,16 \text{ N} \cdot \frac{700 \text{ kg}}{1215 \text{ kg}} = 47806,84 \text{ N}$$

Nødvendig trekkraft inklusive prøvefaktor på 1,5:

$$F_{DE 1,5} = 47806,84 \cdot 1,5 = \mathbf{71710,25 \text{ N}}$$

Total skyvekraft hentes fra lasttilfelle 1:

$$F_{DE2} = \mathbf{37037,64 \text{ N}}$$

Beregner nødvendig skyvekraft for sylinder ved belastning av nyttelast:

$$\frac{F_{DE\ n\o d}}{F_{DE}} = \frac{\text{Nyttelast}}{\text{dimensjonerede last}} \Rightarrow$$

$$F_{DE\ n\o d} = F_{DE} \cdot \frac{\text{Nyttelast}}{\text{Dimensjonerend}} = 37037,64 \cdot \frac{700\ \text{kg}}{1215\ \text{kg}} = \mathbf{21336,83\ N}$$

Nødvendig skyvekraft inklusive prøvefaktor lik 1,5:

$$F_{DE\ 1,5} = 21336,83 \cdot 1,5 = \mathbf{32005,24\ N}$$

Dimensjoneringen viser at det er nødvendig med en dobbeltvirkende sylinder med trekkraft på minimum 71710,25 N og skyvekraft på 32005,24 N etter henholdsvis lasttilfelle 2 og 1.

Kranes skal benytte seg traktorenes hydraulikksystem ved løft, typisk arbeidstrykk på en traktor er 200 bar[25]. I beregningen av nødvendig areal for sylinder, må det tas hensyn til reduksjon av areal grunnet stempel i sylinder.

Beregning av nødvendig areal for sylinder etter trekkraft:

$$A_{n\o d} = \frac{F_{DE}}{P} \Rightarrow \frac{71710,25}{20\ \text{MPa}} = \mathbf{3585,51\ mm^2} \quad (21)$$

Fra vedlegg [13] hentes data for den aktuelle sylinder(HFR5400600):

$$d_{\text{sylinder}} = 80\ \text{mm}$$

$$d_{\text{stempel}} = 40\ \text{mm}$$

Sylinderareal etter reduksjon av stempel:

$$A_{\text{sylinder}} = \frac{\pi}{4} \cdot 80^2 - \frac{\pi}{4} \cdot 40^2 = \mathbf{3769,90\ mm^2}$$

Trekkraft for aktuelle sylinder:

$$F_{DE} = A_{\text{sylinder}} \cdot P \Rightarrow 3769,90\ \text{mm}^2 \cdot 20\ \text{MPa} = \mathbf{75398\ N} \quad (21)$$

Skyvekraft for aktuelle sylindere:

$$F_{DE} = A_{sylinder} \cdot P \Rightarrow 5026 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ MPa} = \mathbf{100530,56 \text{ N}} \quad (21)$$

Sylinder vil være dimensjonert for en skyvekraft og trekraft langt over hva som er nødvendig, dette er gjort for å tåle en prøvelast på konstruksjonen, samt at dette vil ta høyde for feil i sikkerhetsventiler i hydraulikksystemet.

For å begrense sylinder til maks løft på 700kg, vil hydraulikksystemet bli utstyrt med trykkbegrensningsventiler som slipper ut olje hvis man overbelaster systemet. Dettw vil gi en ekstra sikkerhet for bruker[26,s.181].

6.3.4 Dimensjonering av sylinder 2

Kranen vil ha hydrauliske sylinder på hver bombjelken, sylinderen gjør mulig å justere avstanden ut til lasten. Sylinder vil som sveisen (se 6.2.4) vil bli påført store krefter når lasten er hengende rett over vertikale bjelke, og all kraft går gjennom sylinder. Velger å dimensjonere sylinder 2 for dette lasttilfellet.

Kraften gjennom en hydraulisk sylinder:

$$F_{sylinder} = \frac{11927,15 \text{ N}}{2} = \mathbf{5963,60 \text{ N}}$$

Beregning av nødvendig areal for sylinder etter kraft:

$$A_{nød} = \frac{F_{sylinder}}{P} \Rightarrow \frac{5963,60 \text{ N}}{20 \text{ MPa}} = \mathbf{298,15 \text{ mm}^2} \quad (21)$$

Fra vedlegg: V.14 hentes data for den aktuelle sylinder(HFR1250800):

$$d_{sylinder} = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

Sylinder areal:

$$A_{sylinder} = \frac{\pi}{4} \cdot 40^2 = \mathbf{1256,63 \text{ mm}^2}$$

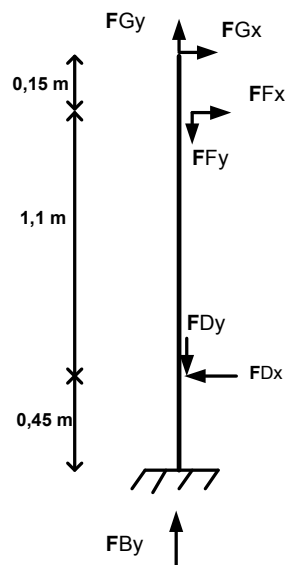
Skyvekraft for aktuelle sylinder:

$$F_{DE} = A_{\text{sylinder}} \cdot P \Rightarrow 1256,63 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ MPa} = \mathbf{25132,6 \text{ N}} \quad (21)$$

Aktuelle sylinder har skyvekraft langt over det nødvendige, men grunnet behov for lang slaglengde beholdes valgte sylinder.

6.4 Dimensjonering etter ulike lasttilfeller

6.4.1 Vertikal bjelke B-G



Figur 45: Krefter som påvirker vertikal bjelke B-G.

Etter kontroll av de to kritiske lasttilfellene i Ansys Classic (vedlegg V.09 og V.10), kommer det frem at lasttilfelle 1 gir størst bøyepenninger. Dett kan også enkelt forklares med at lasten for dette tilfellet henger lengre fra vertikale bjelke, noe som igjen gir et større bøyemoment. Velger derfor å beregne vertikal bjelke ut fra lasttilfelle 1.

Krefter i opplager G ved lasttilfelle 1:

$$F_{Gy} = \mathbf{32239,68 \text{ N}}$$

$$F_{Gx} = \mathbf{9163,82 \text{ N}}$$

Krefter i opplager F:

$$F_{EF} = 541,30 \text{ N} \Rightarrow$$

$$F_{Fx} = 541,30 \text{ N} \cdot \cos 39,95^\circ = \mathbf{414,96 \text{ N}}$$

$$F_{Fy} = 541,30 \text{ N} \cdot \sin 39,95^\circ = \mathbf{347,39 \text{ N}}$$

Krefter i opplager D:

$$F_{DE} = 39048,27 \text{ N} \Rightarrow$$

$$F_{Dx} = 39048,27 \text{ N} \cdot \sin 14,21^\circ = \mathbf{9585,43 \text{ N}}$$

$$F_{Dy} = 39048,27 \text{ N} \cdot \cos 14,21^\circ = \mathbf{37853,49 \text{ N}}$$

Likevekt i x-retning for:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow$$

$$F_{Gx} + F_{Fx} - F_{Dx} - F_{Bx} = 0 \Rightarrow$$

$$F_{Bx} = 9163,82 \text{ N} + 414,96 \text{ N} - 9585,43 \text{ N} = \mathbf{0 \text{ N}}$$

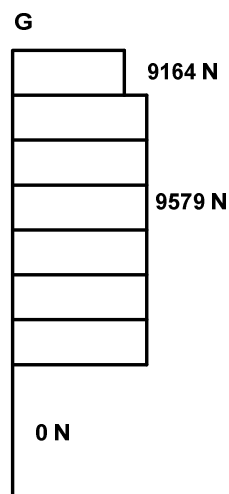
Likevekt i y-retning gir:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow$$

$$F_{Gy} - F_{Fy} - F_{Dy} + F_{By} = 0 \Rightarrow$$

$$F_{By} = 37853,49 \text{ N} + 347,39 \text{ N} - 32239,68 \text{ N} = \mathbf{5961,88 \text{ N}}$$

Skjærkraftdiagram



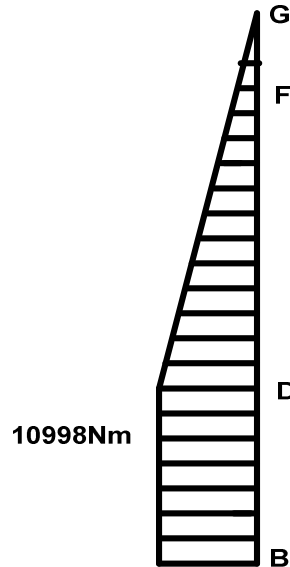
Figur 46: Skjærkraftdiagram for vertikal bjelke.

Momentdiagram for vertikal bjelke B-G:

$$M_{Bmax} = F_{Gx} \cdot 1,7 + F_{Fx} \cdot 1,55 - F_{Dx} \cdot 0,45 \Rightarrow$$

$$M_{max} = (9163,82 \text{ N} \cdot 1,7 \text{ m}) + (414,96 \cdot 1,55) - (9585,43 \cdot 0,45 \text{ m})$$

$$= \mathbf{11908,31 \text{ Nm}}$$



Figur 47: Momentdiagram for vertikal bjelke.

Nødvendig tverrsnittsmødul:

$$W_{nød} = \frac{11908,31 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{237 \text{ MPa}} = \mathbf{50,24 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^3} \quad (9)$$

Profilvalg

Ved valg av profil må det bli tatt hensyn til at vertikal bjelke B-G vil være leddet til bombjelke G-J i knutepunkt G. Profil for vertikal bjelke bør av den grunn ha lik utvendig bredde som profil for bombjelke. Velger her et profil som er overdimensjonert i forhold til nødvendig, dette for å kompensere for redusert tverrsnitt grunnet bolthull. Se vedlegg V.03.

Betegnelse: S355

Dimensjon: 120x50x6 mm (hulprofil)

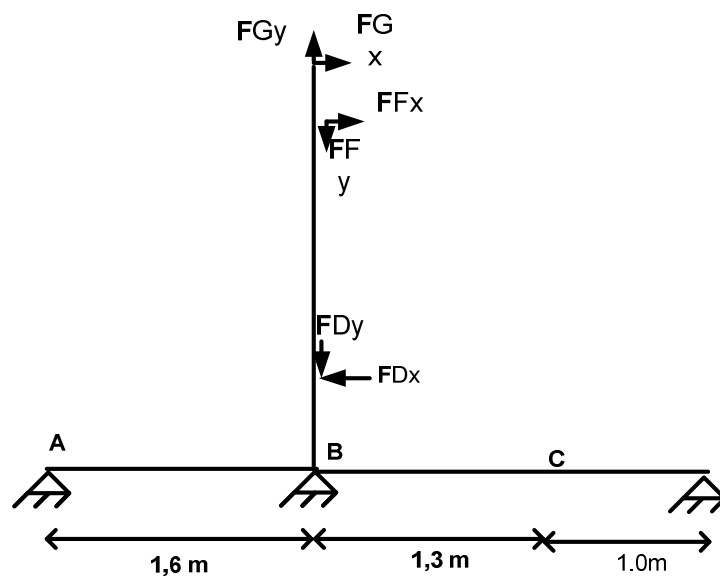
Tverrsnittsmødul: $\mathbf{53,52 \text{ mm}^3 \cdot 10^3}$

Vekt: 14,16 kg/m

6.4.2 Støttefot

Festelement i knutepunkt B har en komplisert utforming som er krevende å håndberegne. Av den grunn blir elementet kun beregnet i FEM- analyse programmet Ansys Workbench.

6.4.3 Ytre bunnprofil B-C

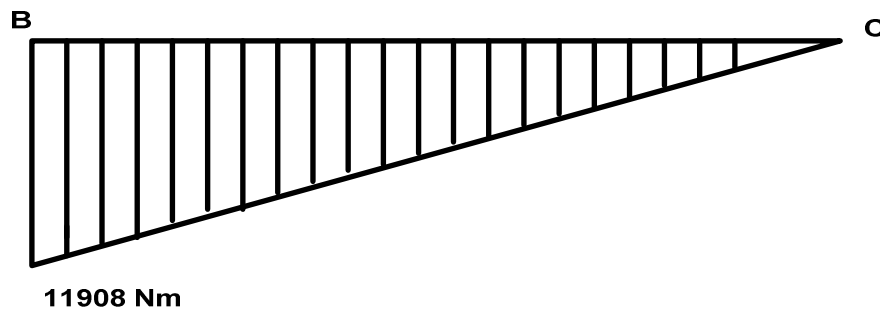


Dimensjonere profilene i bunnrammen for lasttilfelle 1, da dette gir størst belastninger på bunnrammen til kranen. Kranen skal bygges uten hjul eller støttebein. Det vil derfor ikke være noen faste opplagerpunkt mellom bunnramme og underlag. For å kunne gjøre beregninger ut fra verst tenkelig lasttilfelle betegnes det at kranen har opplagerpunkt i enden av bunnramme, samt under støttefot. Bjelke A-B er kun vist for illustrering av hvordan bunnrammen er tenkt å bli konstruert. Det er ikke gjort håndberegninger for denne bjelken.

Momentet som overføres fra vertikale bjelke G-B til ytre bunnprofil B-C:

$$M_B = 11908,31 \text{ Nm}$$

Momentdiagram:



Nødvendig tverrsnittsmodul:

$$W_{nød} = \frac{11908,31 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{237 \text{ MPa}} = 50,24 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^3 \quad (9)$$

Profilvalg

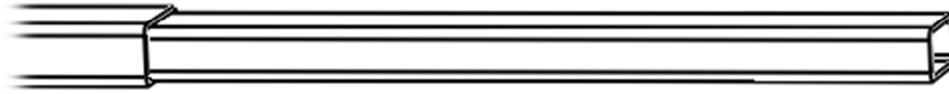
Ved valg av profil må det tas hensyn til at det skal brukes flere profiler i bunnrammen som skal skli i hverandre, dette for at kranen skal kunne flyttes som en mindre enhet. Ytre bunnprofil må derfor passe utenpå indre bunnprofil. I tillegg må det tas hensyn til at storsekker og traktorer skal kunne plasseres på profilene, et profil som bygger lav høyde er derfor ønskelig. Se vedlegg V.04

Betegnelse: S355J

Dimensjon: 140x70x6 mm (hulprofil)

Tverrsnittsmodul: **54,87 mm³ · 10³** (y-akse)

6.4.4 Indre bunnprofil etter lasttilfelle 1:



Figur 48: Indre bunnprofil.

Indre bunnprofil skal kunne trekkes ut av ytre bunnprofil. Setter avstand til 1000 mm for det uttrekkbare profilet. Totallengde for indre og ytre bunnprofil blir til sammen 2300mm Beregner momentene i overgangen mellom ytre og indre bunnprofil.

Beregning av reaksjonskraft i opplager C

$$F_{cy} = \frac{M_B}{2,3} = \frac{11908,31 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{2300 \text{ mm}} = 5177,52 \text{ N}$$

Momentet i overgang mellom indre og ytre bunnprofil:

$$M = F_{cy} \cdot 1000\text{mm} \Rightarrow$$

$$M = 5177,52 \text{ N} \cdot 1000 \text{ mm} = 5177,52 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$W_{n\ddot{o}d} = \frac{5177,52 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{237 \text{ MPa}} = 21,84 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^3 \quad (9)$$

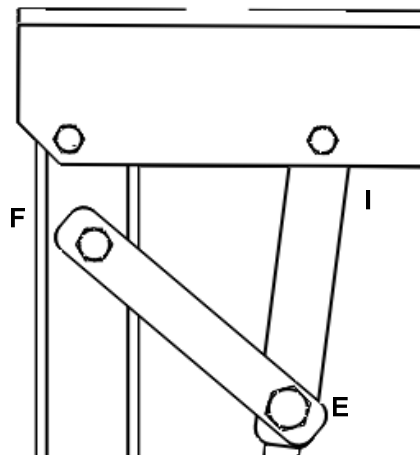
Profilvalg

Betegnelse: S355, se vedlegg V.03

Dimensjon: 120x50x6 mm (hulprofil)

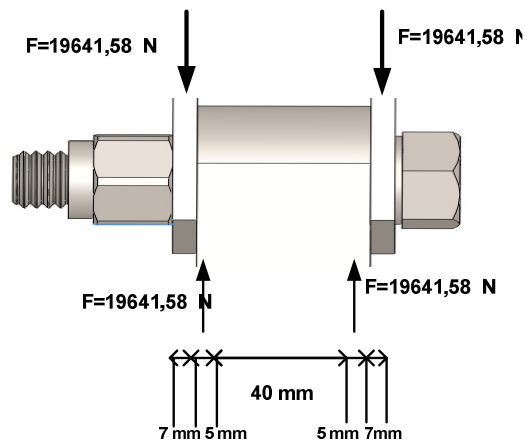
Tverrsnittsmodul: **30,24 mm³ · 10³**(om y-akse)

6.4.5 Komponenter i sammenføyningspunkt



Figur 49: Komponenter i sammenføyningspunkt I,E og F

6.4.5. Dimensjonering av bolt ved I:



Figur 50:Skrubolt som sammenfører svingarm E-I til festelement.

Bolten i punkt I sammenfører festelementet med svingarm E-I. Delene er bevegelige mot hverandre, det vil derfor oppstå bøyemoment i bolt. Kontrollerer dette ved lasttilfelle 1, da dette gir størst krefter på bolt.

Trykkraft i Svingarm E-I:

$$F_{EI} = 39283,16 \text{ N}$$

Maks bøyespenning i Bolt:

$$M_{maks} = -19641,58 \text{ N} \cdot (3,5 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 20 \text{ mm}) + 19641,50 \text{ N} \cdot (2,5 \text{ mm} + 20 \text{ mm}) = -117846,00 \text{ Nmm}$$

Beregner diameter for bolt etter tillatt spenning:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 117846,00 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 448 \text{ MPa}}} = 13,90 \text{ mm} \quad (22)$$

Velger **M20** bolt for å unngå store hulltrykkspenninger i profiler. Ikke nødvendig å kontrollere skjærspenning i bolt etter NS 5514.

6. 4.5.2 Kontroll av hulltrykkspenninger ved I

Svingarm E-I består av profiler med 5 mm vekktykkelse. Velger å kontrollere hulltrykkspenninger i bolthull ved lasttilfelle da de kan være kritiske for konstruksjonen.

$$\sigma_h = \frac{F_{EI}}{2(d-t)} = \frac{39283,16 \text{ N}}{2(20 \text{ mm} - 5 \text{ mm})} = 196,41 \text{ MPa} \quad (23)$$

Etter NS 5514 må ikke hullspenning σ_n overstige [19,s.24]:

$$\sigma_h < 1,5 \sigma_a \Rightarrow$$

$$196,41 < 1,5 \cdot 237 \text{ MPa} \Rightarrow \text{ok}$$

6.4.5.2 Forankringslende ved bolthull I

Lasttilfelle 2 gir strekk i svingarm E-I, dette gir skjærspenninger i bakkant av bolthull. Effektiv forankringslengde bak bolthull settes til 25 mm, kontrollerer så skjærspenninger for å kontrollere av forankringslenden er akseptabel.

Strekraft i svingarm E-I

$$F_{EI} = 33145,32 \text{ N}$$

Skjærspenninger:

$$\tau = \frac{V}{2 \cdot l_{eff} \cdot t} = \frac{33145,32 \text{ N}}{2 \cdot 25 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}} = \mathbf{132,58 \text{ MPa}} \quad (24)$$

Tillatt skjærspenning materiale etter NS 5514:

$$\tau_{till} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} = \frac{237 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 137 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$\tau < \tau_{till} \rightarrow \mathbf{ok}$$

6.4.5.3 Strekkspenninger i siden ved bolthull I

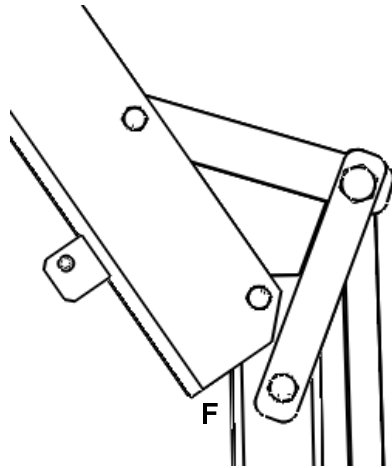
Hulprofilet har en utvendig bredde på 50mm. Bruker denne bredde til å kontrollere om strekkspenning i profilets vegger er under flytegrense ved lasttilfelle 2.

Spenninger i sidene av bolthull:

$$\sigma_{maks} = \frac{F}{2((b-d) \cdot t)} = \frac{33145,32 \text{ N}}{2 \cdot ((60 \text{ mm} - 20 \text{ mm}) \cdot 5 \text{ mm})} = \mathbf{82,86 \text{ MPa}} \quad (25)$$

$$\sigma_{maks} < \sigma_a = 237 \text{ MPa} \rightarrow \mathbf{ok}$$

6.4.6 Spenninger i sammenføyningspunkt F



Figur 51: Sammenføyningspunkt F.

Svingarm E-F påføres store trykkrefter ved lasttilfelle 2. Kreften videreføres fra svingarm til knutepunkt F, i dette punktet er det festet en bolt som svingarm E-F kan dreies rundt. Siden svingarmen skal dreies rundt profilet vil det være en liten klaring mellom vertikale bjelke og svingarm og det bør derfor beregnes bøyemoment i bolt. Beregningen nedenfor er gjort ved lasttilfelle 2, da dette tilfellet gir størst belastning på sammenføyningspunkt F.

6.4.6.1 Dimensjonering av bolt i punkt F

Trykkraft i Svingarm E-I:

$$F_{EI} = 74075,34 \text{ N}$$

Maks bøyespenning i Bolt:

$$M_{maks} = -37037,58 \text{ N} \cdot (5 \text{ mm} + 6 \text{ mm} + 19 \text{ mm}) + 37037,58 \text{ N} \cdot (3 \text{ mm} + 19 \text{ mm}) = -703715,00 \text{ Nmm}$$

Nødvendig diameter for bolt ved maks bøyespenning.

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 703715,00 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 448 \text{ MPa}}} = 25,19 \text{ mm} \quad (22)$$

Velger i knutepunkt F M28 bolt

6.4.6.2 Hulltrykkspenning ved knutepunkt F:

$$\sigma_h = \frac{F_{EI}}{2(d \cdot t)} = \frac{74075,34N}{2(28 \text{ mm} \cdot 6\text{mm})} = 220,46 \text{ MPa} \quad (23)$$

Etter NS 5514 må ikke flattrykket σ_n på hullsiden overstige:

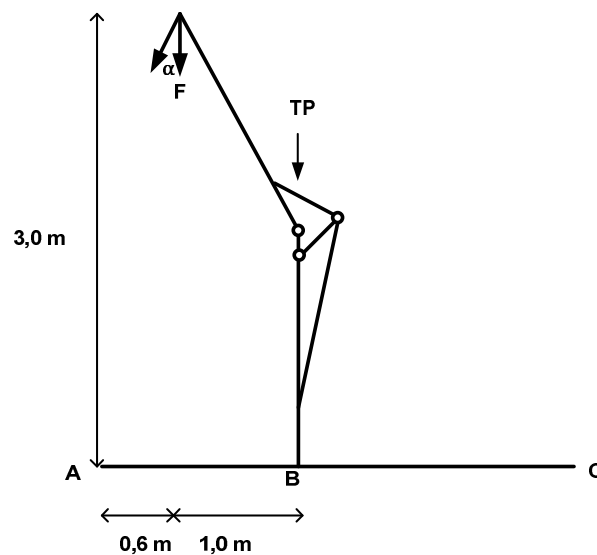
$$\sigma_n < 1,5 \sigma_a \Rightarrow$$

$$220,46 \text{ MPa} < 1,5 \cdot 237 \text{ MPa} \Rightarrow \text{ok}$$

6.5 Stabilitet mot velting

Etter maskinforskriftene bør en kran være tilstrekkelig stabil til et normalt bruk. Det er i beregningen tatt hensyn til dette ved å konstruere en stor bunnramme som befinner seg på utsiden av last angrepspunkt. Ved normalt bruk, der lasten henger vertikalt vil det bety at kranen ikke kan velte. Derimot kan kranen velte ved store horisontale krefter.

6.5.1 Velt fremover:



Figur 52: Kran sett fra siden med belastning fra skrå last.

Velger å kontrollere stabiliteten ved et kritisk lasttilfelle som kan forekomme når man svinger storsekken fremover. Dette blir gjort for å få en jevn fordeling av mineralgjødsel i beholder på såmaskin eller kunstgjødselspreder. Vinkelen α mellom vertikalplanet og kraften F settes til 10 grader ved dette lasttilfellet. Dersom kranen vil velte, vil omdreining foregå om opplager A.

Lasten F er fra tidligere fastsatt til:

$$F = 1215,82 \text{ kg} \cdot 9,18 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{11927,19 \text{ N}}$$

Egentyngden for kranen:

$$TP = 300 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{2943,00 \text{ N}}$$

Krefter i x-retning:

$$F_x = 11927,19 \text{ N} \cdot \sin 10 = \mathbf{2069,71 \text{ N}}$$

Krefter i y-retning:

$$F_y = 11927,19 \text{ N} \cdot \cos 10 = \mathbf{11737,92 \text{ N}}$$

Beregner stabiliseringsmomentet M_s om punkt A:

$$M_s = 2943,00 \text{ N} \cdot 1,6 \text{ m} + 11737,92 \text{ N} \cdot 0,6 = \mathbf{11751,35 \text{ Nm}}$$

Beregner veltemomentet M_v om punkt A:

$$M_v = 2069,71 \text{ N} \cdot 3,0 \text{ m} = \mathbf{6209,13 \text{ Nm}}$$

Sikkerheten mot velting i konstruksjonen:

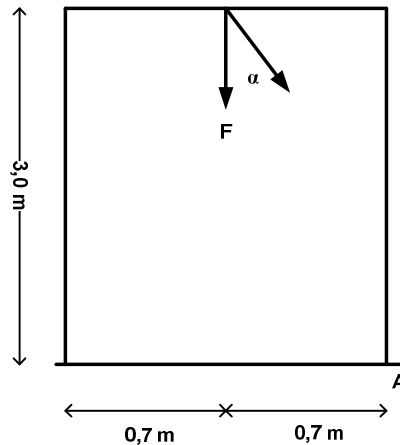
$$S_v = \frac{M_s}{M_v} = \frac{11751,35 \text{ Nm}}{6209,13 \text{ Nm}} = 1,89 \quad (26)$$

Stabilitetskrav etter NS 5514[19,s.30]:

$$S_K = 1,6$$

$$S_v > S_K \Rightarrow \mathbf{ok}$$

6.5.2 Velt sideveis:



Figur 53:Kran sett fra siden med belastning fra skrå last.

Kontrollere også kranen mot velt sideveis, da det kan oppstå tilfeller der man ønsker å svinge storsekken sideveis for en jevnere fordeling av emnet i som er storsekker. Vinkelen mellom vertikalplanet og lasten settes til 10 grader.

Krefter i x-retning:

$$F_x = 11919,15 \text{ N} \cdot \sin 10 = \mathbf{2069,71 \text{ N}}$$

Krefter i y-retning:

$$F_y = 11919,15 \text{ N} \cdot \cos 10 = \mathbf{11737,92 \text{ N}}$$

Beregner stabiliseringsmomentet M_s om punkt A:

$$M_s = 2943,00 \text{ N} \cdot 0,7 \text{ m} + 11737,92 \text{ N} \cdot 0,7 = \mathbf{10277,40 \text{ Nm}}$$

Beregner veltemomentet M_v om punkt A:

$$M_v = 2068,71 \text{ N} \cdot 3,0 \text{ m} = \mathbf{6209,13 \text{ Nm}}$$

Sikkerheten mot velting i konstruksjonen:

$$S_v = \frac{M_s}{M_v} = \frac{10277,40 \text{ Nm}}{6209,13 \text{ Nm}} = 1,66 \quad (26)$$

$$S_v > S_K \Rightarrow \mathbf{ok}$$

6.6 Dynamiske påkjenninger

De dynamiske beregningene av kranen vil bli gjort etter standarden NS 3472 som omhandler prosjektering av stålkonstruksjoner. NS 5514 har også en metode for beregning av utmatting, men denne virker tungvint, med mange ulike faktorer som spiller inn på resultatet. Etter samtale med senioringeniør Egil Stemsrud på UMB, ble det derfor enighet om å anvende NS 3472 med Miner Palmgrens metode for beregning av utmatting.

Ved bruk vil kranen bli utsatt for dynamiske sprekkevekster i felter hvor de største statiske belastningene oppstår. I beregningene for statisk belastning har det blitt funnet store spenninger knutepunktet I som sammenfører svingarm E-I med festelement for bombjelke G-J. Spesielt utsatt er svingarm E-I, da den vil bli påført trykkspenninger under lasttilfelle 1, og strekkspenninger ved lasttilfelle 2. Dette gir vekslende spenninger som kan være kritisk med tanke på utmatting.

Maskinforskriftene anbefaler en dynamisk lastfaktor på 1.1. Bruksmønsteret for kranen vil være svært variabelt etter hvordan behov bruker har. Tilkomsten for kontroll av sprekkevekster er også svært varierende på kranen. Velger derfor å dimensjonere konservativt med en dynamisk lastfaktor på **1.2**.

Tabellen nedenfor viser 2 belastningstilfeller som vil bli brukt videre i beregningene. Siden kranen har to identiske løftebommer kan lasten divideres på to og man beregner kun en av løftebommene.

Tabell 17: Belastningstilfeller.

Belastningstilfelle	Belastning	F (ink. 1,2)	$F_D = (F/2)$	Beskrivelse
1	600 kg	7063,2 N	3531,60 N	Løft av standard storsekker
2	700 kg	8240,4 N	4120,2 N	Løft av store storsekker.

Beregner trykkrefter F_{EI} i svingarm E-I ved *lasttilfelle 1*. Beregningen er gjort etter lik metode som for statiske belastninger i kapittel (6.2.2), men her multipliseres lasten med en dynamisk lastfaktor F_D som er fastsatt ut fra tabell ovenfor. Dimensjonerende lastfaktor som benyttes i statiske beregninger er ikke med i dynamiske beregninger.

Belastningstilfelle 1:

$$F_{EI1} = \frac{2 \cdot 3531,60 \text{ N}}{(\sin 76,51) \cdot 0,3 \text{ m} + \cos(76,51) \cdot 0,05 \text{ m}} = 23281,15 \text{ N}$$

Belastningstilfelle 2:

$$F_{EI2} = \frac{2 \cdot 4120,20 \text{ N}}{(\sin 76,51) \cdot 0,3 \text{ m} + \cos(76,51) \cdot 0,05 \text{ m}} = 27146,17 \text{ N}$$

Som det er nevnt i innledningen er det antatt at bolthullet i knutepunkt I vil være mest utsatt for utmatting. Fra NS 3472 er det krav om at brutto tverrsnittareal skal benyttes ved spenningsberegninger av skrudde forbindelser. Velger å beregne strekk og trykkspenningen som opptrer rundt bolthullet, da disse spenningene kan være kritiske i forhold til utmatting.

Trykkspenning i for belastningstilfelle 1:

$$\sigma_1 = \frac{F_{EI1}}{2(b-d) \cdot t} = \frac{23281,15 \text{ N}}{2(60-20)5} = \mathbf{58,20 \text{ MPa}} \quad (25)$$

Hvor:

d er bolthullets diameter,

t er veggtykkelsen og

b er bredden på flattstålet.

Trykkspenning for belastningstilfelle 2:

$$\sigma_2 = \frac{F_{EI2}t}{2(b-d)t} = \frac{27146,17 \text{ N}}{2(60-20)5} = \mathbf{67,87 \text{ MPa}} \quad (25)$$

Lasttilfelle 2 gir strekk i svingarm E-I. Beregner kreftene i svingarmen etter lik formel som i kapittel 6.3.1.

Belastningstilfelle 1:

$$F_{EI1} = \frac{3531,60 \text{ N}}{(\sin 30,60) \cdot 0,12 \text{ m} - (\cos 30,60) \cdot 0,28 \text{ m}} = 19628,41 \text{ N}$$

Belastningstilfelle 2:

$$F_{EI2} = \frac{4120,20 \text{ N}}{(\sin 30,60) \cdot 0,12 \text{ m} - (\cos 30,60) \cdot 0,28 \text{ m}} = 22898,71 \text{ N}$$

Strekkspenning for belastningstilfelle 1:

$$\sigma_1 = \frac{F_{EI1}}{2(b-d)t} = \frac{19628,41 \text{ N}}{2(60-20)5} = \mathbf{49,25 \text{ MPa}} \quad (25)$$

Strekkspenning for belastningstilfelle 2:

$$\sigma_2 = \frac{F_{EI2}}{2(b-d)t} = \frac{22898,71 \text{ N}}{2(60-20)5} = \mathbf{57,24 \text{ MPa}} \quad (25)$$

Spenningsvidde for belastningstilfelle 1:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_1 + \sigma_1 \Rightarrow \quad (29)$$

$$\Delta\sigma_1 = 58,20 \text{ MPa} + 49,25 \text{ MPa} = 107,45 \text{ MPa}$$

Spenningsvidde for belastningstilfelle 2:

$$\Delta\sigma_2 = \sigma_2 + \sigma_2 \Rightarrow \quad (29)$$

$$\Delta\sigma_2 = 67,87 \text{ MPa} + 57,24 \text{ MPa} = 125,11 \text{ MPa}$$

Videre brukes standarden NS 3472, velger fra denne **tabell A.2, kurveklasse C1** som omhandler enkelt snittede forbindelser uten avstivning[27,s.93]. Tykkelsen på stålet er fra tidligere satt til 5mm, dette er under den fastsatte t_{ref} , og derfor ikke nødvendig å ta hensyn til tykkelseeffekter i beregningene. For å ivareta virkningen av tverrsnitts endringer grunnet bolthull, innføres spenningskonsentrasjonsfaktoren (SCF). Faktoren hentes fra vedlegg V.11. For å finne riktig tall fra kurve divideres profilets bredde på huldiameter[28,s.70]

SCF faktor:

$$SCF = \frac{20}{60} = 0,33 \Rightarrow 2,4$$

Spenningsvidde for belastningstilfelle 1 inklusive SCF:

$$\Delta\sigma_{G1} = SCF \cdot \Delta\sigma_1 \Rightarrow$$

$$\Delta\sigma_{G1} = 2,4 \cdot 107,45 = \mathbf{257,88 \text{ MPa}}$$

Spenningsvidde for belastningstilfelle 2 inklusive SCF:

$$\Delta\sigma_{G2} = SCF \cdot \Delta\sigma_2 \Rightarrow$$

$$\Delta\sigma_{G2} = 2,4 \cdot 125,11 = \mathbf{300,26 MPa}$$

Fra vedlegg V.12 hentes utmattingsparametre

Sykler under 10^7 :

$$N \leq 10^7 \rightarrow C = 10^{12,449}$$

$$N = 2,811 \cdot 10^{12} \cdot \Delta\sigma^{-3} \quad (27)$$

Sykler over 10^7 :

$$N \geq 10^7 \rightarrow C = 10^{16,081}$$

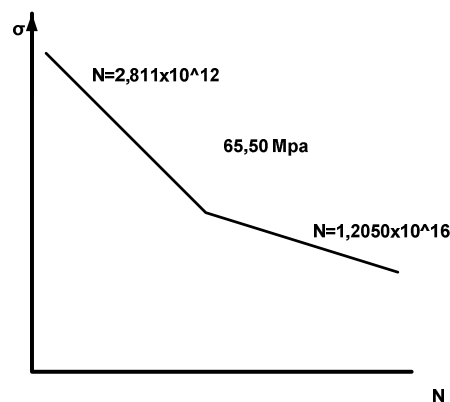
$$N = 1,2050 \cdot 10^{16} \cdot \Delta\sigma^{-5} \quad (27)$$

Beregner videre $\Delta\sigma$ når $N=10^7$ ved bruk av formel:

$$\Delta\sigma = \left(\frac{a}{N}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (30)$$

$$\Delta\sigma = \left(\frac{2,811 \cdot 10^{12}}{10^7}\right)^{\frac{1}{3}} = 65,50 MPa$$

$$\Delta\sigma = \left(\frac{1,2050 \cdot 10^{16}}{10^7}\right)^{\frac{1}{5}} = 65,50 MPa$$



Figur 54: S-N kurve

Utregning av antall sykler:

$$N_1 = 2,811 \cdot 10^{12} \cdot \Delta\sigma_{G1} \quad (27)$$

$$N_1 = 2,811 \cdot 10^{12} \cdot 257,68^{-3} = \mathbf{163649 \text{ sykler}}$$

$$N_2 = 2,811 \cdot 10^{12} \cdot \Delta\sigma_{G2} \quad (27)$$

$$N_2 = 2,811 \cdot 10^{12} \cdot 300,26^{-3} = \mathbf{106666 \text{ sykler}}$$

Tabellen under viser en oppsummering av spenningen ved hvert av belastningstilfellene. Det er også vist et tenkt antall løft (n_i) som kranen kan bli utsatt for i løpet av et år. Dette antallet blir brukt for å beregne totale levetid for kranen. Som det er nevnt tidligere vil bruksmønsteret for kranen variere stort. Noen kun vil bruke kranen i korte hektiske perioder, mens andre bruker den til ulike løfte hele året. Velger å dimensjonere konservativ med et bruksmønster over gjennomsnittlig bruk.

Tabell 18: Tabell over spenninger, sykler og et tenkt antall løft.

I	Belastningstilfelle 1 (600 kg)	Belastningstilfelle 2 (700 kg)
σ_a (MPa)	257,68	300,26
n_i	700	500
N_i	163649	106666

$$x \left(\frac{700}{163649} + \frac{500}{106666} \right) = 1 \Rightarrow 111 \text{ år} \quad (28)$$

Kranen vil etter de dynamiske belastningene ha en holdbarhet langt over det nødvendige. For kransystemet anbefales en årlig sikkerhetskontroll, der man ser er sprekkvekster rund bolthull og sveiser osv.

7 ELEMENT OG LØSININGSVALG

Elementene er i dette kapittelet blir designet og utformet etter resultater fra grunnlagsberegninger. I delkapittelet nedenfor beskrives de komponenter som skal tilvirkes selv. Vider vil det i kapittel 7.2 beskrives innkjøpte komponenter for kransystemet.

7.1 Hovedkomponenter

Sirkulær tverrbjelke



Tverrbjelken består av standard massive rundprofil i konstruksjonsstål S355 med diameter lik 60 mm. I senter av bjelken er det sveist fast to skiver som holder løftehylse i riktig posisjon. I hver ende av bjelken er det boret gjennomgående bolthull med diameter 10 mm. I hullene skal det festes låsebolter som gjør at tverrbjelken låses fast til bombjelken. Ved opplagring, eller flytting av kranen kan låseboltene fjernes og tverrbjelke kan tas vekk fra konstruksjonen.

Bombjelke, festeelement og innfesting tverrbjelke



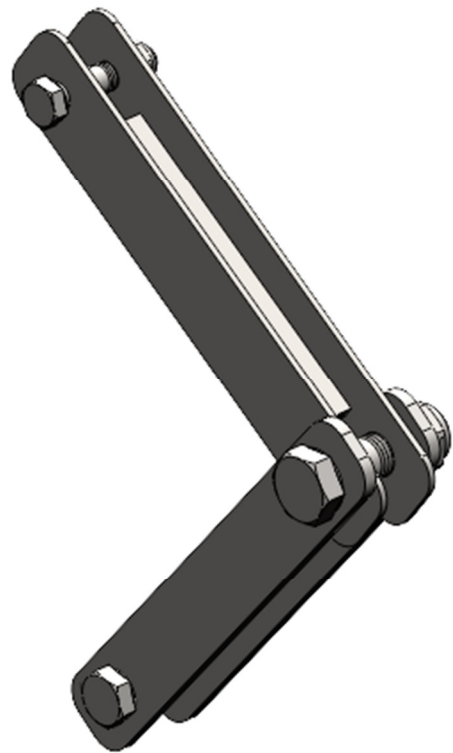
Bombejelken består av standard hulprofil i stål med dimensjon 100x50x5. For å oppnå tilstrekkelig tverrsnittsmodul i kritiske områder på bjelken er det sveist faste et festelement på utsiden av hulprofilet. Festelementet består av en plate med tykkelse 7 mm, som er knekt for å passe yttersiden. På oversiden av festetelementet sveies det en brakett som forbinder sylindere 2 til festetelementet (vises ikke på bide). Videre er det boret to bolthull i festelementet, disse forbinder elementet til vertikale bjelke og svingarm E-I.

For å kunne justere posisjonen til lasten vil det i øvre del av bombjelken være en innfesting som sklir på bombejelken. Løfteanordningen består av flere plater med tykkelse 5 mm. Platene er i kantene sveist sammen slik at elementet får en form som et rektangel. Under elmenetet er det festet en 10mm tykk plate med hull. Gjennom dette hullet trees den sirkulære tverrbjelken. I øvre del av løfteanordningen er det boret hull slik at sylindere 2 kan forbindes til løfteanordningen. For at innfestingen skal kunne skli lett på bombjelken bør det smøres med fett rundt kontaktpunkter.

Svingarm E-I og E-F

Svingarm E-I består av to flattstål (s355) med tykkelse 4mm, samt en avstivende plate med tykkelse 15 mm. Den avstivende platen er sveist mellom flattstålene, og er med på å gi svingarm E-I en bedre mostand mot knekking. I øvre del av svingarmen er det bolthull med diameter 20 mm som sammenfører festeelement til svingarm. I nedre del av svingarm er det boret 31 mm hull, diameteren er her fastsatt etter dimensjon på festøyet til sylindere.

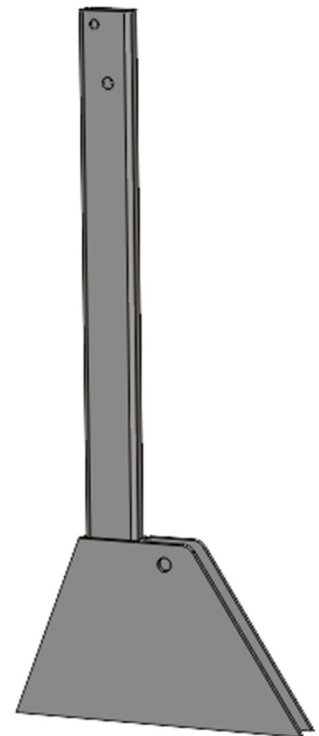
Svingarm E-F er utformet med to flattstål med tykkelse 10 mm. Det er for dette elementet ikke behov for avstivende plate mellom flattstålene, da tykkelsen for elementene er beregnet til å være god nok mot knekking. Bolthullet som forbinder svingarm til vertikale bjelke er beregnet 28 mm.



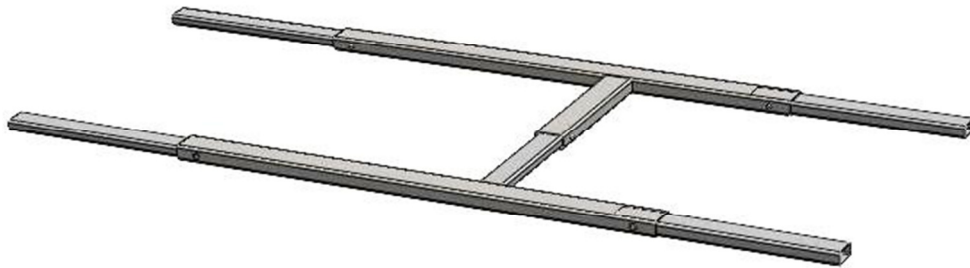
Vertikal bjelke med støttefot

Kranene har to vertikale bjelker bestående av hulprofil i konstruksjonsstål s355 med dimensjon 120x50x6. Det øverste bolthullet med diameter 20 mm fungerer som et rotasjonspunkt for festelementet til bombjelken. Like nedenfor rotasjonspunktet er det et bolthull (28 mm) som svingarm E-F kan rotere om.

For å unngå store spenninger i knutepunktet mellom vertikale bjelke og bunnramme, er det utformet en støttefot bestående av 2 sideplater med tykkelse 12mm, samt to mindre plater (12mm). Alle komponentene i støttefoten er sveist sammen slik at den dannes et rektangulært hulprofil som støtter den vertikale bjelken. Det er valgt å lage bolthull (31mm) til sylindere i sideplatene, da det ved lasttilfelle 2 oppstår store strekkrefter i sylindere som igjen krever solid opplagring.



Bunnramme



Bunnrammen består av totalt 5 ulike bunnbjelker i konstruksjonsstål med flytegrense 355 MPa. Det er valgt å bruke brede profiler med lav høyde, for dermed oppfylle kravet om at storsekker og redskap skal kunne plasseres på profilene uten å ta skade. Brede profiler gir også en stor bæreflate, noe som er viktig på ustabil underlag. Ytre hulprofil har dimensjonene (140x70x6mm), dette profilet tres på yttersiden av indre bunnprofil for langside og kortside (120x50x6mm). Bunnrammen kan da skyves sammen ved opplagring eller transport. Tverrbjelkene i bunnrammen kan også skyves sammen, gjeldene profiler i tverrbjelken er (140x70x6mm) og (120x50x6mm).

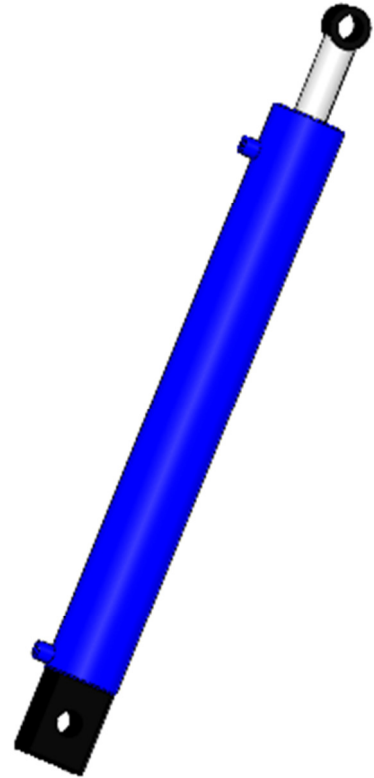
Bunnrammen forbindes til støttefot og vertikale bjelke ved bruk av sveis.

Profilene i bunnrammen holdes i posisjon ved hjelp av låsebolter i enden av hvert profil.

7.2 Delkomponenter

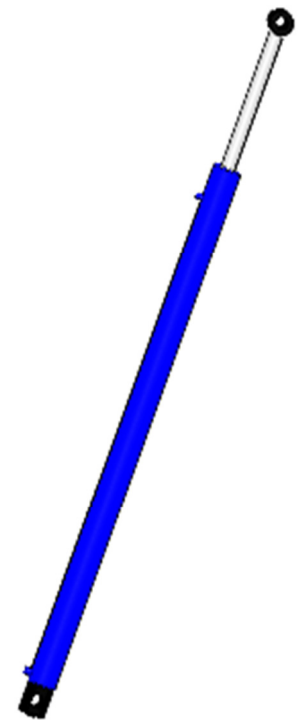
Hydrauliske sylinder 1

Som nevnt tidligere vil kranen benytte to hydrauliske sylindere under løft av last. De to identiske sylindere vil operere hver bombjelke på kranen, og vil være festet i støttefot samt svingarm e-f og e-i. Fra grunnlagberegninger det blitt fastsatt hvilke krefter som virker inn på sylindere, og på grunnlag av dette har det blitt dimensjonert størrelse. Aktuelle sylindere har blitt hentet fra Hydra Comp internettkatalog. Sylindere har en skyvekraft på 100530 N og trekkraft på 75398 N, dette er over nødvendig kraft for kransystemet, det bør av den grunn monteres trykkbegrensingsventil i det hydrauliske systemet slik at kraften til sylindere begrense til det nødvendige. For videre informasjon vedrørende sylindere, se vedlegg V.13.



Hydrauliske sylinder 2

Avstanden mellom lasten og de vertikale bjelkene kan justeres på kranen. For justering av last benyttes to hydrauliske sylindere, som er festet på oversiden av hver bombjelke. Fra grunnlagberegningene det blitt fastsatt hvilke krefter som virker inn på sylindere, på grunnlag av dette har det blitt dimensjonert størrelse.. Aktuelle sylindere har blitte hentet fra Hydra Comp internettkatalog. For detaljert informasjon om aktuelle sylindere, se vedlegg V.14.



Løftekrok

Løftekrok er hentet fra Gunnebo industri sin internettkatalog, se vedlegg V.16. Løfteøyet på storsekk er forholdsvis tykt, det er derfor viktig å velge en krok med stor dimensjoner slik at man lett kan tre løfteøyet på krok. Utvalgte løftekrok fra Gunnebo har løftekapasiteten på 2,5 tonn, er dreibar og har avstand på 37 mm i gapet. Denne avstanden anses som tilstrekkelig for å kunne tre løfteøyet på krok.



Løftekjetting

Ved å benytte kjetting mellom løftekrok og sirkulær tverrbjelke kan storsekker plasseres vilkårlig innenfor bunnrammen uten å være avhengig av å treffe den nøyaktige posisjon til løftekrok. Kjettingen gjør det også enklere å fordele innholdet i storsekken da lasten enkelt kan svinges fra side til side. Vedlagt følger aktuell kjetting fra Gunnebo industris internettkatalog, se vedlegg V.17. Det bør benyttes sjakkel mellom kjetting og løftekrok, da komponentene ikke har åpning som gjør det mulig å feste de direkte til hverandre. (Valg av sjakkel spesifiseres ikke i denne rapporten).



Diverse festemateriell

Bolter og diverse festemateriell kjøpes som standard hyllevare i syrefast stål. I grunnlagsberegningene er det blitt dimensjonert med fasthetsklasse 80, alle bolter skal minimum ha den styrken.

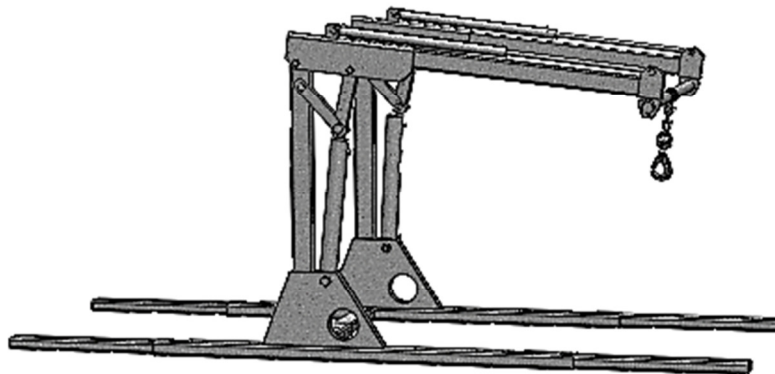
8 STRUKTUROPTIMERING

FEM-analysen ble foretatt i Ansys Workbench 12, der hovedkomponentene ble lastet inn fra SolidWorks og påført krefter, samt opplager for å simulere det mest kritiske lasttilfellet. Resultatene fra grunnlagsberegninger vil bli brukt for å fastsette hvilke laster som er gjeldende, samt hvilke av lasttilfelle 1 og 2 som ville være mest kritisk for komponentene. For vertikal bjelke B-G, støttestof, samt indre og ytre bunnprofil er det simulert både for lasttilfelle 1 og 2, da de ulike lasttilfellene gir forskjellige belastninger. Materiale for kranen er satt til standard konstruksjonsstål s355 med e-modul lik 210000 MPa.

Kranen har en komplisert struktur med mange knutepunkter og kontaktflater, dette gjør det vanskelig å simulere hele kranen i en behandling. I tillegg vil man ved en behandling fort overstige grensen for antall noder og mesh, da det i simuleringen benyttes studentversjonen av AnsysWorkbench. Av den grunn deles kranen opp i flere elementer som simuleres separat, dette vil gi en mer eksakt simulering samt at man unngår feiltolkning av kontaktflater osv.

Det er ikke gjort simulering for den sirkulære tverrbjelke I-J som holder løftekroken, da dette er en forholdsvis enkel komponent som undertegnede anses som riktig dimensjonert fra grunnlagsberegninger. Det er også sett bort fra innfesting mellom bombjelke og sirkulære tverrbjelke, svingarm E-I, og tverrbjelke i bunnramme. Da det har vært begrenset med tid.

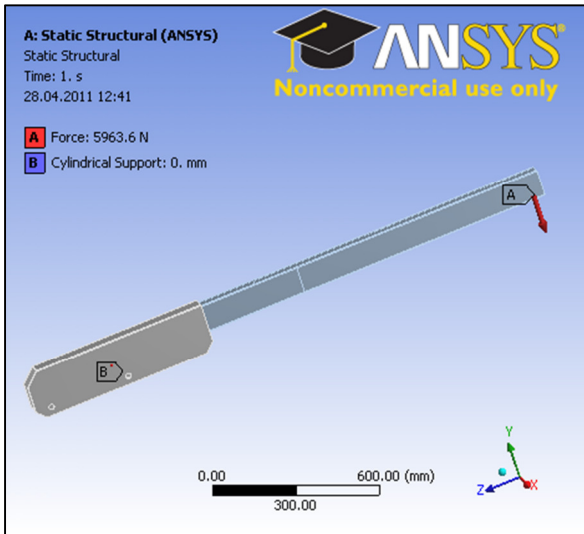
8.1 Simulering av lasttilfelle 1



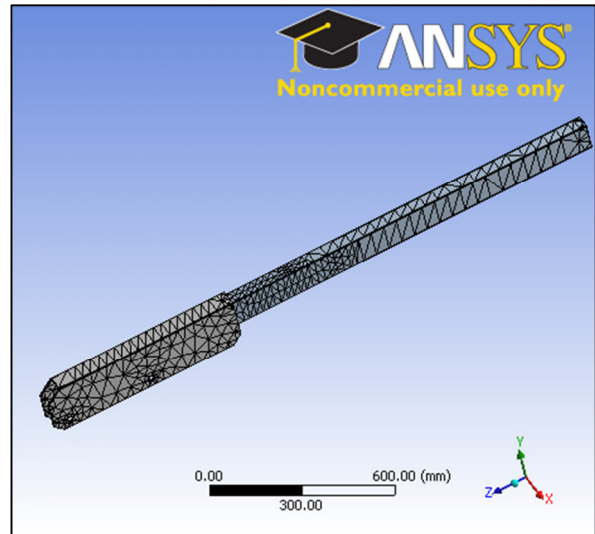
Figur 55: Lasttilfelle 1

Det vil i simuleringen bli bruk same lasttilfeller som for håndberegningen. Første del av simuleringen gjengir derfor lasttilfelle 1

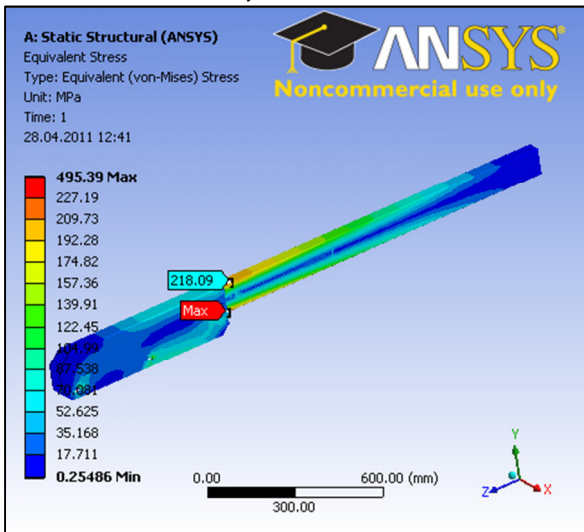
8.1.1 Bombjelke G-J og festeelement:



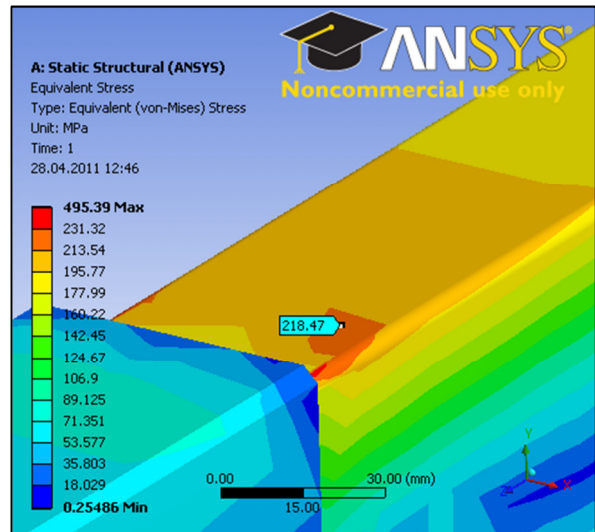
Figur 56: Bombjelke belastet med vertikallast 5963,6 N.



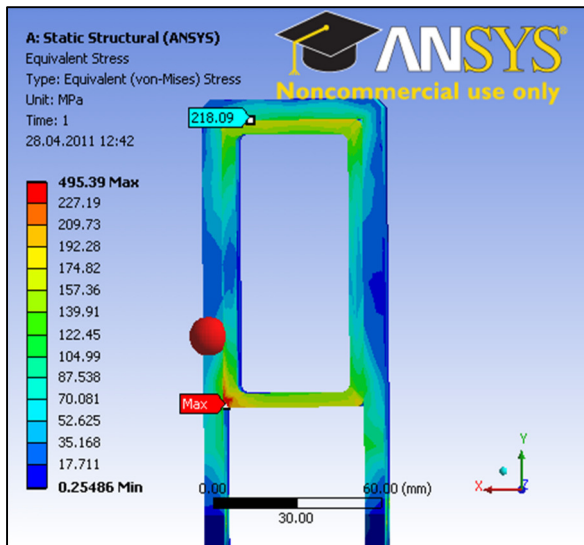
Figur 57: Meshing av bombjelke.



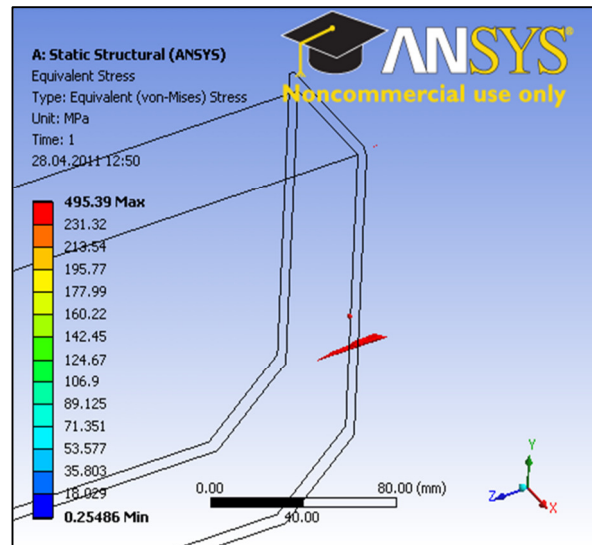
Figur 58: Spenningsplott i bombjelke.



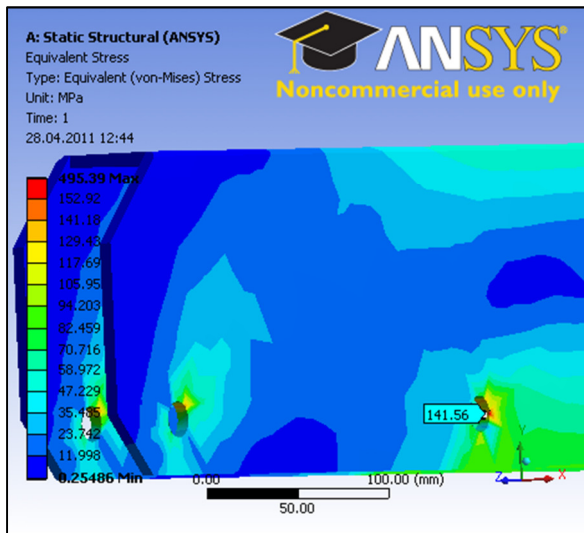
Figur 59: Nærbilde av spenninger i bombjelke.



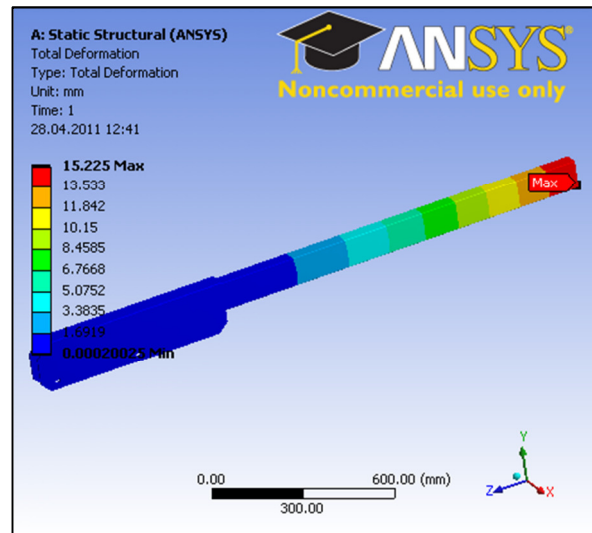
Figur 60: Lokale spenningstopper i bomprofil.



Figur 61: Røde felter viser lokale spenningstopper som overstiger den tillatt spenning lik 237 MPa.



Figur 62: Spenninger rundt bolthull i festelement.



Figur 63: Nedbøyning i bombjelke G-J.

Figur 56: Ved kritisk lasttilfelle 1 vil bombjelke bli belastet med vertikal punklast lik 5963,5 N. Bolthull G og I holder fast bommen, de har i Workbench blitt simulert med opplager; *cylindrical support* med fri rotasjon i tangential retning. I smuleringen er bombjelke og festelement fast innspent til hverandre, dette tilnærmet slik det vil være i virkelighet med bruk av sveis som festemateriell.

Figur 57: Meshing med fint mesh (*tetrahedrons*) i kritiske områder på konstruksjonen

Figur 58 og 59: Spenningsbilde ved lasttilfelle 1. Lokal speningstopp opptrer i overfalten mellom bombjelke og festeelement. Spenningen på 218 MPa i bombjelken stemmer overens med håndberegninger gjort tidligere.

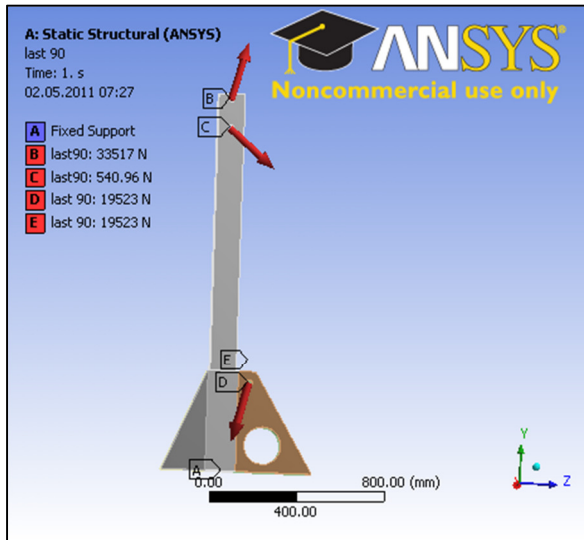
Figur 60 og 61: Lokale spenningstopper i overflaten av hulprofil, disse er ikke kritiske, kan derfor neglisjeres.

Figur 62: Ser at de lokale høye spenninger rundt bolthull E på festeelement ikke over tillatt hulltrykkspenning i bolthull

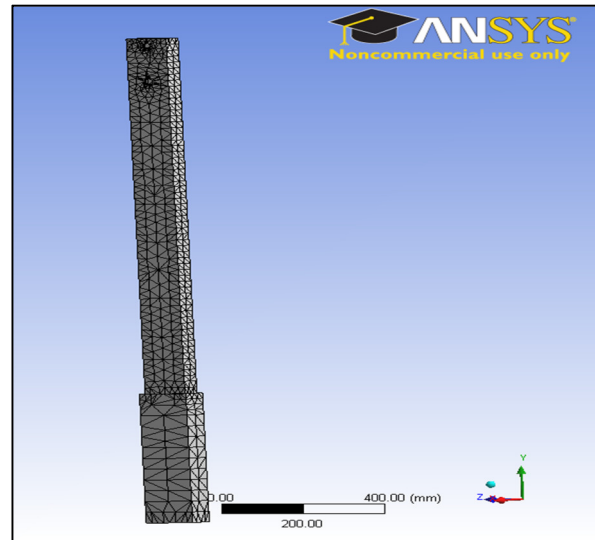
Figur 63: Lasttilfelle gir en maksimal nedbøyning på 15,22 mm ytterst på bombjelke. Undertegnede regner dette som godkjent da det i simuleringen og grunnlagsberegninger blir brukt en dimensjonerende last som er godt over hva den i realiteten vil løfte under alminnelig bruk.

Konklusjon: Simueringen i Ansys Workbench viser at bombjelke, samt festeelement kan bli godkjent for lasttilfelle 1 som vil være det mest kritiske for komponenten.

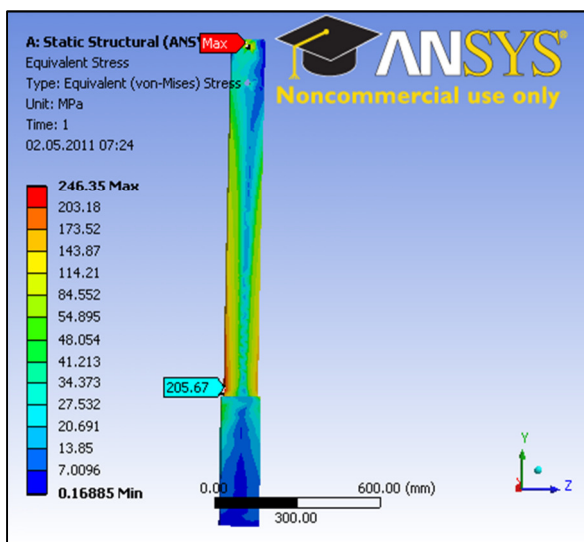
8.1.2 Vertikal bjelke B-G



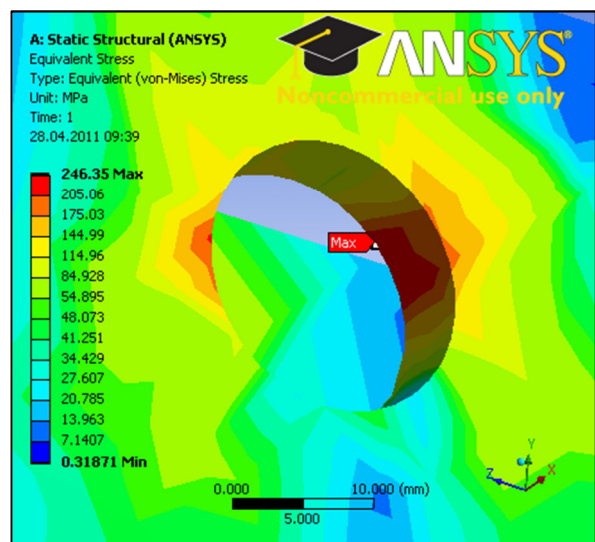
Figur 64: Vertikal bjelke B-G belastet med laster fra kritisk lasttilfelle 1.



Figur 65: Meshing av vertikal bjelke.



Figur 66: Spenningsplott over vertikal bjelke B-G.

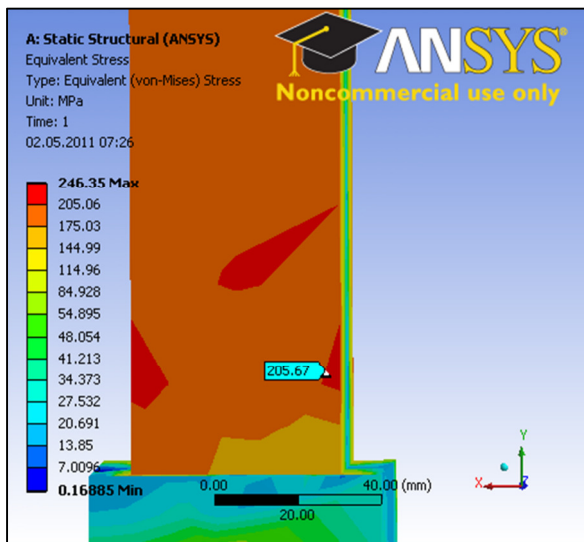


Figur 67: Nærbilde av spenninger i bolthull.

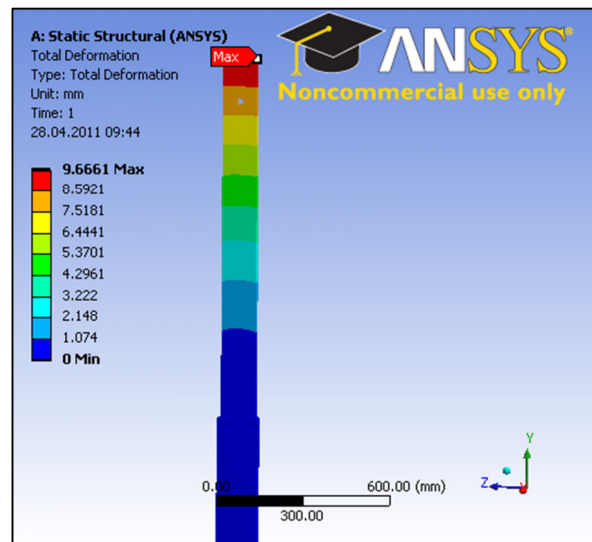
Figur 64: Lasttilfelle 1 utsetter vertikal bjelke B-G for laster fra svingarm E-F, bombjelke G-J og hydrauliske sylindere E-D. I simuleringer er tall fra grunnlagsberegningene, med kontroll fra Ansys Classic, blitt brukt for å påføre vertikal bjelke riktige belastninger. I simuleringer er kontaktflatene mellom de ulike komponenter blitt fastsatt som "limte" flater. Vertikal bjelke er i bunn fast innspent til underlaget med fixed support.

Figur 65: Meshing av vertikal bjelke, med forfinet mesh (*tetrahedrons*) rundt øvre del av vertikal bjelke.

Figur 66 og 67: Spenningsplott over vertikal bjelke. Lokal spenningsstopp i bolthull opptrer kun i overflaten, og er av den grunn ikke kritisk for konstruksjonen. Jevnførende spenninger i ytterkant av profil(205,67 MPa) er i henhold til tidligere håndberegninger, og under tillatt spenning på 237 MPa.



Figur 68: Nærbilde av vertikal bjelke.



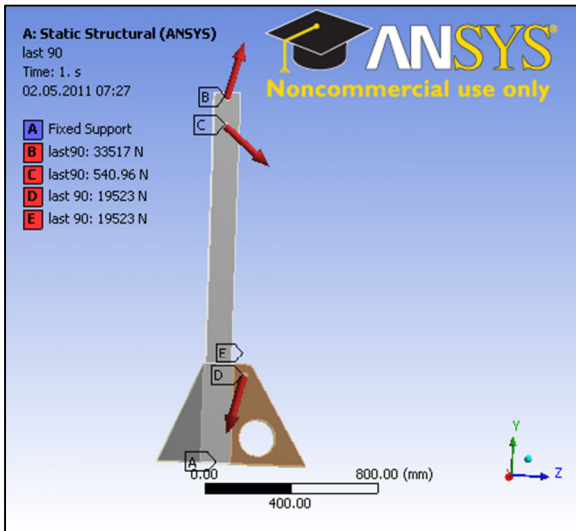
Figur 69: Nedbøyning på 9,66 mm i vertikal bjelke.

Figur 68: Jevnførende spenninger opp mot 205 MPa i innfesting mellom vertikal bjelke og festelement til bunnramme.

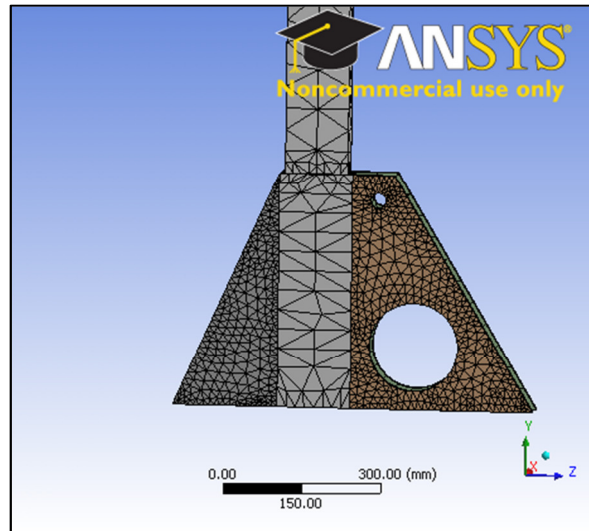
Figur 69: Nedbøyning av vertikal bjelke ved lasttilfelle 1. Tatt i betraktning at vertikal bjelke har en egenhøyde på 1,7 meter, vil en nedbøyning på 10 mm være godkjent og ikke kritisk for konstruksjonen.

Konklusjon: Simueringen i Ansys Workbench viser at vertikal bjelke B-G kan godkjennes for lasttilfelle 1.

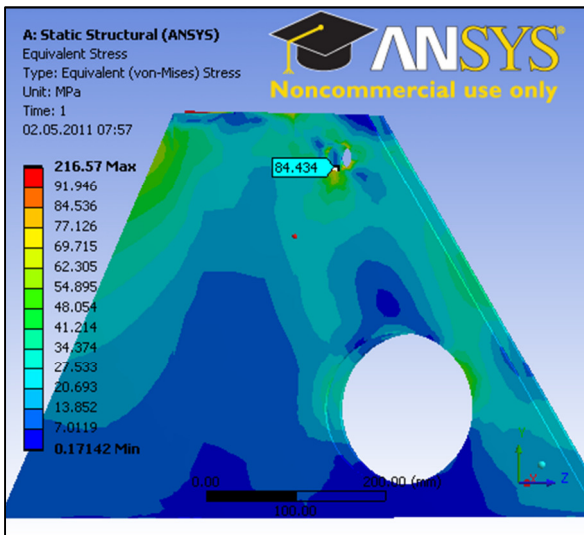
8.1.3 Støttefot



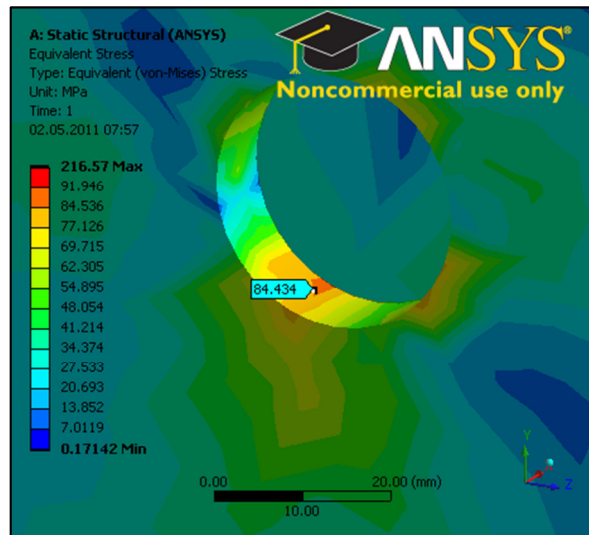
Figur70:Støttefot belastet med lasttilfelle 1



Figur71; Forfinet mesh (tetrahedrons) ved støttefot.



Figur 72:Spenningsplott ved støttefot



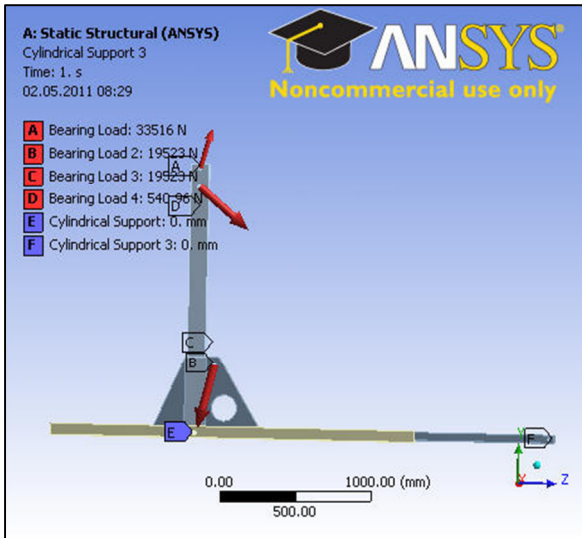
Figur 73:Spenningsstopp i bolthull.

Figur 70 og 71: Festelementet er simulert i samme runde som vertikal bjelke B-G, krefter og opplager er derfor identiske med figur 64. Det er her satt forfinet mesh rundt selve støttefoten.

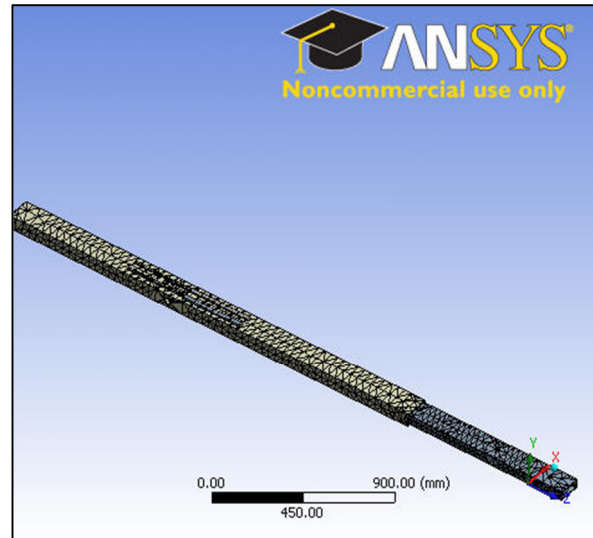
Figur 72 og 73: Det skal nevnes at tabellen til venstre i bildene viser spenninger opp mot 216 MPa, dette er global spenningsstopp som opptrer i vertikal bjelke B-G og ikke i bolthullet til støttefot. Det er generelt lave spenninger i festelementet, velger av den grunn å fjerne overflødig materiale der spenningen er lave ved og borre et hull. Hullet vil også gjøre det enklere å sveise støttefot til bunnramme, da man har bedre tilgang til området som skal sveises.

Konklusjon: Festelementet er etter simulering blitt strukturoptimert og godkjent for de gitte belastningene.

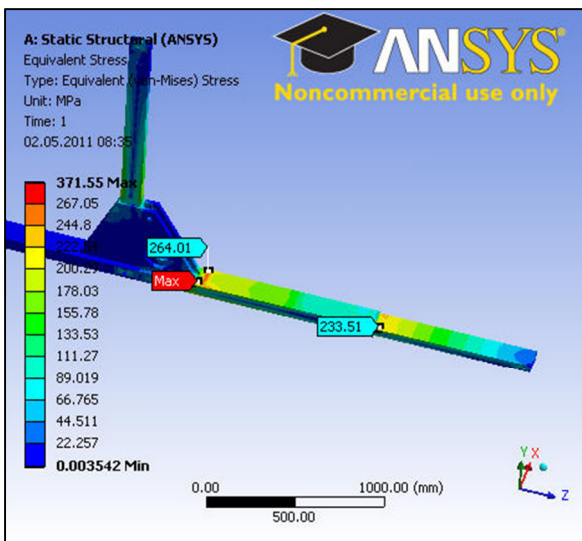
8.1.4 Ytre og indre bunnprofil



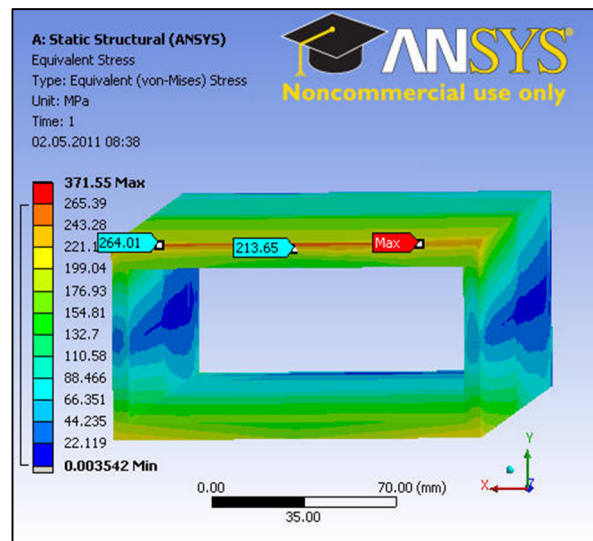
Figur 74: Analysegrunnlag for bunnramme ved lasttilfelle 1.



Figur 75: Meshing av ytre bunnprofil og indre bunnprofil.



Figur 76: Spenningsplott i bunnramme.



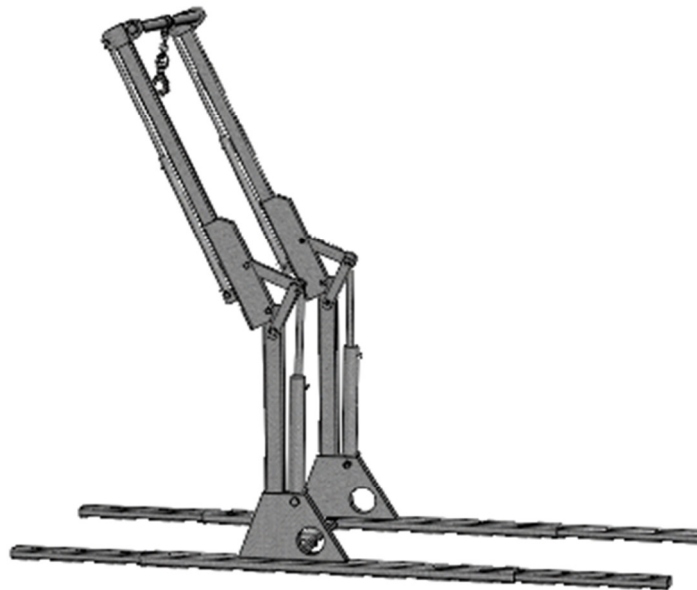
Figur 77: Tverrsnitt av bunnbjelke.

Figur 74 og 75: Både indre og ytre bunnprofil kontrolleres for lasttilfelle 1. Det er simulert at kranen og bunnrammen under kritisk lasttilfelle 1 vil få trykk/opplager midt under vertikal bjelke, samt i enden av indre bunnprofil. For å simulere dette er det i Ansys Workbench blitt brukt *cylindrical support* som tilsier at bjelkene har fri rotasjon i tangential retning og fast aksial og radiell retning ved opplagerne.

Figur 76 og 77: Viser lokal spenningstopp opp mot 371 MPa i støttefot, spenningen regnes ikke som kritisk, da dette kun opptrer i overflaten. Jevnførende spenninger i overflaten på ytre bunnprofil er over tillatte spenninger, men regnes ikke som kritisk da de kun opptrer i overflaten på profilet

Konklusjon: Simuleringen viser at dimensjoner på indre og ytre bunnprofil er tilstrekkelige for lasttilfelle 1.

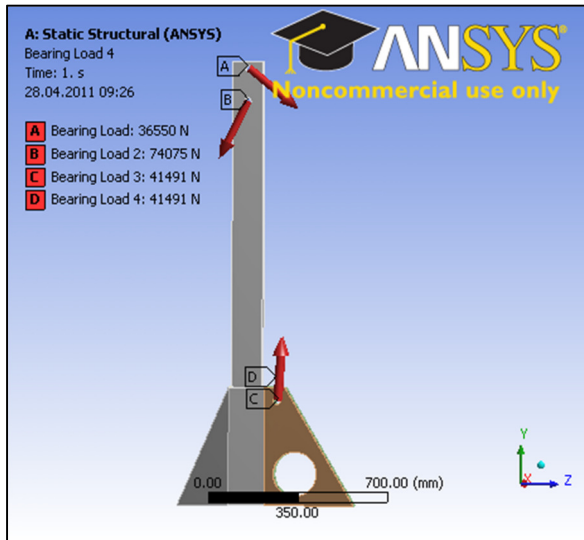
8.2 Simulering av lasttilfelle 2:



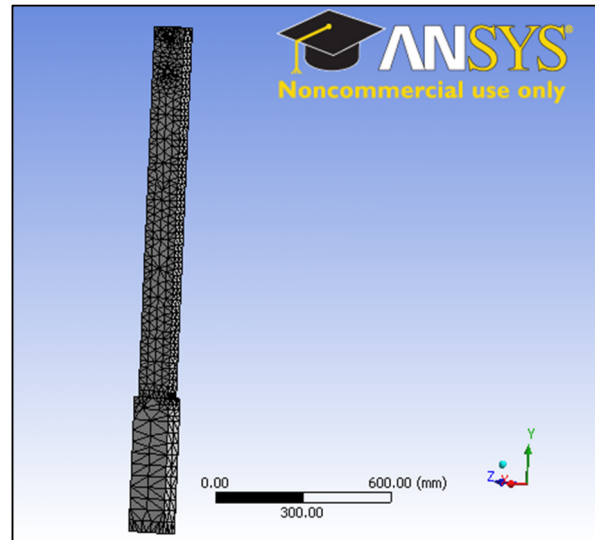
Figur 78: Lasttilfelle 2.

Lasttilfelle 2 gir store strekk og trykk spenninger i komponentene. Det gjøres derfor en simulering av dette lasttilfellet. Bombjelke, samt festelement simuleres ikke da det fra tidligere kommer frem at lasttilfelle 1 gir et betydelig større bøyemoment i bombjelke.

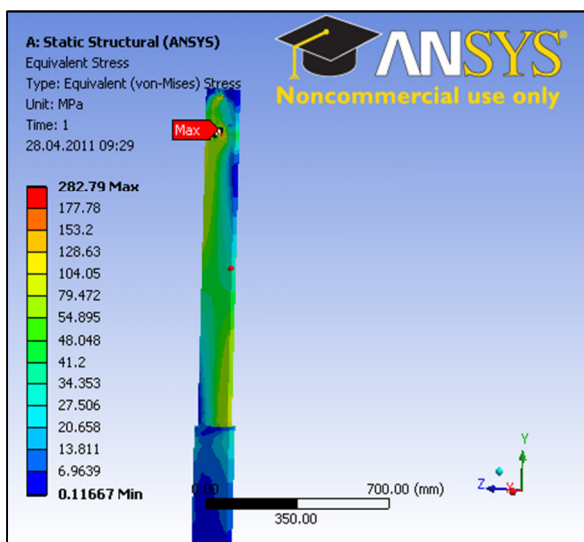
8.2.1 Vertikal bjelke B-G



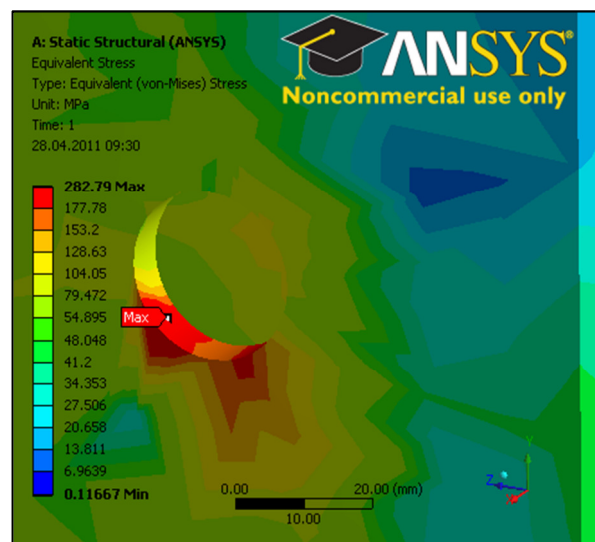
Figur 79: Vertikal bjelke B-G belastet med lasttilfelle 2.



Figur 80: Meshing av vertikal bjelke B-G



Figur 81: Spenningsplott i vertikal bjelke B-G.



Figur 82: Trykkspenninger i bolthull F.

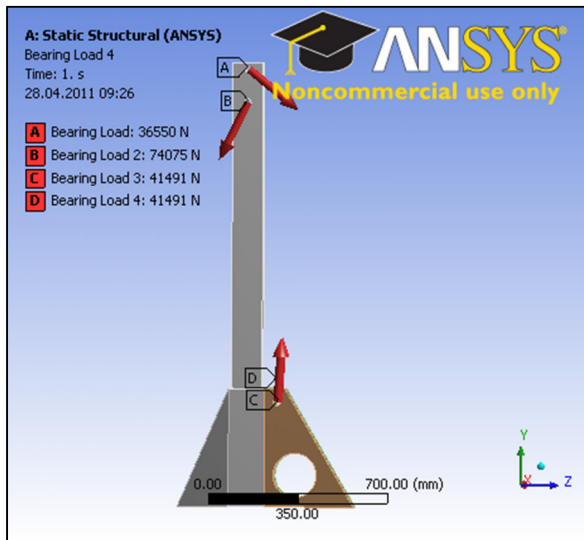
Figur 79: Figuren viser analysegrunnlaget for vertikal bjelke B-G ved lasttilfelle 2. Som i lasttilfelle 1 vil det i simuleringen bli brukt resultater fra håndberegningen og Ansys Classic som grunnlag for krefter som påføres vertikal bjelke. Vertikal bjelke er i bunn fast innspent til underlaget med *fixed support*, kontaktflaten mellom komponenten er "limt" med funksjonen *bonded* i Ansys Workbench.

Figur 80: Forfinet mesh(*tetrahedrons*) ved områder der antatt størst jevnførende spenningen opptrer.

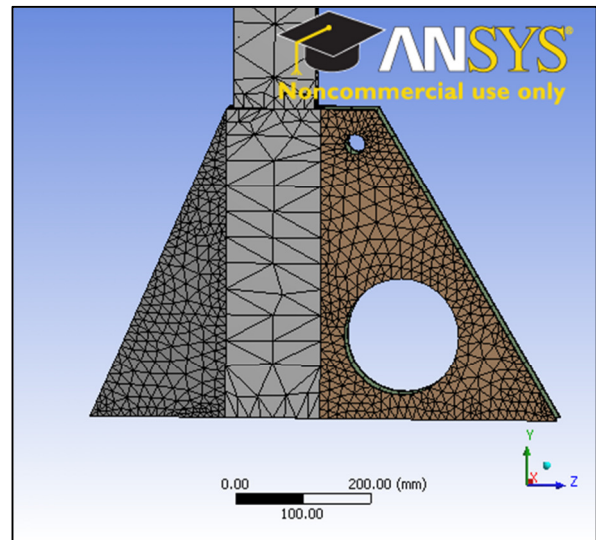
Figur 81 og 82: Jevnførende spenninger i vertikal bjelke B-G. Lokale trykkspenninger i bolthull er ikke over tillatt hulltrykkspenninger etter NS 5514.

Konklusjon: Lasttilfelle 2 utsetter vertikal bjelke B-G for store vertikale krefter som gir høye trykkspenninger i bolthull. Spenningen er likevel under tillatte verdier fra NS 5514 da det benyttes en dimensjonerende lastfaktor. Vertikal bjelke kan derfor godkjennes.

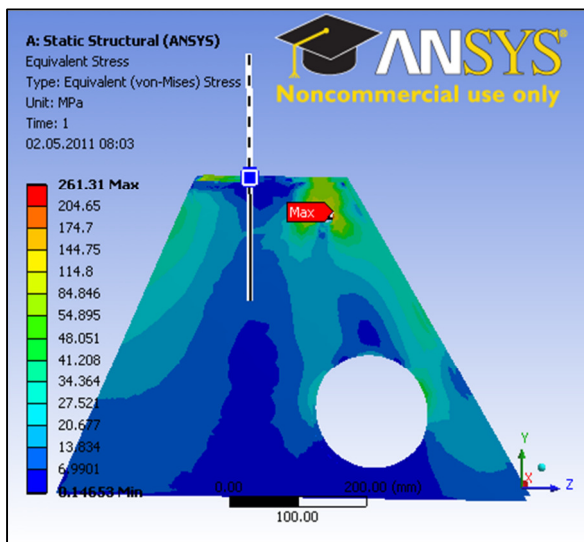
8.2.2 Støttefot



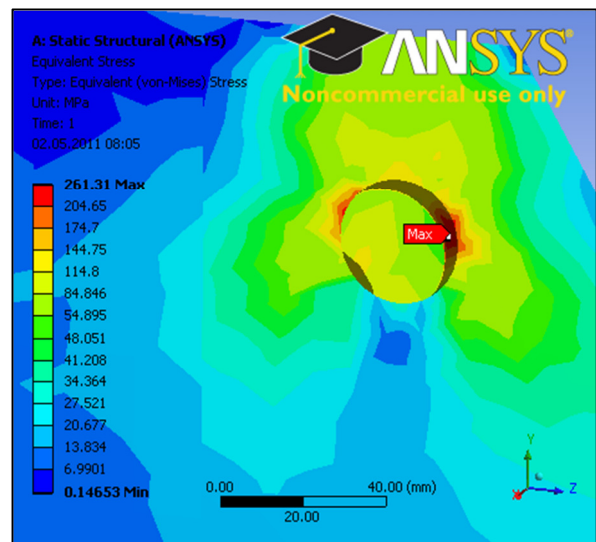
Figur 83: Analysegrunnlag for støttefot.



Figur 84: Forfinet mesh ((tetrahedrons) ved støttefot.



Figur 85: Spenningsplott av støttefot.



Figur 86: Spenningstopp i bolthull.

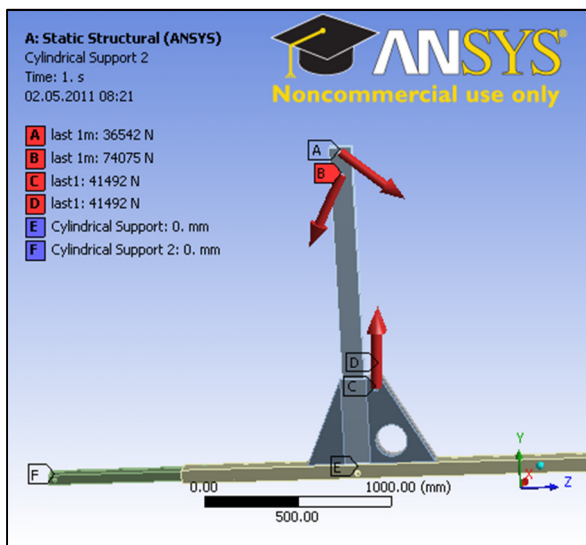
Figur 83 og 84: Festelementet er simulert i samme omgang som vertikal bjelke B-G, krefter og opplager er derfor identiske med figur 79. Det er her forfinet mesh rundt selve støttefoten for å få et mer nøyaktig resultat.

Figur 85 og 86: Hulltrykkspenninger på 261 MPa i bolthull der sylinder D-E er festet, spenninger er likevel under tillattspenninger for bolthull etter NS5514. Generelt lave spenninger i støttefot gjør at strukturoptimeringen ved lasttilfelle 1 blir stående.

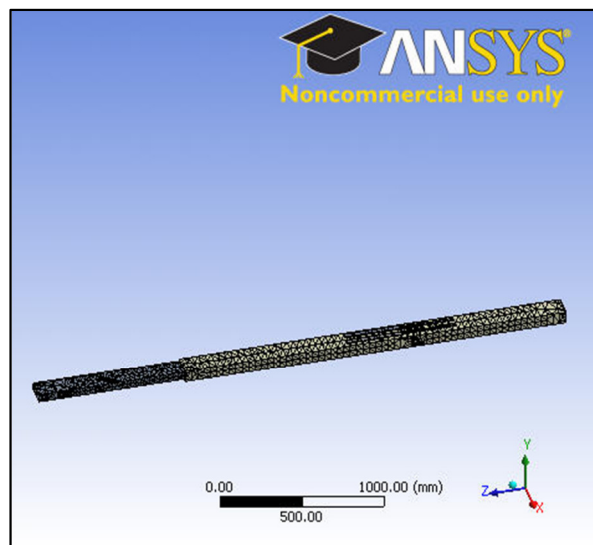
Konklusjon:

Simuleringen viser at dimensjoner på støttefot er tilstrekkelige for lasttilfelle 2.

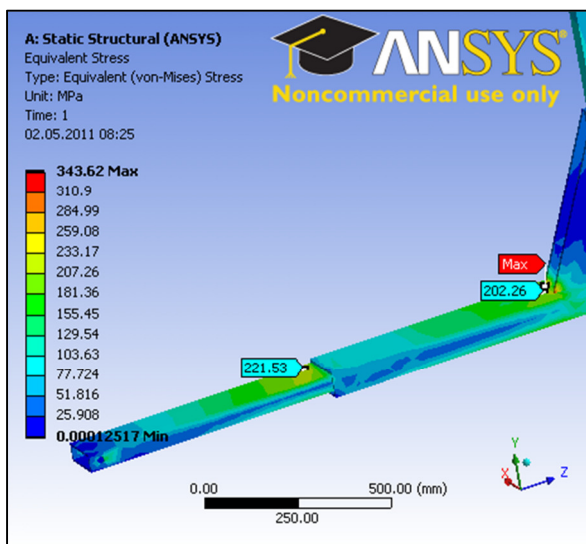
8.2.3 Ytre og indre bunnprofil



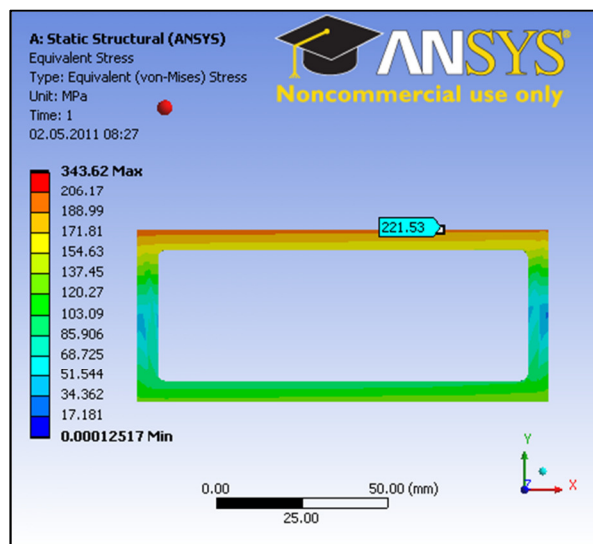
Figur 87: Analysegrunnlag for bunnramme ved lasttilfelle 2



Figur 88: Meshing av bunnprofil, forfinet mesh((tetrahedrons).



Figur 89: Spenningsplott i indre og ytre bunnprofil.



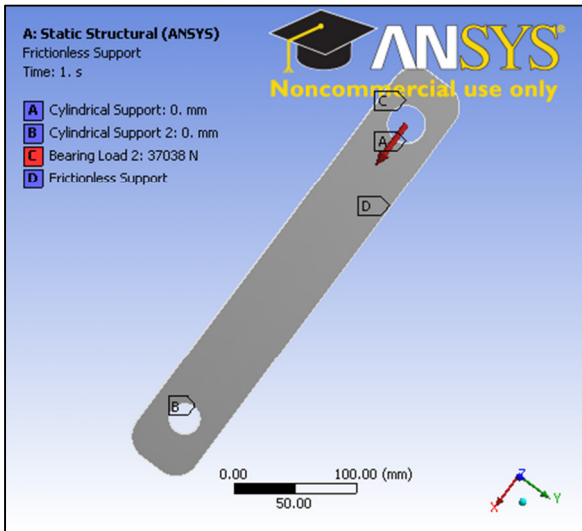
Figur 90: Jevnførende spenninger i ytre bunnprofil.

Figur 87 og 88:Lasttilfelle 2 gir i forhold til lasttilfelle1, spenninger på motsatt side av ytre bunnprofil, da lasten ved dette tilfellet er vinklet over vertikale bjelke til andre siden av bunnramme. Opplagerne er som i lasttilfelle 1 plassert under vertikale bjelke, og i enden av inde bunnprofil. Det er i simuleringen blitt brukt *cylindrical support* som opplager, med fri rotasjon i tangential og låst i aksiell og radiell retning.

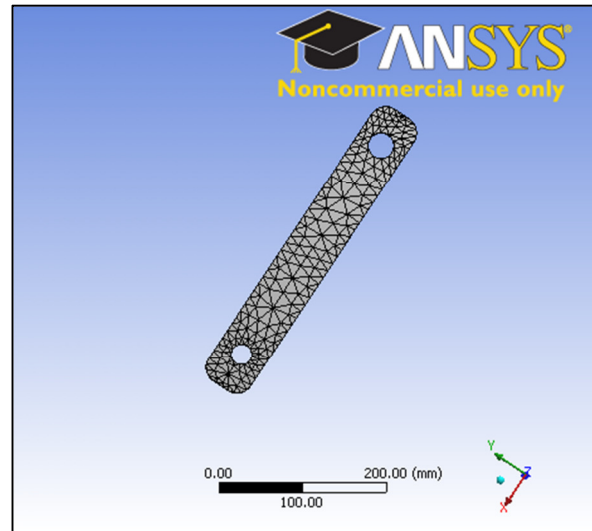
Figur 89 og 90: Som for lasttilfelle 1 opptrer det også her lokal spenningstopp i enden av støttefot. Spenningen er ikke kritisk for konstruksjonen da den kun forekommer i lokalt i materialet.

Konklusjon: Simuleringen viser at dimensjoner på indre og ytre bunnprofil er tilstrekkelige for lasttilfelle 2.

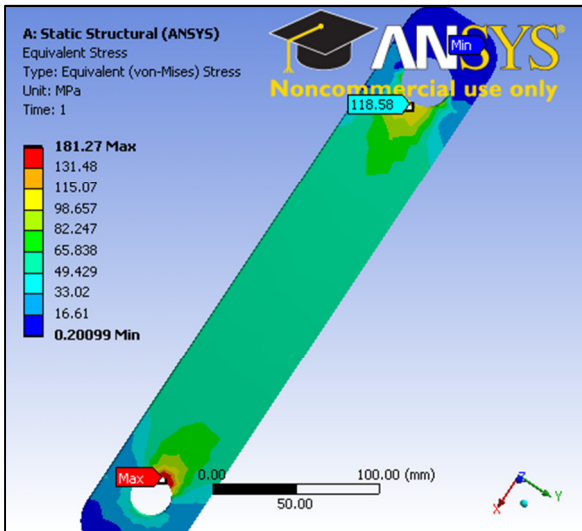
8.2.4 Svingarm E-F



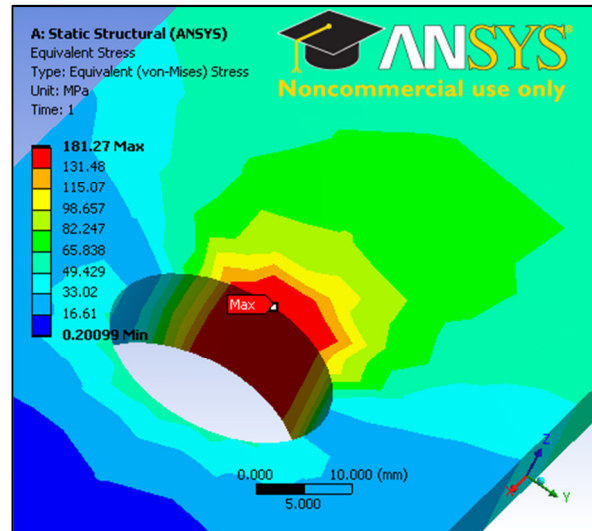
Figur 91:Analysegrunnlag for svingarm.



Figur 92:Meshing av svingarm.



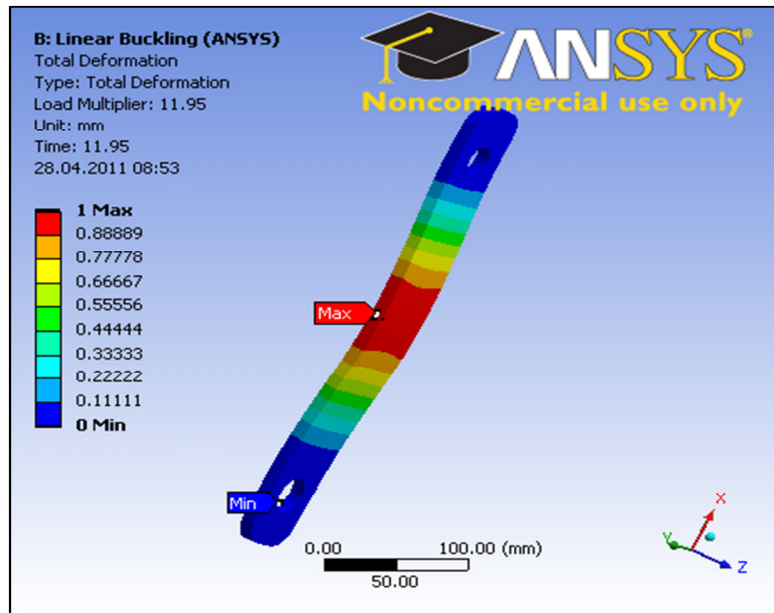
Figur 93:Spenningsplott i svingarm E-F.



Figur 94:Lokal spenningsstopp i bolthull ved knutepunkt E.

Figur 91 og 92: Velger å simulere svingarm E-F for lasttilfelle 2, da grunnlagsberegninger viser at dette lasttilfellet er mest kritisk. I simuleringen fordeles lasten i bolthullet E. Ved kontroll av hulltrykkspenninger brukes det opplager i bolthull F(cylindrical support) samt (fritionless support) for å holde svingarmen fast. For simulering av knekkingen er det blitt brukt opplager i begge bolthull, men med fri rotasjon i tangential, samt fri bevegelse i radial retning for bolthull E. Svingarmen kan da fritt trykkes sammen, men er låst for bevegelse i aksial retning. Fritionless support er da fjernet fra lastbilde. Meshingen er gjort med forfinet mesh(tetrahedrons) i de antatt kritiske områder.

Figur 93 og 94: Hulltrykkspenninger rundt bolthull F lik 181,27 MPa er under tillatte spenninger og stemmer godt med en enkel håndberegning av hulltrykkspenninger.



Figur 95: Knekking av svingarm E-F

Figur 95: Simulering av knekking viser en utbøying på maks 1 mm for svingarmen, dette anses som godkjent.

Konklusjon: Svingarm E-F kan godkjennes for det kritiske lasttilfellet.

9 FREMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER

9.1 Bearbeiding og utforming

I dette kapitlet er det listet opp mulig utforming og bearbeidingsmetode for en tenkt liten serie kraner. For å hindre korrosjon på kranen dekkes alle komponenter med svart pulverlakk før sammenføyning.

Sirkulær tverrbjelke



- Sirkulær tverrbjelke ($\varnothing 60$)kappes i sagemaskin.
- Hull borres etter fastsatte mål.
- Ved montering festes brakett eller hylse for løftetekrok til elementet, videre sveises skivene til profilen.
- Skarpe kanter slipes for å få et bedre etisk utseende.

Brakett for løftetekrok

- Hylse med innvendig diameter ($\varnothing 62\text{mm}$) kappes etter fastsatte mål.
- Plate($t=10\text{mm}$) freses og borres etter maskintegninger.
- Platene sammenføyes til hylse med kile sveis.
- Skarpe kanter slipes for å unngå spenningskonsentrasjoner.



Innfestning tverrbjelke

- Plater med tykkelse(5-10mm) klippes med platesaks, videre borres bolthull i platene.
- Løfteøre freses etter mål, da tykkelsen er for stor til å benytte platesaks.
- Platene sammenføyes med kile sveis slik at elementet får form som et rektangel.



Bombjelke, festelement og brakett



- Bombjelke består av hulprofil(100x50x5mm) som kappes etter fastsatte lengder.
- Festelementet er en plate med tykkelse 7mm som klippes, borres og deretter knekkes i knekkemaskin.
- Videre sveises festelementet til brakett, samt bombjelke.
- Skarpe kanter slipes for å unngå spenningskonsentrasjoner
- Etter pulverlakkering merkes kranbommen med tydelige symbol for maks belastning, dette for å oppfylle maskinforskriftens krav.

Vertikale bombjelke og støttefot

- Vertikal bjelke(120x50x6) kappes etter fastsatte mål.
- Hullene i øvre del borres med boremaskin.
- Støttefot består av fire plater($t=12\text{mm}$) som klippes.
- Det store hullet i sideplaten freses. Med hullet blir konstruksjonen letter, i tillegg vil det forenkler tilkomsten til sveis mellom sideplatene.
- Vertikale bjelke kan da føres ned i støttefoten og sveises med kile sveis til de andre komponentene.
- Til slutt sveises komponenten til bunnrammen.



Bunnramme



- Bunnrammen består av hulprofiler (140x70x6mm) og (120x50x6mm).
- Profilene kappes og borres etter fastsatte mål.
- Tverrbjelkene festes til hver midtprofil med kilsveis.
- Skarpe kanter slipes.

9.2 Kostandskalkyle for prototype

	Timer	Kvanta	Pris	Sum, NOK
KONSEPTUTVIKLING				
Utredningsarbeid	250	-	600.00	150 000,00
Formgivning og design	400	-	600.00	240 000,00
3-D framstillinger	90	-	600.00	54 000,00
Prosjektrapport	140	-	600.00	84 000,00
Delsum, konseptutvikling:				528 000,00
PROTOTYPING				
Arbeidskostnader:				
Konstruksjonstegninger	50	-	500.00	25 000,00
Maskinering / støping	20	-	400.00	8 000,00
Platearbeid og sveising	150	-	400.00	60 000,00
Montering	30	-	350.00	10 500,00
Delsum, arbeidskostnader				103 500,00
KOMPONENTER				
Hoved-komponenter				
Tverrbjelke 60		1 X 6 m à 22,62 kg/ m = 135,72 kg	30978,00 kr/t	4 204,33
Bombjelke 100x50x5		1 X 12 m à 11,10 kg/m = 133,20 kg	19089,00 kr/t	2 542,65
Vertikale/ytre bunnprofil 120x50x6		1 X 12 m à 14,16 kg/m = 161,92 kg	26334,00 kr/t	4 264,00
Ytre bunnprofil 140x 70x6		1 X 12 m à 18,28 kg/m = 219,36 kg	26334,00 kr/t	5 776,62
Diverse plater				5 000,00
Del-komponenter				
Hydraulisk sylinder 1 (vedlegg V.15)		2	2 354,00	4 708,00
Hydraulisk sylinder 2 (vedlegg V.15)		2	1 193,00	2 386,00
Løftekrok		1		500,00
Bolter/smådelar				1 000,00
Delsum, komponenter				30 380,00
TOTALKOSTNAD				661 880,62

10 MARKEDSPRESENTASJON



Figur 96: Løftekrok kjørt ut til maks rekkevidde.



Figur 97: Løftekrok og tverrbjelke inn.



Figur 98: Kran felt sammen..



Figur 99:Nærbilde av svingarmer.



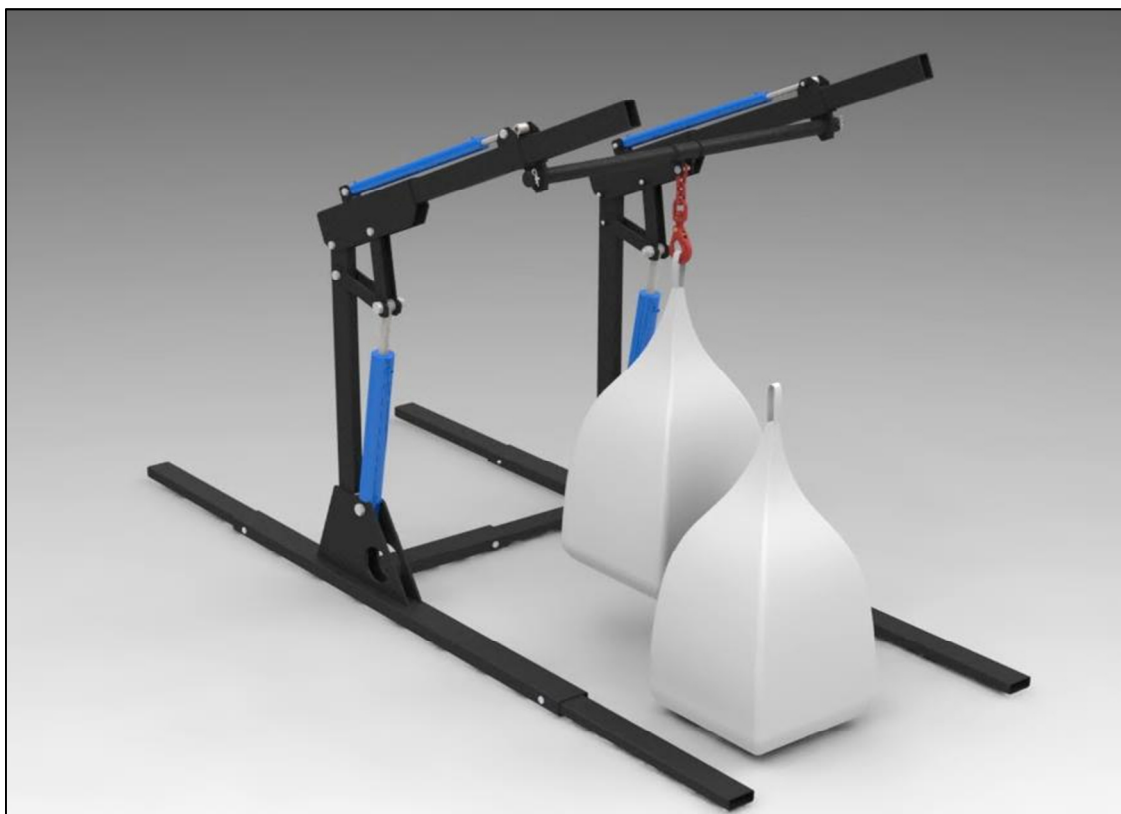
Figur 100: Støttefot.



Figur 101: Brakett for løfteskrokk, kjetting og løfteskrokk.



Figur 102: Storsekk løftet til posisjon der redskap kan plasseres under og sekken kan sprettes slik at emnet renner i beholder på redskap. Flere storsekker kan plasseres innenfor rekkevidden til kranen, dette gjør det raskt å fylle redskap.



Figur 103: Kran ved begynnende løft av storsekk.

11 DISKUSJON OG KONKLUSJON

11.1 Prosesdiskusjon

Produktplanlegging:

Undertegnede startet prosjektet med litteraturstudie av lignende løsninger. Arbeidet gikk forholdsvis etter planen, men noe mye tid gikk det til søk på nettet etter lignende utenlandske løsninger, da det var få løsninger å oppdrive i Norge. For å få et bredere spekter, ble det derfor sett på løsninger som muligens er litt utenfor det bruksområde som omhandler å håndtere storsekker. Selv om dette arbeidet var fordelaktig med tanke på å finne gode løsninger for eget kransystem. Kunne mye tid vært spart hvis man fra starten av hadde hatt klare rammeplaner for hvor langt man skulle gå i arbeidet med å søke etter lignende løsninger. I forhold til milepælplanen har prosjektet underveis ligget flere dager etter fastsatt frister, dette har til tider stresser arbeidet i prosjektet. Hadde man i startfasen av prosjektet brukt mere tid på estimering og gjort dette mere grundig, kunne det vært enklere å fulgt milepælplanen videre i prosjektet.

Produktspesifisering, konseptgenerering og konseptvalg

Første del av produktspesifiseringen omhandlet kundens behov. Dette ble gjort ut fra undertegnedes behov uten synspunkter utenfra, sett i ettertid burde man drøftet behovene med medstudenter og muligens gjort de mer generelle, da man fort blir bundet opp i spesifikke behov. Eventuelt kunne man kjørt en enkel markedsundersøkelse blant potensiell kunder og dermed fått et mer gjennomsnittlig behov.

På bakgrunn av kundens behov ble geometriske og generelle krav fastsatt. Dette ble gjort uten noe form for håndberegninger og resulterte i at kranen fikk geometrisk mål langt over hva som ville være mulig i forhold til gjeldende standarder og forskrifter. Dette kunne vært løst ved og foretatt enkle håndberegninger samtidig som man fastsatte geometrisk og generelle krav. Slik at man under konseptgenerering hadde hatt en viss kjennskap til hva som ville fungere av konsepter med tanke på styrke og stabilitet osv.

Grunnlagsberegninger og strukturoptimering

I grunnlagsberegningene ble det bestemt å gjøre flere endringer på geometrisk og generelle kravene, dette måtte gjøres for å få kranen godkjent i forhold til stabilitet etter gjeldende standarder. Brukervennligheten måtte også nedjusteres, da det i første omgang var tenkt å ha et kransystem som kunne løfte 2 storsekker.. Dette ville føre til en meget tung kran som ikke ville være flyttbar. Alle forandringer ble beregnet på nytt, da undertegnede følte dette måtte gjøres siden kranen muligens kan bli bygget i fremtiden. I beregningen av utmatting ble det brukt mye til å opparbeide seg kunnskap om utmatting i forhold til standard 5514. Etter mye grubling, og samtale med senioringeniør Stemsrud ble det bestemt å beregne etter NS 3472 som omhandler stålkonstruksjoner. Sett i ettertid burde jeg tidligere tatt kontakt med en av veiledere for og fått en oppklaring dette.

For kontroll av grunnlagsberegninger ble de fleste komponentene modellert i 3D-programet Solidworks og videre analysert i Ansys Worckbench. Arbeidet i Ansys Workbench og SolidWorks forløp uten store problemer, grunnet kjennskap til programmene fra tidligere.

Ferdiggjøring av prosjekt

Siste del av prosjektet, med blant annet utarbeiding av maskintegninger og ferdigstilling av rapport har gått etter fastsatte frister, da det fra starten av har vært satt god tid til dette.

11.2 Konklusjon

Det har i denne masteroppgaven blitt beregnet og designet et mobilt kransystem for løft av storsekker med egenvekt opptil 700 kg. Det har blitt vurdert ulike konsepter for løftestrukturen og bunnrammen, der undertegnede har kommet frem til en endelig løsning som det har blitt jobbet videre med. Løsningen har videre blitt håndberegnet etter standard; NS 5514, NS 5437 samt maskinforskriftene. Det er lagt vekt på å benytte standardprofiler som er enkle å dimensjonere samt rimelig å produsere. Materialet i kranen er i all hovedsak konstruksjonsstål s355 som er sprøytet med pulverlakk for å hindre korrosjon. Egenvekten til kranen er fra SolidWorks beregnet til cirka 417 kg, noe som er langt over de geometriske kravene satt tidligere i prosjektet. Hovedgrunnen til den høye vekten er at det benyttes to løftebommer i strukturen, som igjen krever at det anvendes to vertikale bjelker samt fire hydrauliske sylindere. Egenvekten kan derimot forbedres ved å gå dypere i strukturoptimeringen, samt se på andre løsninger for løftestrukturen og bunnrammen.

11.2.1 Videre arbeid

- Komponenter, samt sveiser som sammenfører tverrbjelke med bombjelke i øvre del av kranen, må dimensjoneres.
- Se på muligheten for spesialtilpassede profiler med ulikt tverrsnitt som ligger tettere opp mot tillatt spenning langs hele profilets lengde.
- Utstyre kranen med hydraulisk komponenter som sikkerhetsventiler, styringsventiler og slanger.
- Oppnår man en lavere egenvekt er det ønskelig å montere gummi hjul på bunnrammen til kranen, slik at det blir enklere å transportere.
- Kranen har en forholdsvis høy egenvekt som gjør det tungvint å skyve profilene i bunnrammen sammen, det bør derfor utvikles tekniske løsninger som gjør det enklere å felle sammen kranen, selv ved en høy egenvekt.
- Det bør utvikles en stoppfunksjon som kan monteres på festelementet som sammenfører bombjelke med vertikale bjelke. Ved lasttilfelle 2 vil bombjelke stoppe imot vertikale bjelke, og mye av strekkbelastningene i sylindere opphører. Dette vil også være en sikkerhetsanordning som hindrer sammenbrudd av konstruksjon hvis sylindrene skulle ryke.
- Vurdere andre løsninger for hvordan kranen kan felles sammen.
- Mot slutten av prosjektet oppdaget undertegnede at bredden i øyet til sylinder 1 er 55 mm. I oppgaven er det blitt brukt øye med 40 mm, da det har blitt sett feil produktdatablad for sylinder. Det må av den grunn gjøres en forandring svingarm E-I og E.F.

11.2.2 Anbefallinger

- Lave hulprofiler i bunnrammen gjør mulig å plassere storsekker oppå rammen uten at de tar skade eller velter.
- Ytre bunnprofil i bunnrammen er dimensjonert for at pallegafler til traktor kan stikkes inn i profilet og kranen kan da enkelt flyttes.
- Kranens store rekkevidde gjør det mulig å løfte flere storsekker etter hverandre uten at kranen må flyttes.
- Kranen opptar lite plass ved opplagring, da den kan felles sammen.

12 KILDER

1. landbruksrådgiving, N. *Storsekk*. Tilgjengelig fra: <http://www.lr.no/fagartikler/7994>.
2. Hestefokus. *Såmaskin*. Tilgjengelig fra: <http://www.hestefokus.com>.
3. Stacyard. *Laster*. Tilgjengelig fra: <http://www.stackyard.com>.
4. eiksenter. *Storsekkran* Tilgjengelig fra: <http://www.eiksenteret.no/redskap>.
5. Kuhn. *Storsekkran* Tilgjengelig fra: <http://www.kuhn.com>.
6. Norge, I. *Abus-kran*. Tilgjengelig fra: <http://www.abus-kran.no/>.
7. Abuscrane. *Info kraner*. Tilgjengelig fra: WWW.ABUSCRANES.CO.UK.
8. palfinger. *Stykkegodskran*. Tilgjengelig fra: www.palfinger.no.
9. Quick. *Frontlaster*. Tilgjengelig fra: <http://www.quicke.nu>.
10. bondelaget. *bondelaget*. Tilgjengelig fra: www.bondelaget.no (lest 2.2-2011).
11. Abcnyster. *abcnyheter.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.abcnyster.no/nyheter/okonomi/100507/sjokktall-om-bonder-i-eu-og-norge> (lest 2.9.2011).
12. Yara. Egenvekt storsekk.
13. Bedre Gaardsdrift, *maks bredde på offentlig vei*. Tilgjengelig fra: <http://www.gardsdrift.no/id/32665/viewtopic/3075/page/1#27896>.
14. Lovdata. *Forskrift om maskiner*. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/ltavd1/filer/sf-20090520-0544.html>.
15. Husø, Ø. (2005). *Materialer: teknologi og anvendelser*. HiO-rapport, b. 2005 nr 21. [Oslo]: Høgskolen i Oslo. 356 s. s.
16. Forelesningsnotater utgitt i TMP301.
17. *Handbok för konstruktörer: hur man lyckas med aluminiumprofiler*. (2005). [Vetlanda]: SAPA, Skandinaviska Aluminium Profiler AB. 163 s. s.
18. Bøe, J. K. *Produktutvikling og produktdesign*. 218.
19. Norges, S. (1978). *NS 5514: kraner og løfteutstyr : stålkonstruksjoner, beregninger*. Oslo. 117 s. s.
20. Andersen, J. (2008). *Produksjonsteknikk: Vg2 produksjons- og industriteknikk*. Oslo: Gyldendal undervisning. 352 s. s.
21. Tingstad. *fasthetsklasser*. Tilgjengelig fra: http://www.tingstad.no/upload_images/A780CD33521044F59352DF00C91AC1E1.pdf.
22. Dahlvig, G., Christensen, S. & Strømsnes, G. (1991). *Konstruksjonselementer*. [Ås]: Yrkesopplæring. 486 . s.
23. Vollen, Ø. (1999). *Mekanikk for ingeniører: statikk og fasthetslære*. Bekkestua: NKI forl. 429 s.
24. Johannessen, J. (2002). *Tekniske tabeller*. [Oslo]: Cappelen. 158 s. s.
25. Felleskjøpet. *Brosjyretraktor*. Tilgjengelig fra: http://www.felleskjopet.no/landbruk/Documents/Interne/Maskin_Ettermarked/Brosjyrer.
26. Brautaset, K. (1983). *Innføring i oljehydraulikk*. [Oslo]: Universitetsforl. 340 s. s.
27. *(Oppdatert etter NS 3472, 3. utgave 2001)*. (2002). *Stålkonstruksjoner*, b. D. 1. Bekkestua: NKI fjernundervisning. 96 s. s.
28. Schijve, J. (2010). *Fatigue of structures and materials*. [S.l.]: Springer. XXI, 621 s. s.

13 VEDLEGG

V.01	Sirkulært profil tverrbjelke	II
V.02	Hulprofil (100x50x5mm)	II
V.03	Hulprofil (120x50x6mm)	III
V.04	Hulprofil (140x70x6mm)	III
V.05	Strekmodell(2D) lasttilfelle1	IV
V.06	Strekmodell(2D) lasttilfelle 2	IV
V.07	Opplagerkrefter i bombjelke og svingarm last.1	V
V.08	Opplagerkrefter i bombjelke og svingarm lastt.2	VI
V.09	Moment i vertikal bjelke ved last.1	VII
V.10	Moment i vertikal bjelke ved last.2	VIII
V.11	Utmattning i bolthull	IX
V.12	Utmattingsparametere	IX
V.13	Produktdata Sylinder 1	X
V.14	Produktdata Sylinder 2	XI
V.15	Korrespondanse med Hydra Comp	XII
V.16	Produktdata løftekrok	XII
V.17	Produktdata løftekjetting	XIII

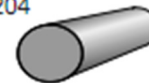
Maskintegninger

Oversikt	Vedlegg 1
Dimensjoner	Vedlegg 2
Eksplosjonstegning	Vedlegg 3
Sirkulær tverrbjelke	Vedlegg 4
Brakett løftekrok	Vedlegg 5
Innfesting bombjelke-tverrbjelke	Vedlegg 6
Festelement og bombjelke	Vedlegg 7
Svingarm E-I, avstiver og svingarm E-F	Vedlegg 8
Støttefot	Vedlegg 9
Innfesting støttefot	Vedlegg 10
Profiler i konstruksjoner	Vedlegg 11

V.01 Sirkulært profil tverrbjelke

RUNDTSTÅL S355J0

Kvalitet iht. EN 10025 - 2 • Toleranser etter en 10060 • Sertifikat 3.1 etter EN 10204



Gruppe 202		Søk: RU-355-D		Kvantumstrinn med priser i kr pr tonn				
Dimensjon	Lengde l m	Kg pr m	Kg/stk	0-24 kg	25-99 kg	100-499 kg	500-999 kg	>1000 kg
12	6	0,90	5,43	58 025	41 778	32 494	27 852	23 210
16	6	1,61	9,65	40 375	29 070	22 610	19 380	16 150
20	6	2,51	15,08	40 375	29 070	22 610	19 380	16 150
22	6	3,04	18,25	40 375	29 070	22 610	19 380	16 150
25	6	3,93	23,57	40 375	29 070	22 610	19 380	16 150
30	6	5,66	33,93		29 070	22 610	19 380	16 150
32	6	6,43	38,61		29 070	22 610	19 380	16 150
35	6	7,70	46,19		30 582	23 786	20 388	16 990
38	6	9,07	54,44		30 582	23 786	20 388	16 990
40	6	10,05	60,33		29 070	22 610	19 380	16 150
45	6	12,73	76,35		30 582	23 786	20 388	16 990
50	6	15,71	94,26		30 582	23 786	20 388	16 990
55	6	19,01	114,05		30 978	24 094	20 652	17 210
60	6	22,62	135,73		30 978	24 094	20 652	17 210
65	6	26,55	159,30		30 978	24 094	20 652	17 210

V.02 Hulprofil (100x50x5mm)

Varmformede hulprofiler Celsius S355NH

iflg. NS-EN 10 210-1 & 2
 Utvendig hjørneradius 0,5 til 2,0 x t
 C max 0,16, CEQ max 0,41
 Slagseighetstest for godstykkelse 6 mm og tykkere min. 40 Joule ved -20 gr.C
 Lengdetoleranse -0/+150 mm. Øvrige toleranser iflg. NS-EN 10210-2
 Ultralydtest av sveisesøm for tykkelser f.o.m. 12 mm t.o.m. 16 mm etter EN 10246-8 level U3, innvendig sveisesøm fjernet.
Kontrollsertifikat iflg. NS-EN 10 204-3.1
 MERKING: Aluminium ende for dimensjoner under 200 x 120 mm
[Kjemiske egenskaper](#)
[Mekaniske egenskaper](#)
[Oversikt over NORSOK datablader](#)
[Sammenligninger med tidligere nasjonale standarder](#)
[Klassifisering, tekniske krav, leveringstilstander og koder](#)
[Dimensjoner, masse og statiske verdier](#)



Sterre bilde

Vis pris


Vareliste	Varenr	Dimensjon	Kg/m	Lengde (m)	Kg/lengde	NOBB
Leqq til	53047	60 X 40 X 4,00 MM	5,83	12	70,00	21140488
Leqq til	53077	80 X 40 X 4,00 MM	7,11	12	85,30	21140504
Leqq til	53087	80 X 40 X 6,30 MM	10,50	12	126,00	21140520
Leqq til	53097	90 X 50 X 3,60 MM	7,61	12	91,30	21140538
Leqq til	53117	100 X 50 X 3,20 MM	7,32	12	87,80	21140553
Leqq til	53127	100 X 50 X 4,00 MM	9,04	12	108,50	21140561
Leqq til	53137	100 X 50 X 5,00 MM	11,10	12	133,20	21140579
Leqq til	53147	100 X 50 X 6,30 MM	13,70	12	164,40	21140587
Leqq til	53151	100 X 50 X 8,00 MM	16,90	12	202,80	21140595
Leqq til	53167	100 X 60 X 5,00 MM	11,90	12	142,80	21140603
Leqq til	53177	100 X 60 X 6,30 MM	14,70	12	176,40	21140611
Leqq til	53207	120 X 60 X 5,00 MM	13,60	12	163,20	21140637
Leqq til	53217	120 X 60 X 6,30 MM	16,70	12	200,40	21140645
Leqq til	53227	120 X 80 X 5,00 MM	15,10	12	181,20	21140652
Leqq til	53237	120 X 80 X 6,30 MM	18,80	12	225,60	21140660

V.03 Hulprofil (120x50x6mm)

RUKKI more with metals Lagerprogram 2010

KALDFORMEDE REKTANGULÆRE HULPROFILER S355J2H (FORTS.) Se tabellavsnitt bak i katalogen

Toleranser og tekniske lev.betingelser etter EN 10219 • Sertifikat 3.1. etter EN 10 204

Gruppe 82 Søk: HUP-355-Dim Kvantumstrinn med priser i kr pr tonn 


Dimensjon				Lengde i m	Kg pr m	Kg/stk	0-24 kg	25-99 kg	100-499 kg	500-999 kg	>1000 kg
100	50	4,0	6	8,85	53,1		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	4,0	12	8,85	106,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	5,0	6	10,61	63,7		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	5,0	12	10,61	127,3		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	6,0	12	12,52	150,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	60	4,0	12	9,50	114,0		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	60	5,0	12	11,43	137,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	80	5,0	12	13,08	157,0		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	50	6,0	12	14,16	169,9		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	60	4,0	12	10,82	129,8		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	60	5,0	12	13,08	157,0		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	60	6,0	12	15,40	184,8		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	80	5,0	12	14,63	175,6		26 334	20 482	17 556	14 630	

V.04 Hulprofil (140x70x6mm)

RUKKI more with metals Lagerprogram 2010

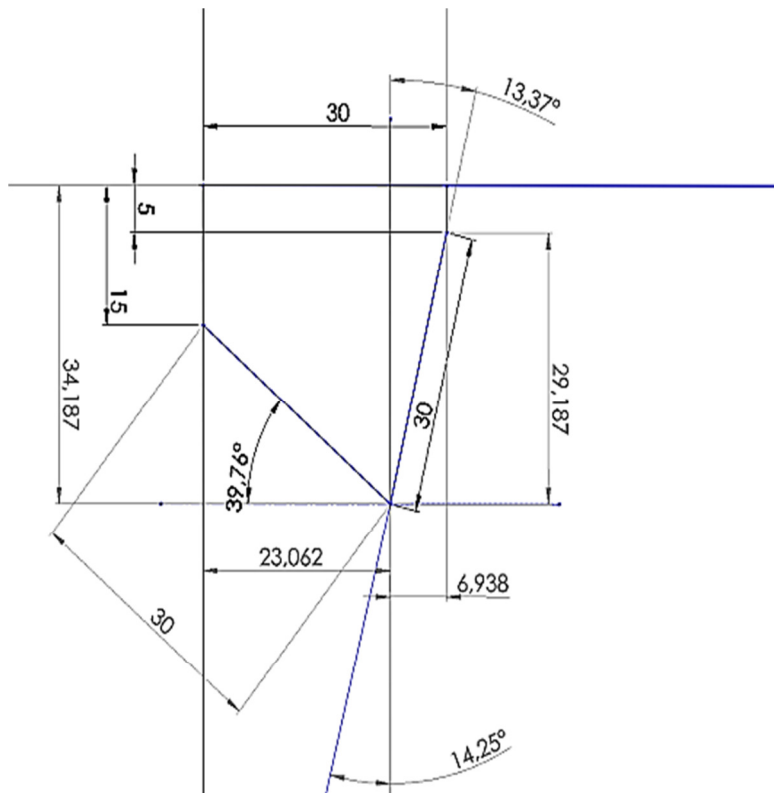
KALDFORMEDE REKTANGULÆRE HULPROFILER S355J2H (FORTS.) Se tabellavsnitt bak i katalogen

Toleranser og tekniske lev.betingelser etter EN 10219 • Sertifikat 3.1. etter EN 10 204

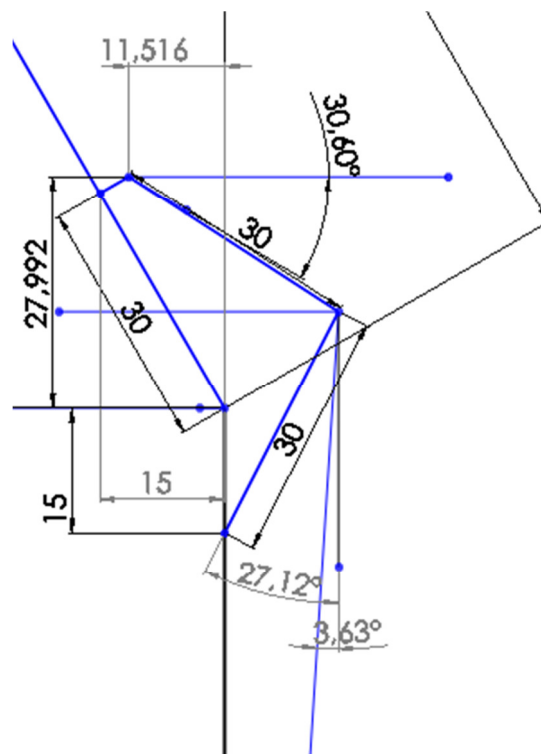
Gruppe 82 Søk: HUP-355-Dim Kvantumstrinn med priser i kr pr tonn 

Dimensjon				Lengde i m	Kg pr m	Kg/stk	0-24 kg	25-99 kg	100-499 kg	500-999 kg	>1000 kg
100	50	4,0	6	8,85	53,1		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	4,0	12	8,85	106,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	5,0	6	10,61	63,7		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	5,0	12	10,61	127,3		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	50	6,0	12	12,52	150,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	60	4,0	12	9,50	114,0		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	60	5,0	12	11,43	137,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
100	80	5,0	12	13,08	157,0		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	50	6,0	12	14,16	169,9		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	60	4,0	12	10,82	129,8		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	60	5,0	12	13,08	157,0		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	60	6,0	12	15,40	184,8		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	80	5,0	12	14,63	175,6		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	80	6,0	12	17,32	207,8		26 334	20 482	17 556	14 630	
120	80	8,0	12	22,04	264,5		27 864	21 672	18 576	15 480	
120	80	8,0	15	22,04	330,6		27 864	21 672	18 576	15 480	
140	70	4,0	12	12,77	153,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
140	70	6,0	12	18,28	219,4		26 334	20 482	17 556	14 630	
140	80	6,0	12	20,15	241,8		26 334	20 482	17 556	14 630	
150	75	5,0	12	16,69	200,3		26 334	20 482	17 556	14 630	
150	100	5,0	12	18,77	225,2		26 334	20 482	17 556	14 630	
150	100	6,0	12	22,12	265,4		26 334	20 482	17 556	14 630	

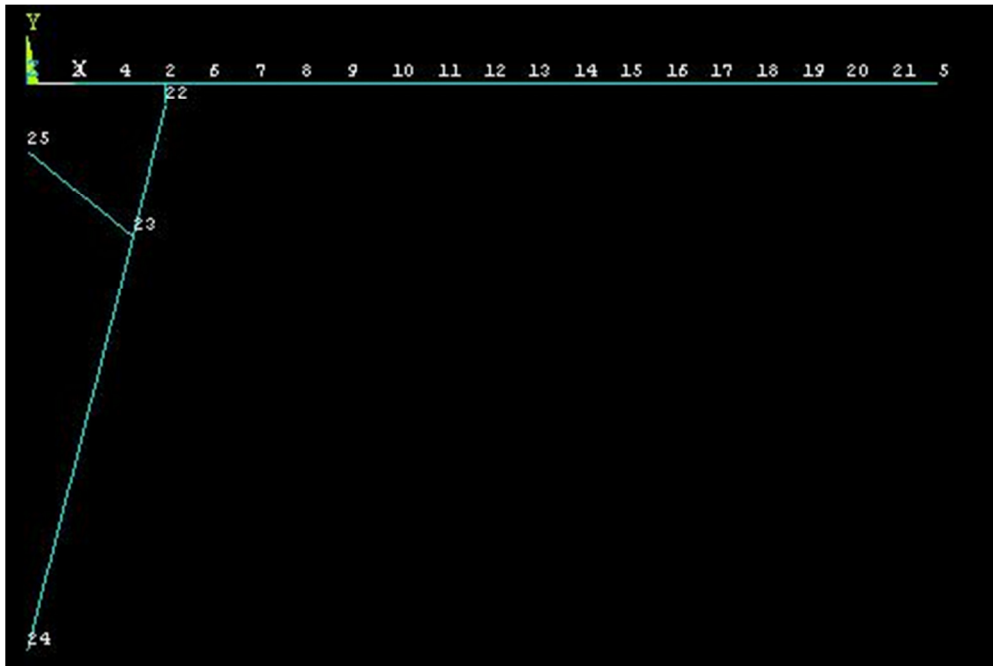
V.05 Strekmodell(2D) av knutepunkt E, lasttilfelle.1 (dimensjoner i cm)



V.06 Strekmodell av knutepunkt E, lasttilfelle. 2



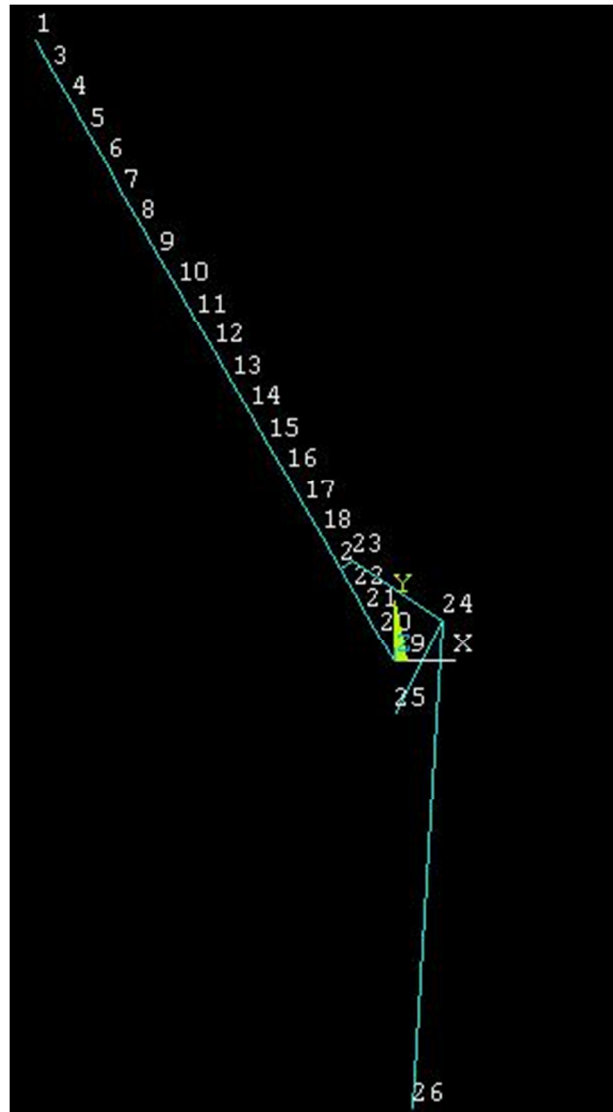
V.07 Opplagerkrefter ved lasttilfelle 1



```

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE
***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****
LOAD STEP=      1  SUBSTEP=      1
TIME=      1.0000  LOAD CASE=    0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM
  NODE      FX      FY      MZ
    1     -9218.3    -32231.
   24      9577.5     37894.
   25     -359.16      296.69
TOTAL VALUES
VALUE  -0.60754E-09  5959.0      0.0000
    
```


V.08 Opplagerkrefter ved lasttilfelle 2



```

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE
***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****
LOAD STEP=      1  SUBSTEP=      1
TIME=      1.0000  LOAD CASE=    0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

```

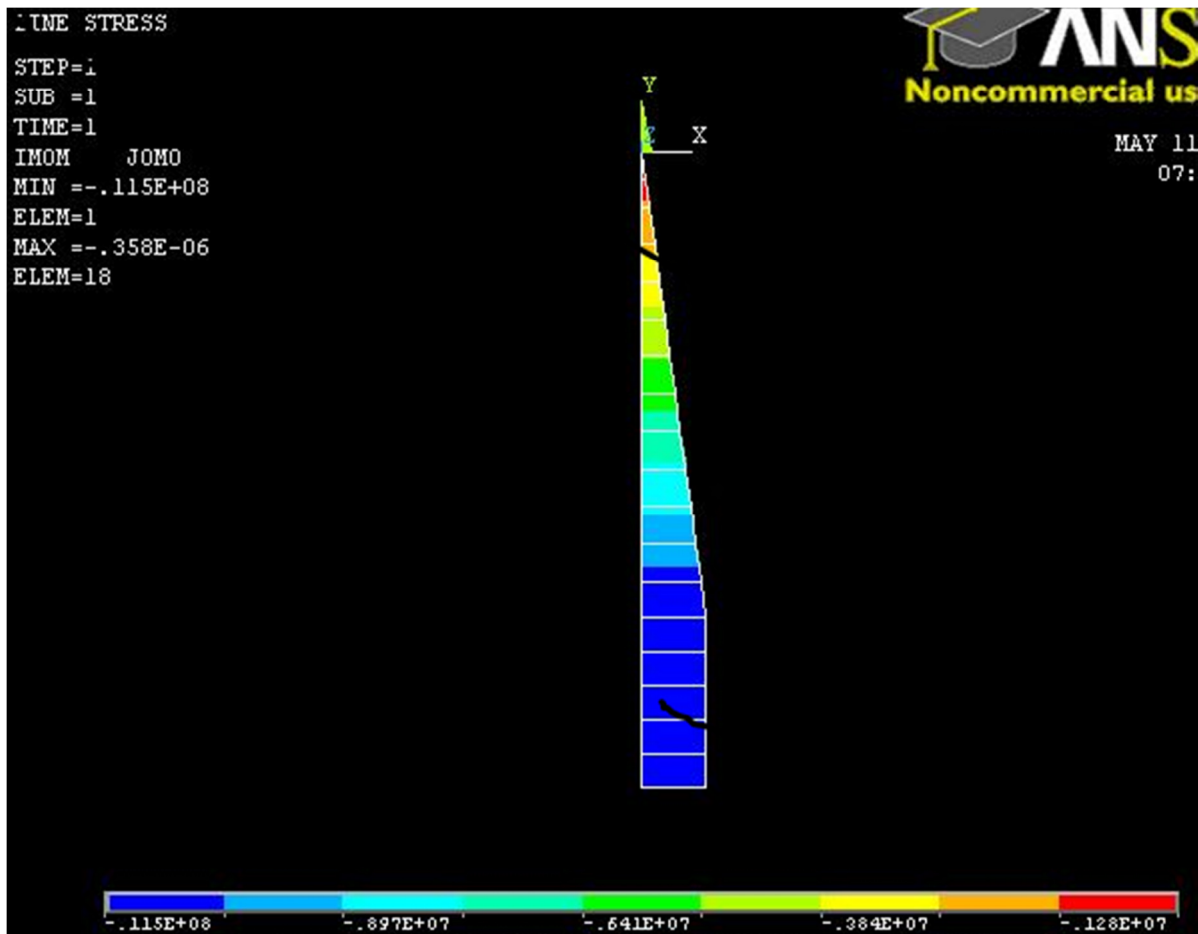
NODE	FX	FY	MZ
19	-29023.	24807.	
25	34466.	67664.	
26	-5442.6	-86512.	

```

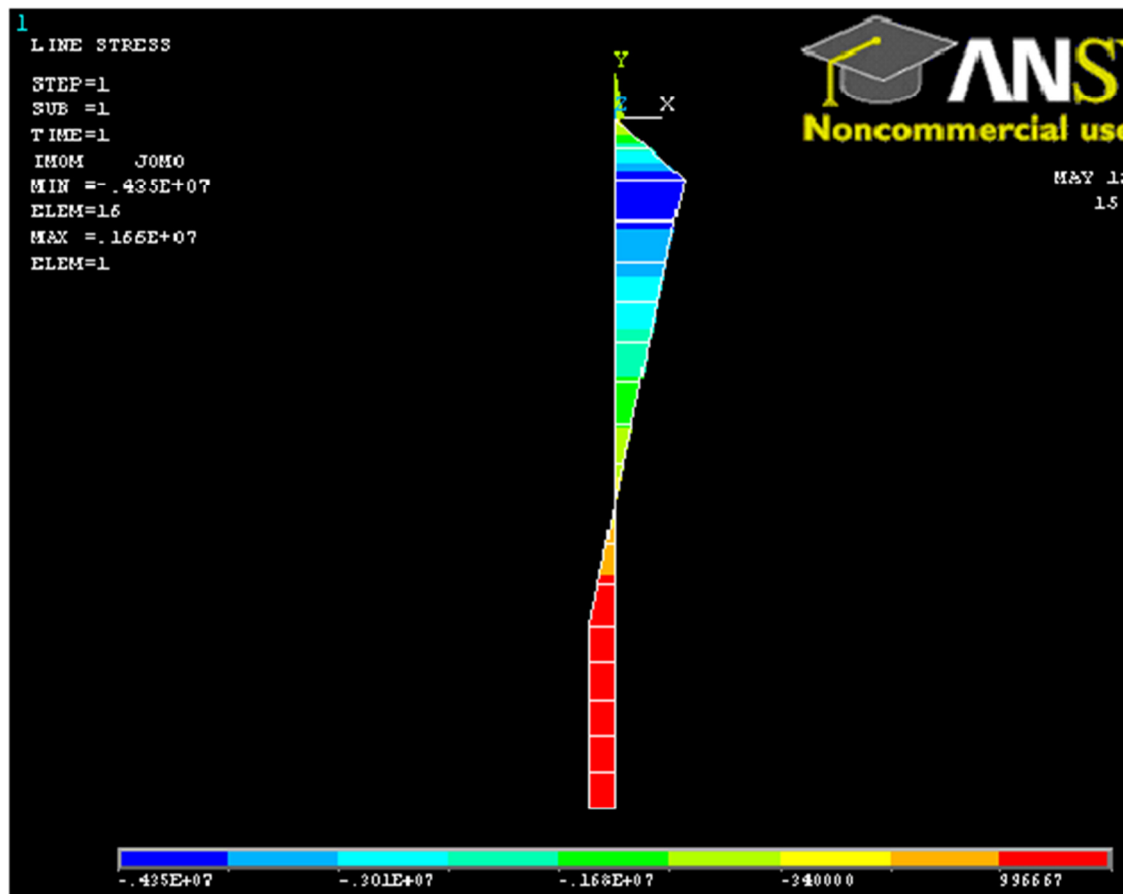
TOTAL VALUES
VALUE  0.10252E-07  5959.0  0.0000

```

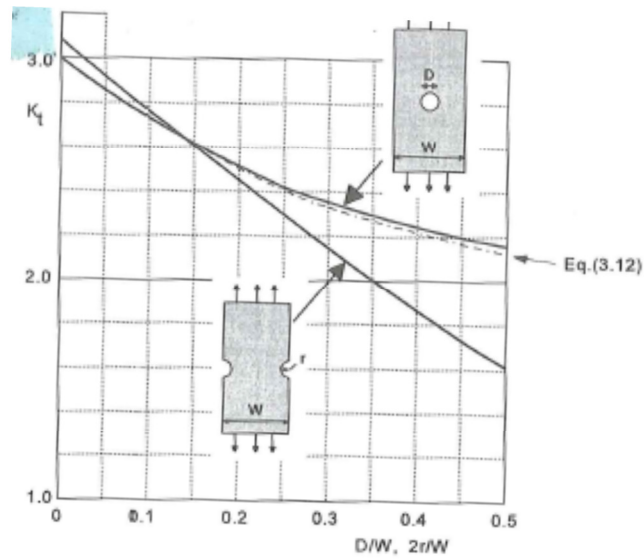

V.09 Moment i vertikal bjelke ved last.1



V.10 Moment i vertikal bjelke ved last.2



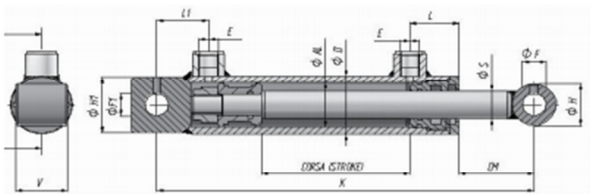
V.11 Utmatting i bolthull[28,s.70]



V.12 Utmattingsparametere

S-N-kurve	log a		$\Delta\sigma_b$ N/mm ²
	$N \leq 10^7$ (m = 3)	$N > 10^7$ (m = 5)	
B1	12,913	16,856	94
B2	12,739	16,566	82
C	12,592	16,320	73
C1	12,449	16,081	66
C2	12,301	15,835	58
D	12,164	15,606	53
E	12,010	15,350	47
F	11,855	15,091	42
F1	11,699	14,832	37
F3	11,546	14,576	33
G	11,398	14,330	29
W1	11,261	14,101	26
W2	11,107	13,845	23
W3	10,970	13,617	21

V.13 Produktdata Sylinder 1

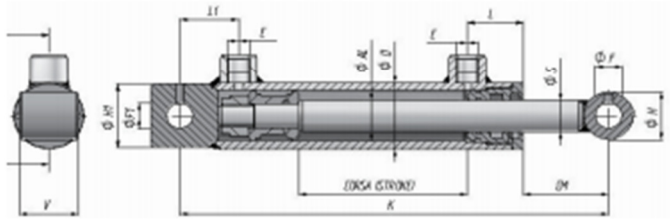


M250 dobbeltvirkende/double acting

Max. hastighed/max. speed: 0,5 m/s
 Arbejdstryk/working pressure: 200 Bar
 Spidstryk/peak pressure: 250 Bar
 Temperatur/temperature: -25° til +80° C
 Stempelstang/piston rod: UNI C45 steel,
 25 micron chrome (+/-5)
 Rør/tube: ST52.3, DIN2393, ISO H9

Ø D	Ø AL	Ø S	Corsa Stroke Hub	Codice Code Bestell-Nr.	K	CM	Kg.		E	L	L1	Ø H1	Ø F1	Ø H	V
70	60	35	200	HFR3350200	400		8,00		3/8"	50	58	70	25,5	50	45
			300	HFR3350300	500		9,55								
			400	HFR3350400	600		11,10								
			500	HFR3350500	700		12,65								
			600	HFR3350600	800	48	14,20								
			700	HFR3350700	900		15,75								
			800	HFR3350800	1000		17,50								
			900	HFR3350900	1100		19,00								
			1000	HFR3351000	1200		20,50								
			80	70	40	200	HFR4400200	410							
250	HFR4400250	460					11,37								
300	HFR4400300	510					12,31								
350	HFR4400350	560					13,30								
400	HFR4400400	610					14,22								
450	HFR4400450	660				48	15,20								
500	HFR4400500	710					16,11								
600	HFR4400600	810					18,12								
700	HFR4400700	910					19,94								
800	HFR4400800	1010					21,50								
900	HFR4400900	1110		23,50											

V.14 Produktdata Sylinder 2



M250 dobbeltvirkende/double acting

Max. hastighed/max. speed: 0,5 m/s
 Arbejdstryk/working pressure: 200 Bar
 Spidstryk/peak pressure: 250 Bar
 Temperatur/temperature: -25° til +80° C
 Stempelstang/piston rod: UNI C45 steel,
 25 micron chrome (+/-5)
 Rør/tube: ST52.3, DIN2393, ISO H9

Ø D	Ø AL	Ø S	Corsa Stroke Hub	Codice Code Bestell-Nr.	K	CM	Kg.		E	L	L1	Ø H1	Ø F1	Ø H	V
70	60	35	200	HFR3350200	400	48	8,00		3/8"	50	58	70	25,5	50	45
			300	HFR3350300	500		9,55								
			400	HFR3350400	600		11,10								
			500	HFR3350500	700		12,65								
			600	HFR3350600	800		14,20								
			700	HFR3350700	900		15,75								
			800	HFR3350800	1000		17,50								
			900	HFR3350900	1100		19,00								
			1000	HFR3351000	1200		20,50								
			80	70	40		200	HFR4400200							
250	HFR4400250	460				11,37									
300	HFR4400300	510				12,31									
350	HFR4400350	560				13,30									
400	HFR4400400	610				14,22									
450	HFR4400450	660				15,20									
500	HFR4400500	710				16,11									
600	HFR4400600	810				18,12									
700	HFR4400700	910				19,94									
800	HFR4400800	1010				21,50									
92	80	40	200	HFR5400200	410	38	13,26		3/8"	60	58	90	30,5	50	55
			250	HFR5400250	460		14,46								
			300	HFR5400300	510		15,54								
			350	HFR5400350	560		16,72								
			400	HFR5400400	610		18,00								
			500	HFR5400500	710		20,00								
			600	HFR5400600	810		22,00								
			700	HFR5400700	910		24,50								
			800	HFR5400800	1010		26,50								

V.15 Korrespondanse med Hydra Comp

Subject: SV: Pris på sylinder
From: mail@hydra-comp.dk
Date: Thu, May 5, 2011 11:01 am
To: carl.talberg@student.umb.no

For at trække 50 kN - 5,0 ton med 190 Bar skal du bruke min. 26,32 cm² på træk siden

Der kan du benytte en HFR4400600 - ø70/40x600mm den har en skyvekraft på 40 kN ved ca. 104 Bar og en trækraft på 50 kN ved ca. 193 Bar

Pris D-kr. 1930,- (fastøjer ø30,5mm)

80eller en HFR5400600 - ø80/40x600mm den har en skyvekraft på 40 kN ved ca. 80 Bar og en trækraft på 50 kN ved ca. 133 Bar

Pris D-kr. 2354,- (fastøjer ø30,5mm)

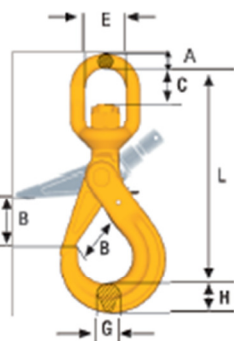
Har sett litt mere på hva jeg trenger å det er en dobbeltvirkende sylinder som kan trekke ca kN. Hvilken type sylinder bør jeg velge da?

V.16 Produktdata løfte krok

Swivel safety hook BKL

EN 1677-3

Grade 10



Art. no.	Code	WLL tonnes*	For chain dim. mm	L	B	C	E	A	G	H	Weight appr. kgs
Z101115	BKL-6-10	1.5	6	149	29	23	33	11	15	21	0.7
Z101105	BKL-7/8-10	2.5	7,8	183	37	27	38	12	17	26	1.2
Z101029	BKL-10-10	4	10	218	45	37	44	15	21	31	2.0
Z101037	BKL-13-10	6.7	13	280	55	49	48	19	30	40	4.0
Z101045	BKL-16-10	10	16	343	62	65	61	25	37	50	7.2
Z101092	BKL-18/20-10	16	19	368	68	70	72	31	44	65	11.4

V.17 Produktdata løfteketting



Chain Classic grade 8 EN 818-2 Short link chain, KL



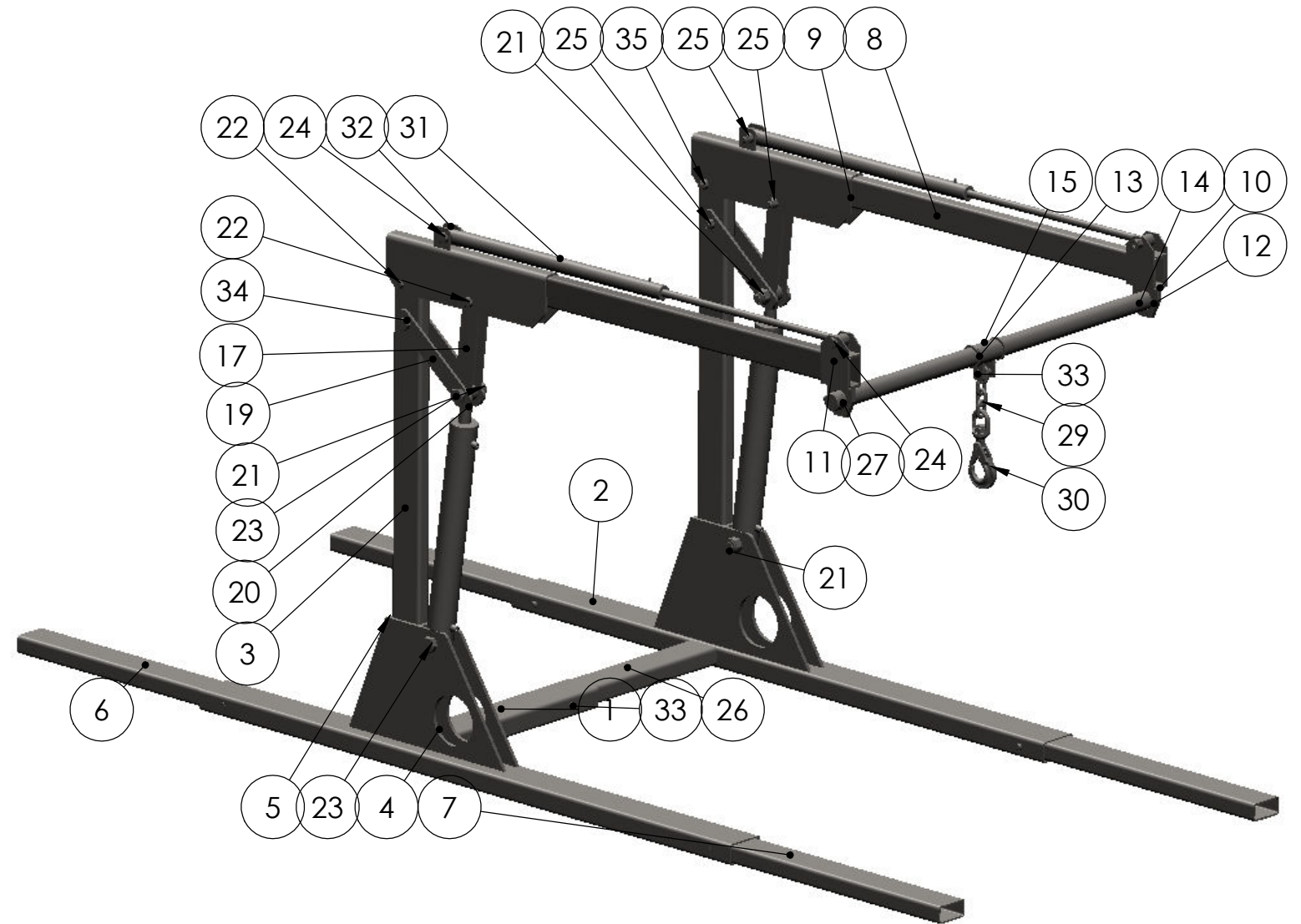
Heat treatment
Quenched and tempered.

Surface treatment
Painted black (B)

Marking
8EG

Art.no Box	Code	D nom. mm	L mm	E mm	Weight kgs/m	WLL tonnes	Manufacturing proof force kN	Breaking force kN
Z802174 - 1 x 200 m	KLB 6-8E	6	18	8.5	0.8	1.12	28.3	45.2
Z802175 - 1 x 200 m	KLB 7-8E	7	21	10	1.1	1.5	38.5	61.6
Z802176 - 1 x 100 m	KLB 8-8E	8	24	11	1.4	2	50.3	80.4
Z802156 - 1 x 100 m	KLB 10-8E	10	30	14	2.2	3.15	78.5	126
Z802157 - 1 x 100 m	KLB 13-8E	13	39	18	3.7	5.3	133	212

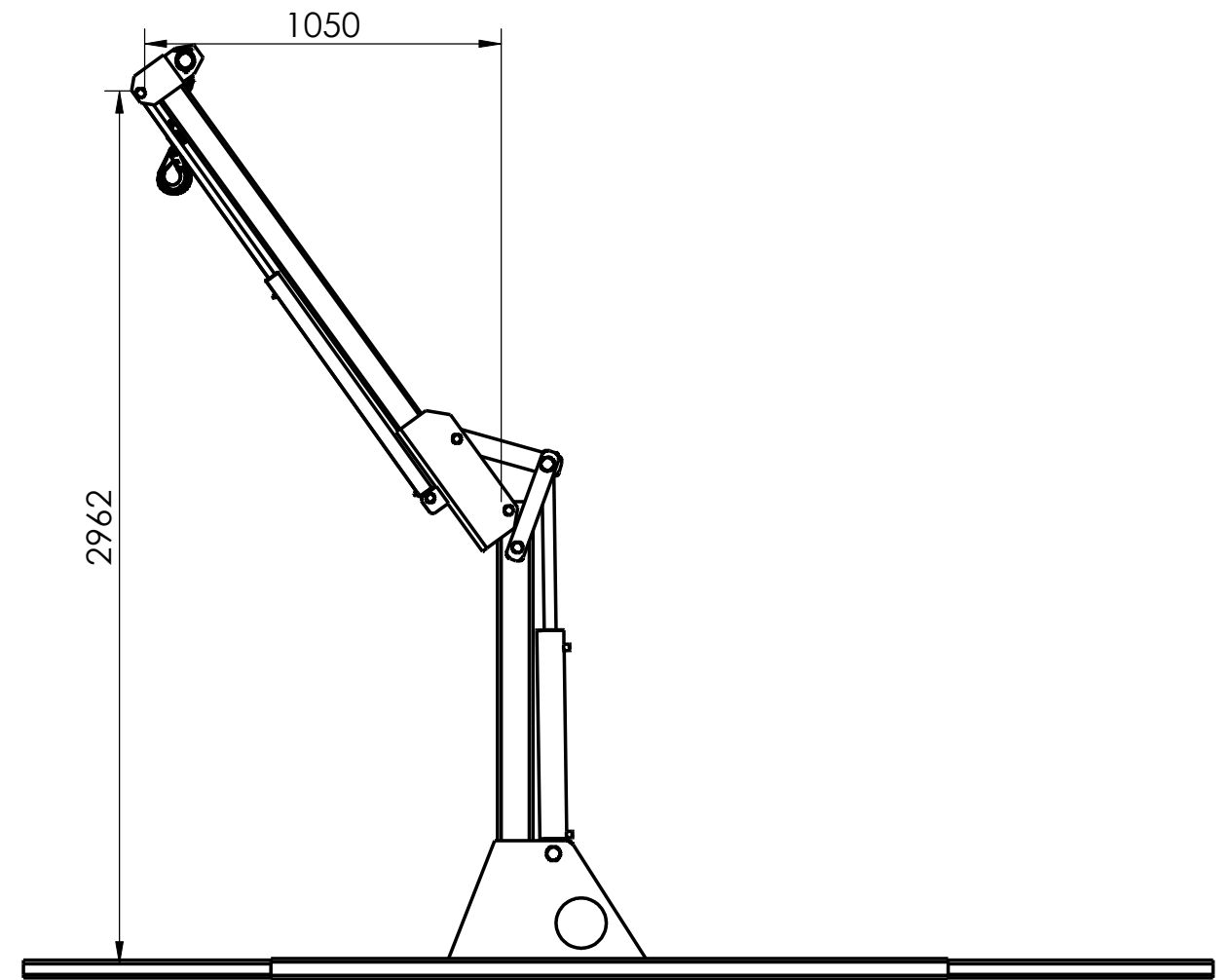
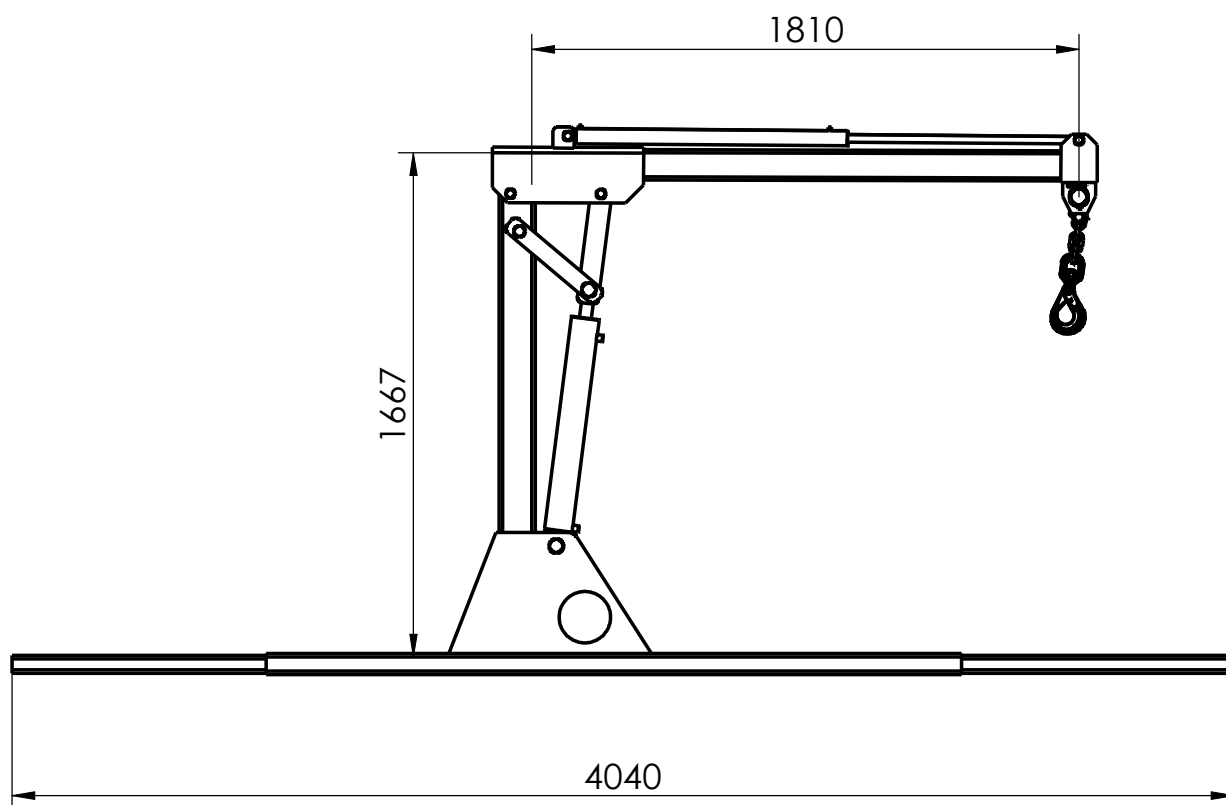
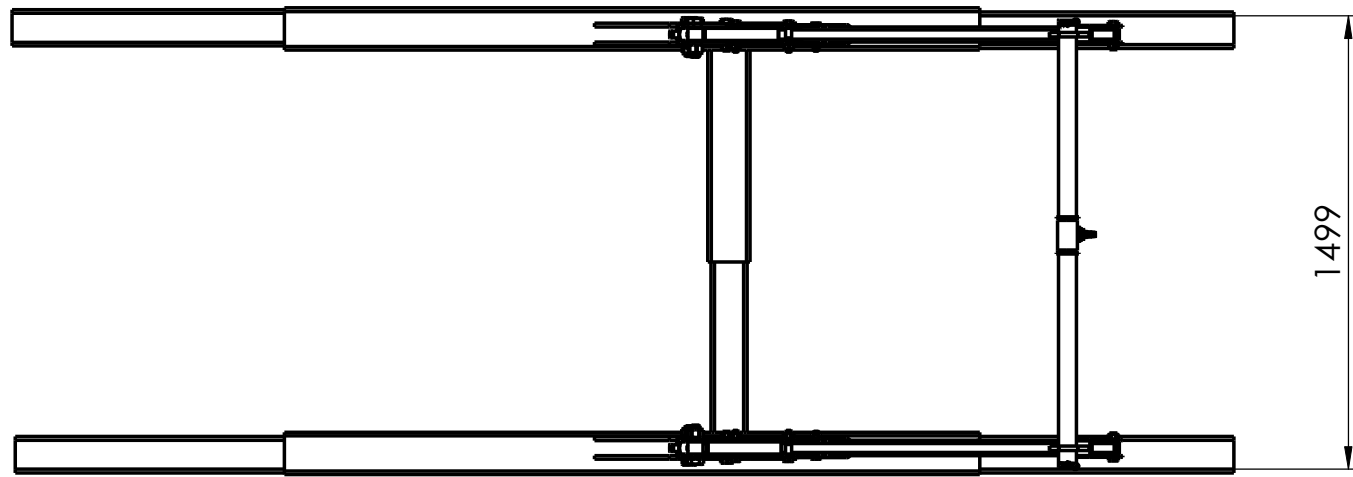
DEL NO.	DELNAVN	Materiell	ANTALL
1	Ytre tverrbjelke	S355	1
2	Ytre bunnprofil	S355	2
3	Verikal bjelke	S355	2
4	Plate støttefot	S355	4
5	Midtre plate støttefot	S355	4
6	Indre bunnprofil kortside	S355	2
7	Indre bunnprofil langside	S355	2
8	Bombjelke	S355	2
9	Festeelement	S355	2
10	Plate	S355	4
11	Vertikalplate	S355	4
12	Løfteøre tverrbjelke	S355	2
13	Skive	S355	2
14	Sirkulær tverrbjelke	S355	1
15	Hylse	S355	1
16	Plate løftekrok	S355	2
17	Svingarem e-i	S355	4
18	Avstivning	S355	2
19	Svingarem e-f	S355	4
20	Hydraulisk sylinder 1		2
21	Låsemutter M30	Syrefast, fasthetsklasse 80	4
22	Bolt M20x90	Syrefast fasthetsklasse 80	4
23	Bolt M30x110	Syrefast, fasthetsklasse 80	4
24	Bolt M 20x 80	Syrefast, fasthetsklasse 80	4
25	Låsemutter M20	Syrefast, fasthetsklasse 80	8
26	Indre tverrbjelke	S355	1
27	Låsebolt tverrbjelke		2
28	Låsebolt bunnprofil		5
29	Løftekjetting		1
30	Løftekrok		1
31	Hydrauliske sylinder 2		2
32	Festebrakett sylinder		2
33	Bolt, løfteøre		1
34	Bolt M28x90	Syrefast, fasthetsklasse 80	2
35	Låsemutter M25	Syrefast, fasthetsklasse 80	2



Kommentar:

**SolidWorks Student License
Academic Use Only**

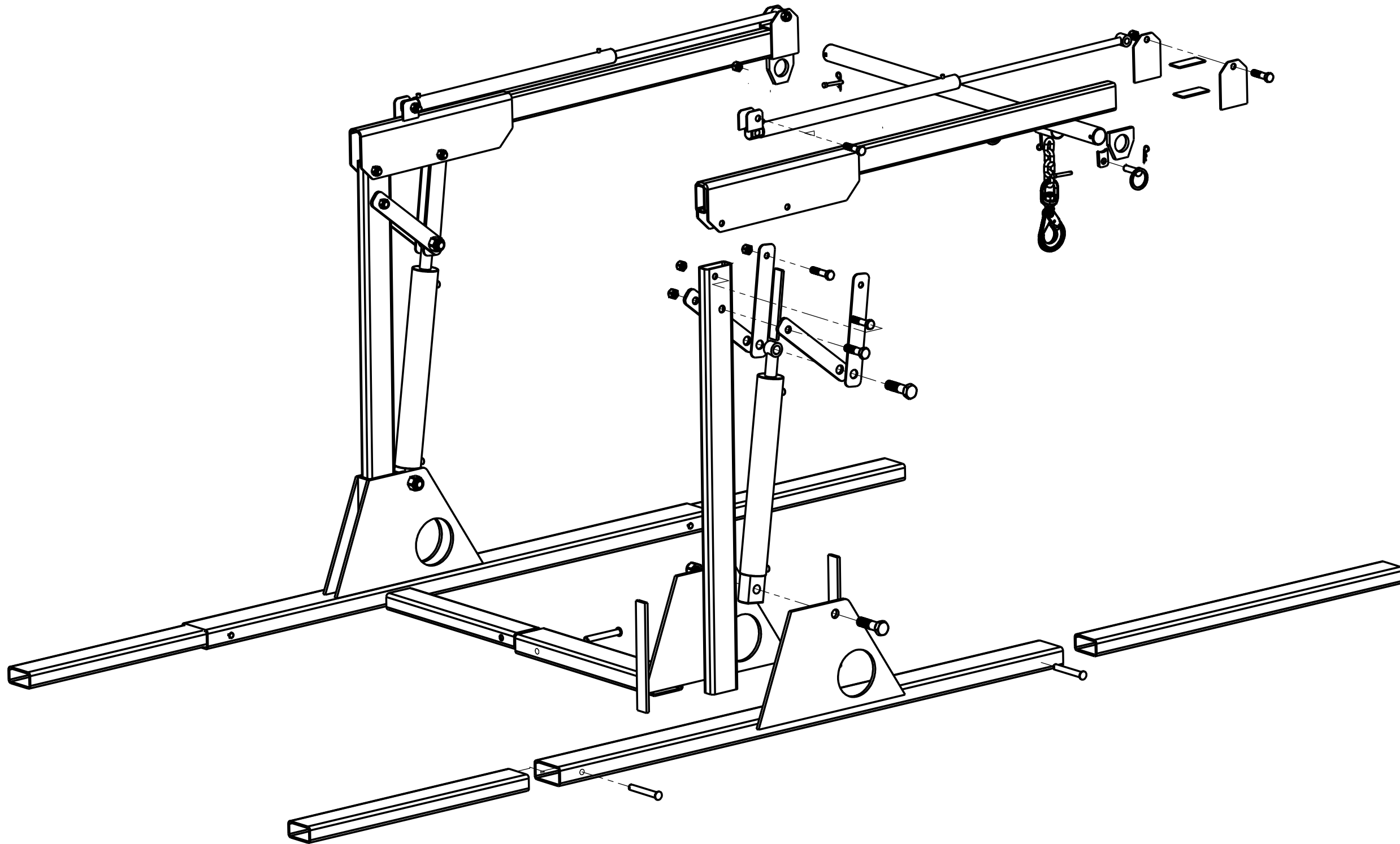
Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:20	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Totaloversikt		se materielliste		
Vedlegg: 1				Tegning nr.: T - 001



Kommentar:
Egenvekt- 417 Kg

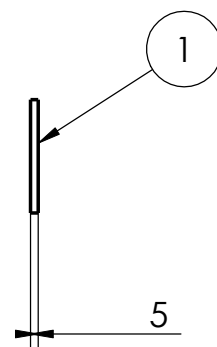
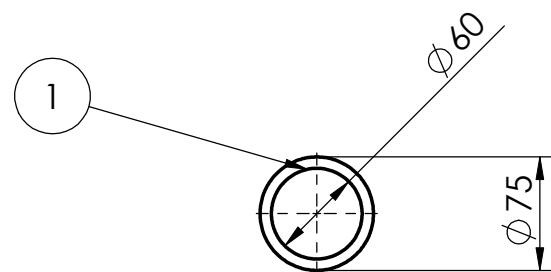
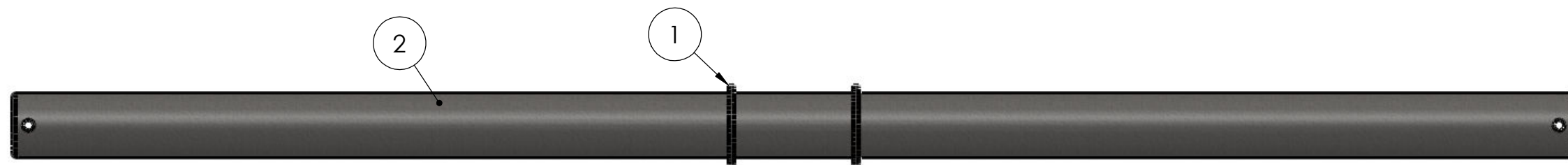
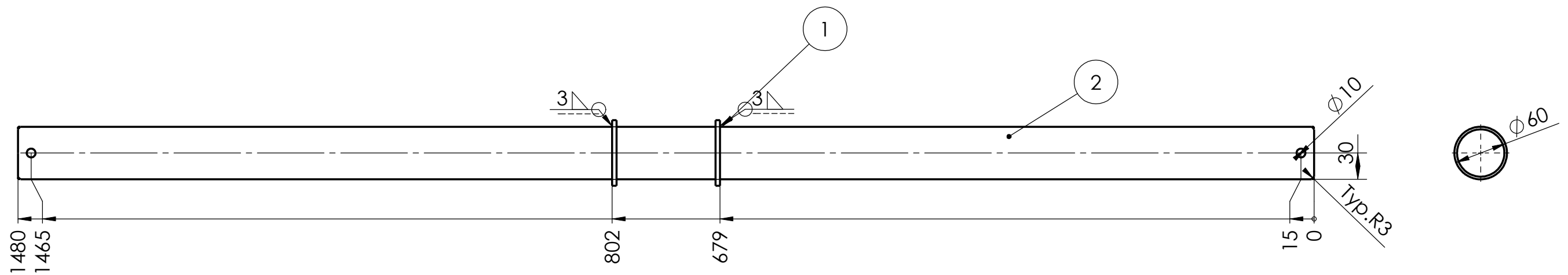
SolidWorks Student License
Academic Use Only

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:25	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Hoveddimensjoner		Se delliste		
Vedlegg: 3				Tegning nr.: T - 003



Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:15	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Ekspolosjonstegning				Tegning nr.:
Vedlegg: 3				T - 003

Kommentar:

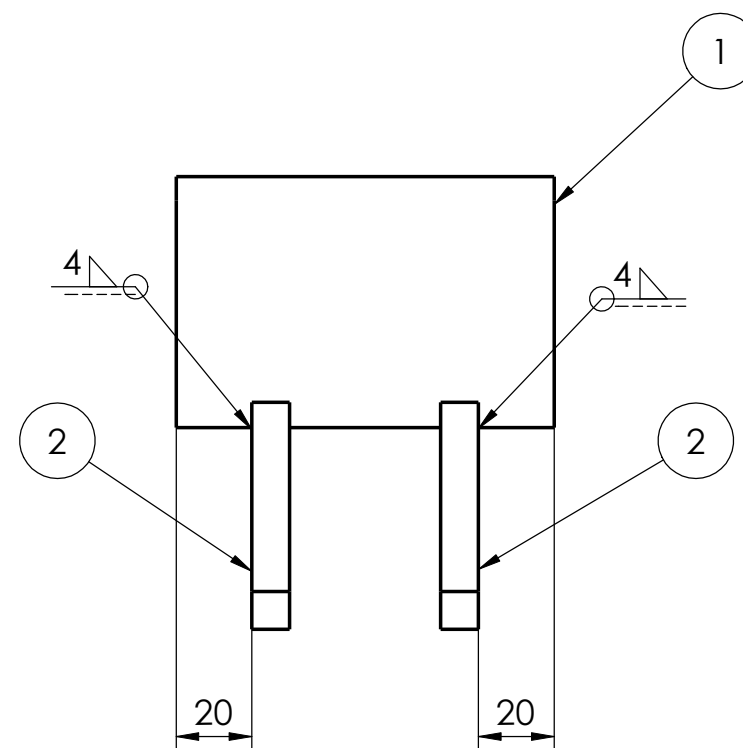
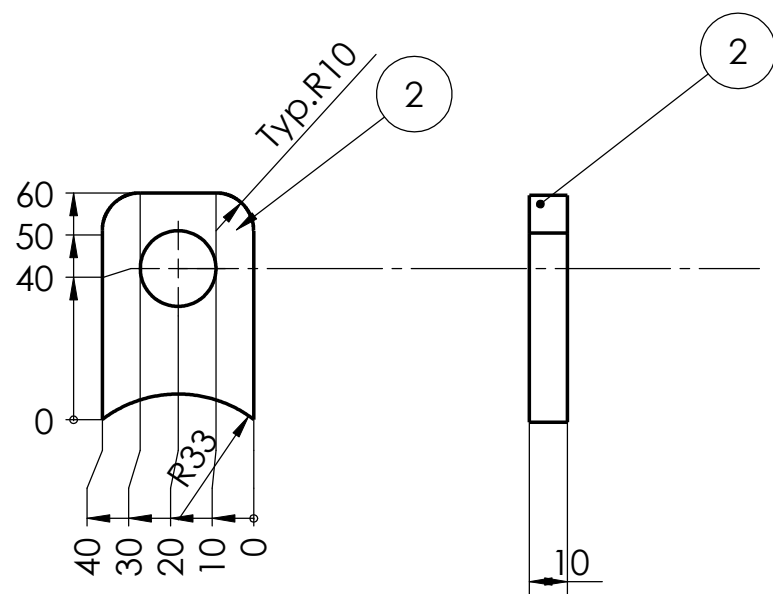
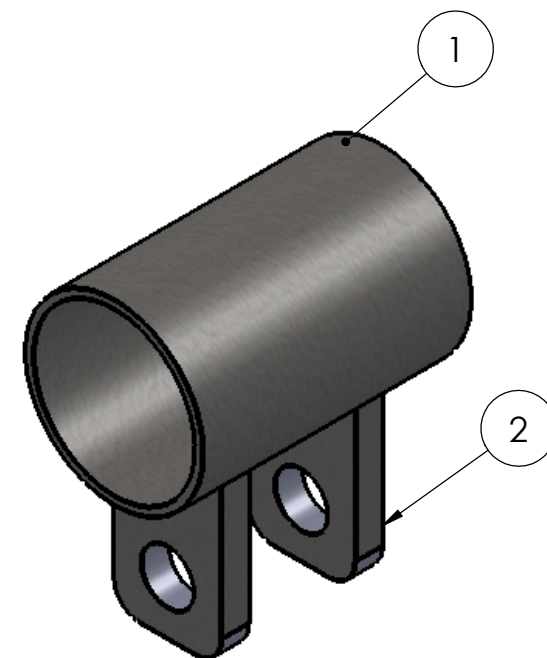
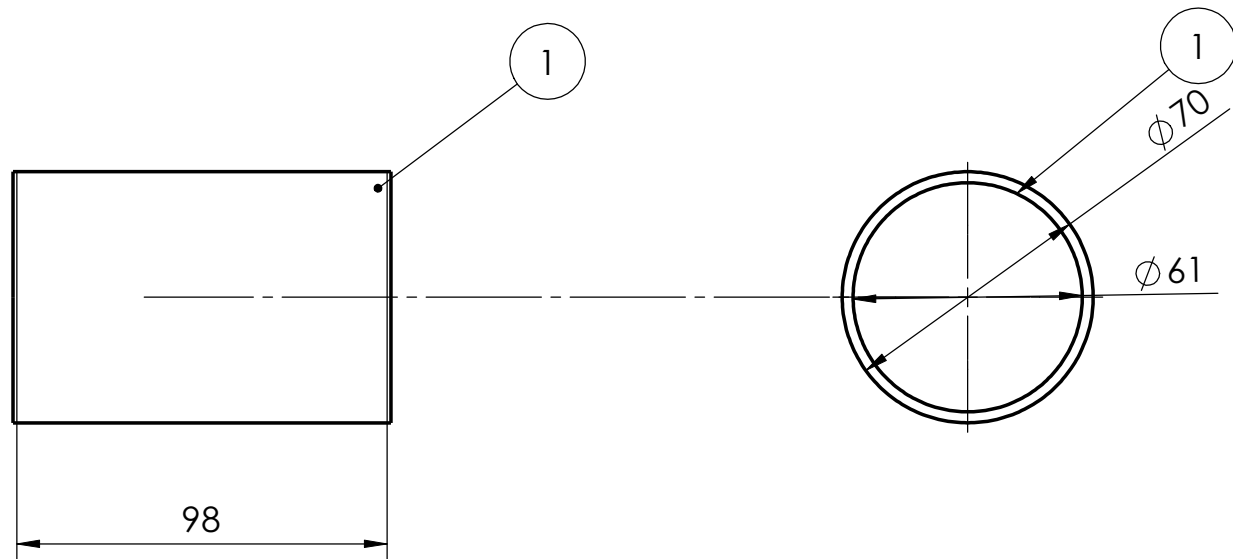


Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	ANTALL
1	Skive	S355 75x60x5	2
2	Sirkulær tverrbjelke	S355 Ø60	1

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:5	

Skarpe kanter avgrades, Hylse for innfesting på tres på bjelke for sveis av siste skive.

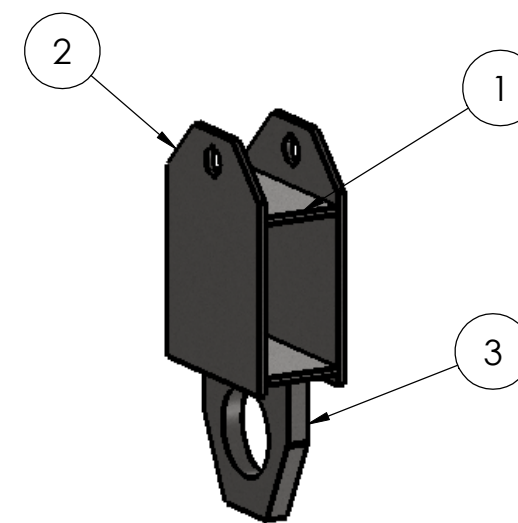
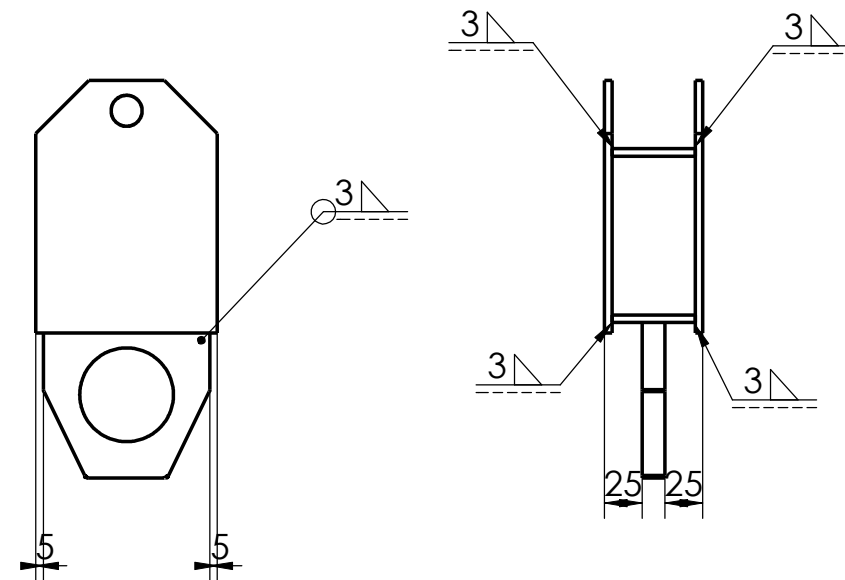
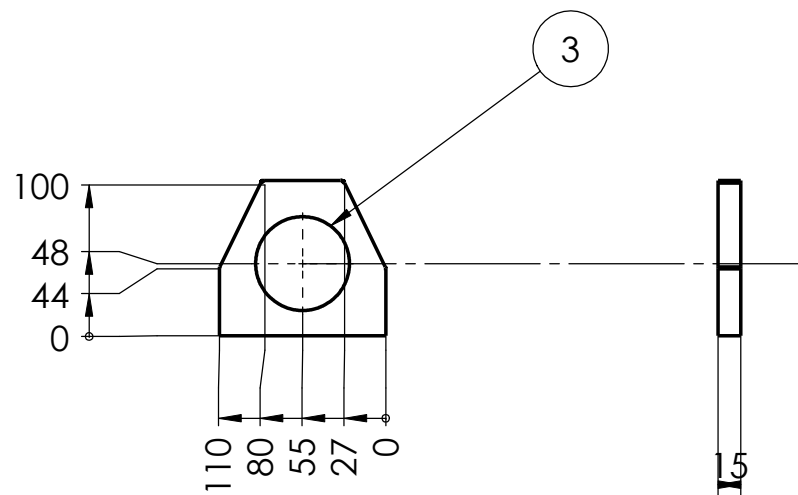
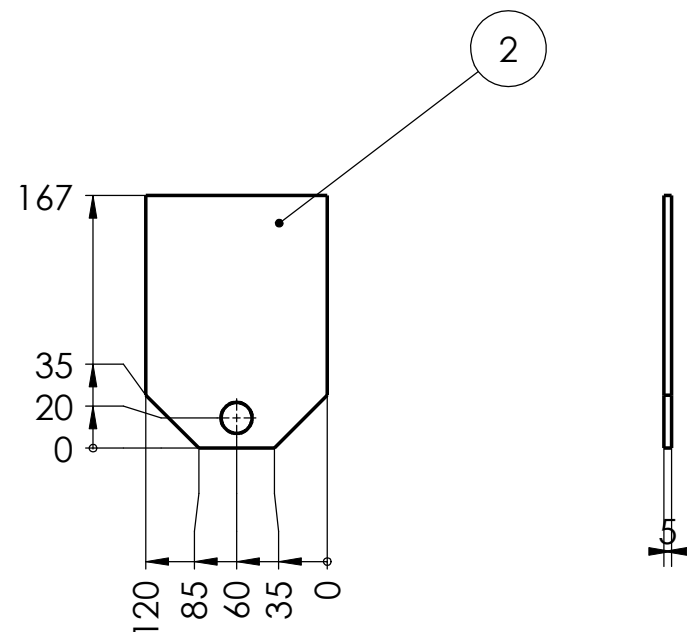
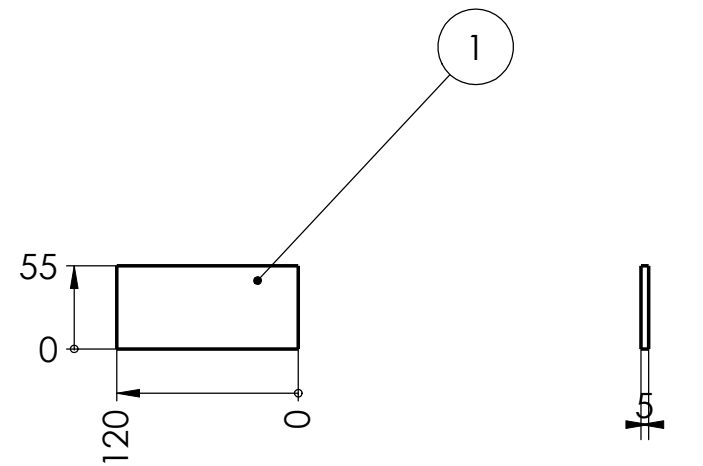
Tittel:	Material:	Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Siirkulær tverrbjelke.	Se detaljeliste	
Vedlegg: 4		Tegning nr.: T - 004



Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	ANTALL
1	Hylse	S355 rør 100x3	1
2	Plate løftekrok	S355 plate 40x60x10	2

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:2	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen Tegning nr.: T - 005
Brakett for løftekrok		Se detaljeliste		
Vedlegg: 5				

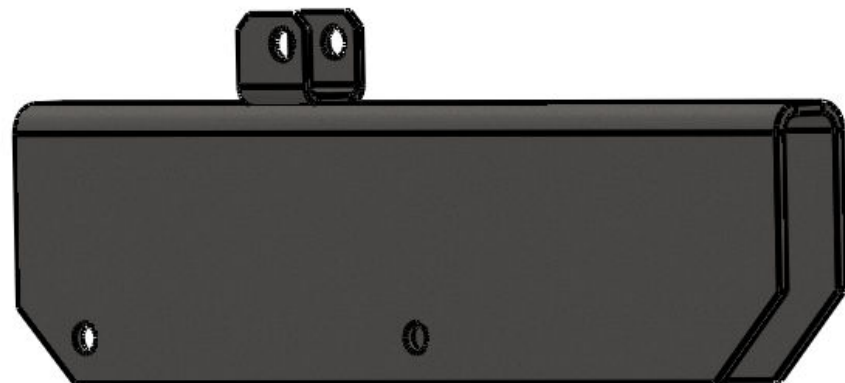
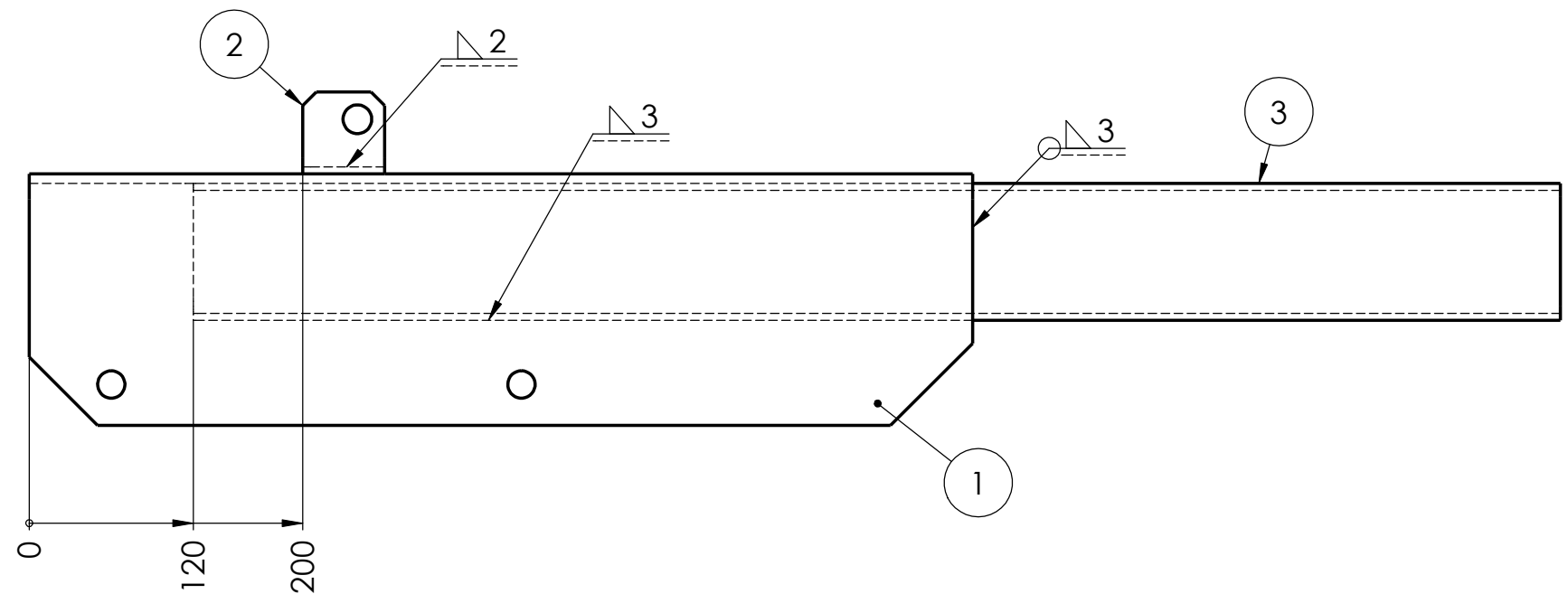
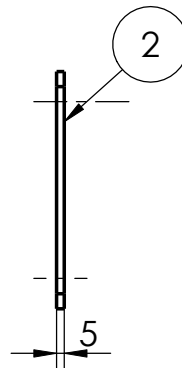
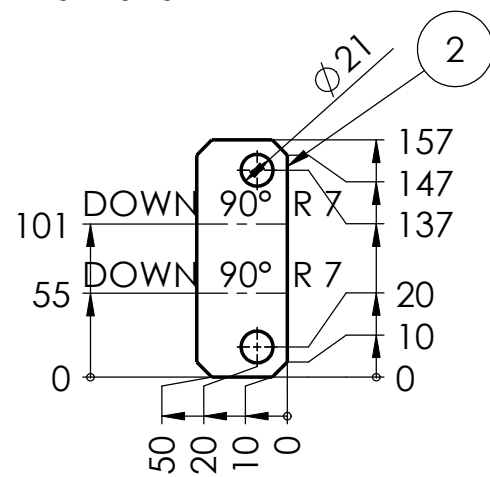
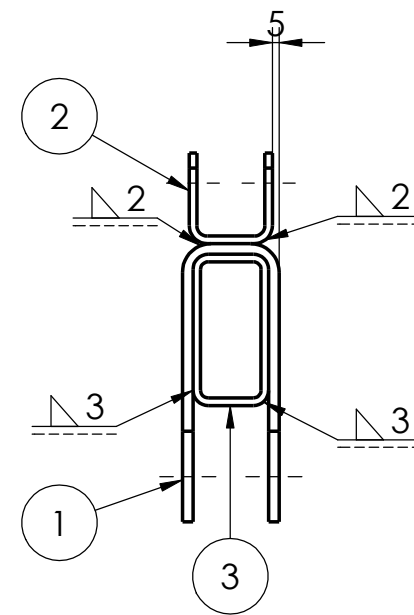
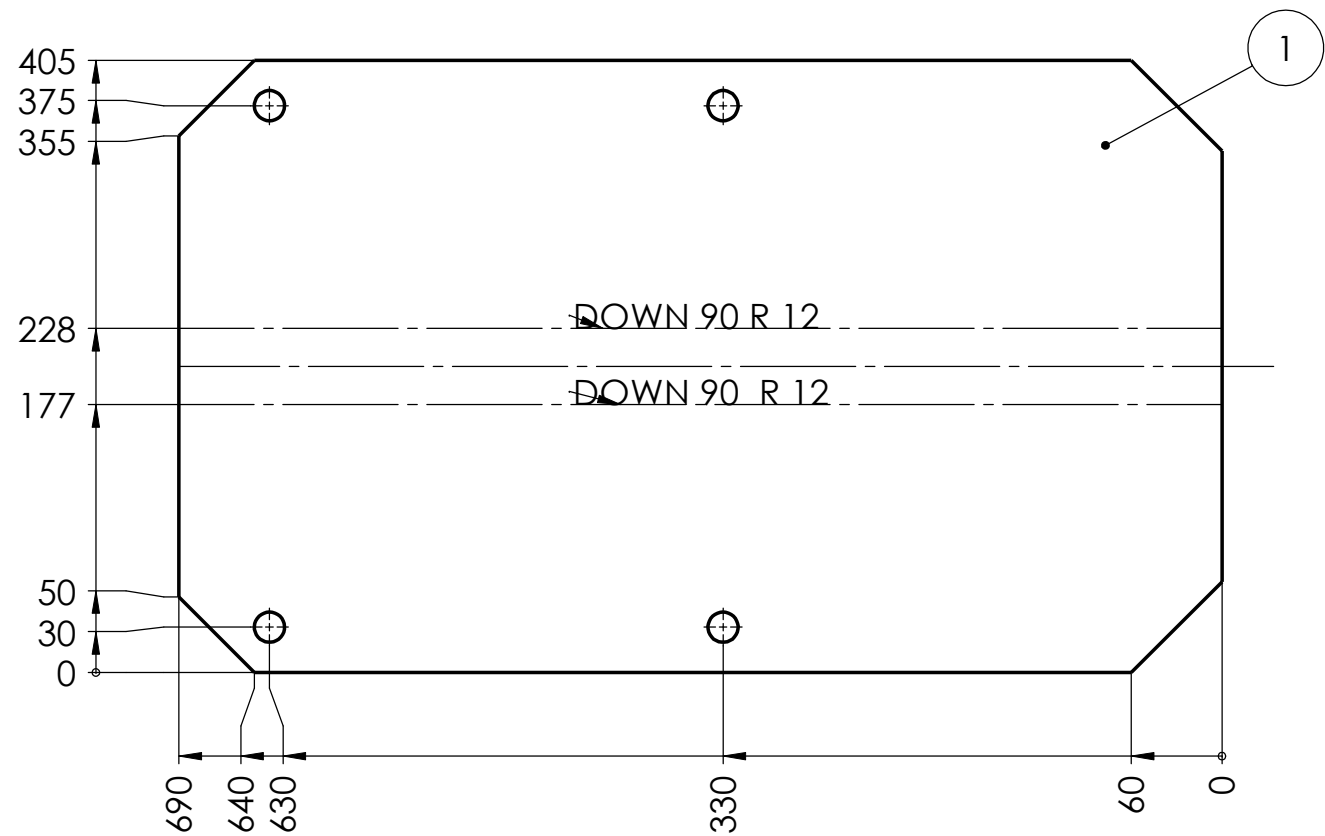
Kommentar:
Skarpe kanter avgardes.



Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	ANTALL
1	Plate	Plate S355 120x55x5	4
2	Vertikalplate	Plate S355 120x167x5	4
3	Løfteøre tverrbjelke	Plate S355 110x100x15	2

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:5	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen Tegning nr.: T - 006
Innefsting bombjelke- tverrbjelke		Se delliste		
Vedlegg: 6				

Kommentar:
Skarpe kanter avgrades.



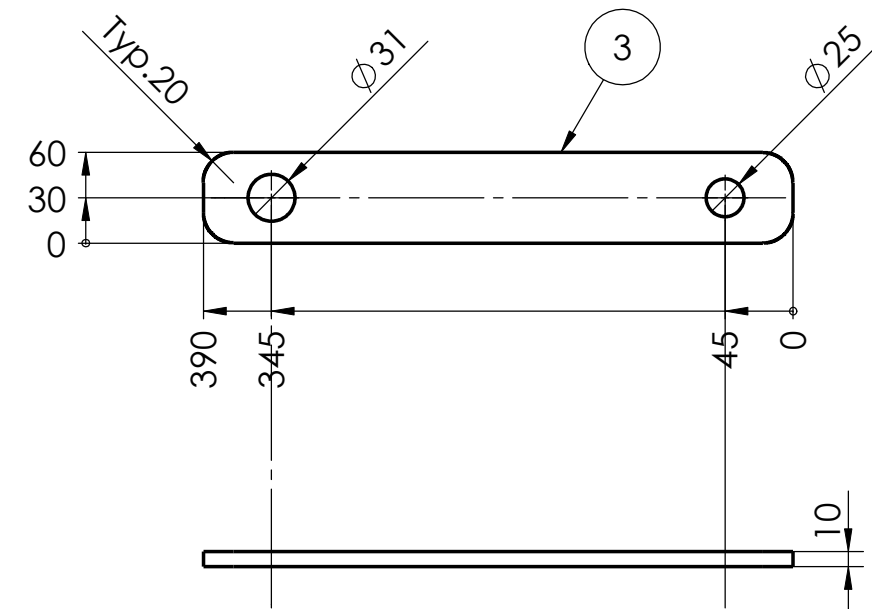
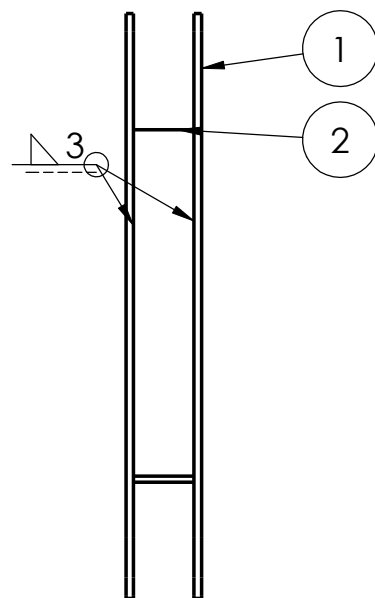
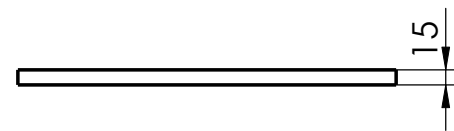
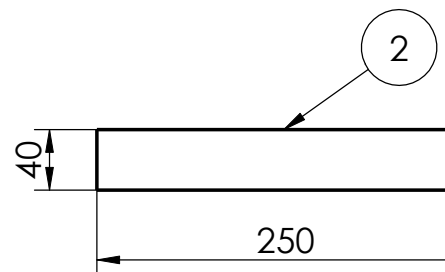
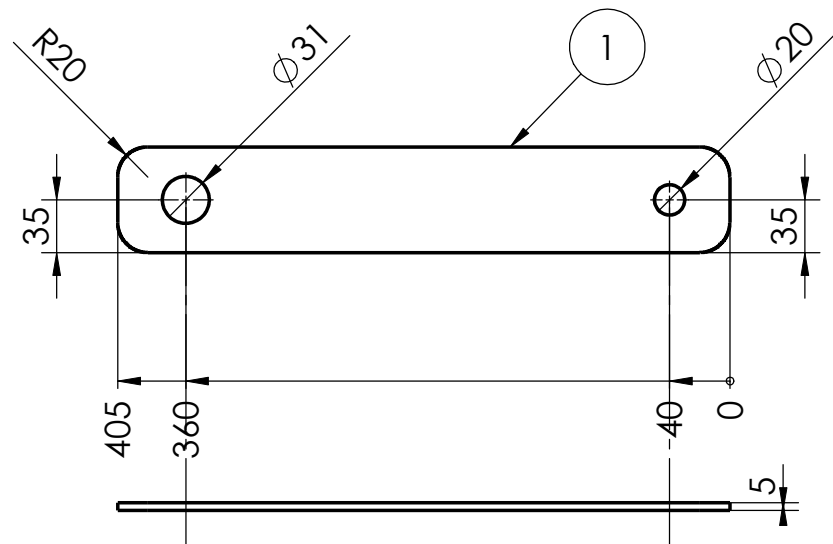
Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	ANTALL
1	Festelement bom	Plate S355 690x405x7	2
2	Festebrakett sylinder	Plate S355 157x60x5	2
3	Bombjelke	Hulprofil S355 100x50x5	2

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:5	

Skarpe kanter avgardes.
Bombjelke vises i riktige
mål på vedlegg 11

Tittel:	Material:	Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Festeelmenet og bombjelken.	Se delliste	
Tegning nr.:		T - 007

Vedlegg: 7	
------------	--



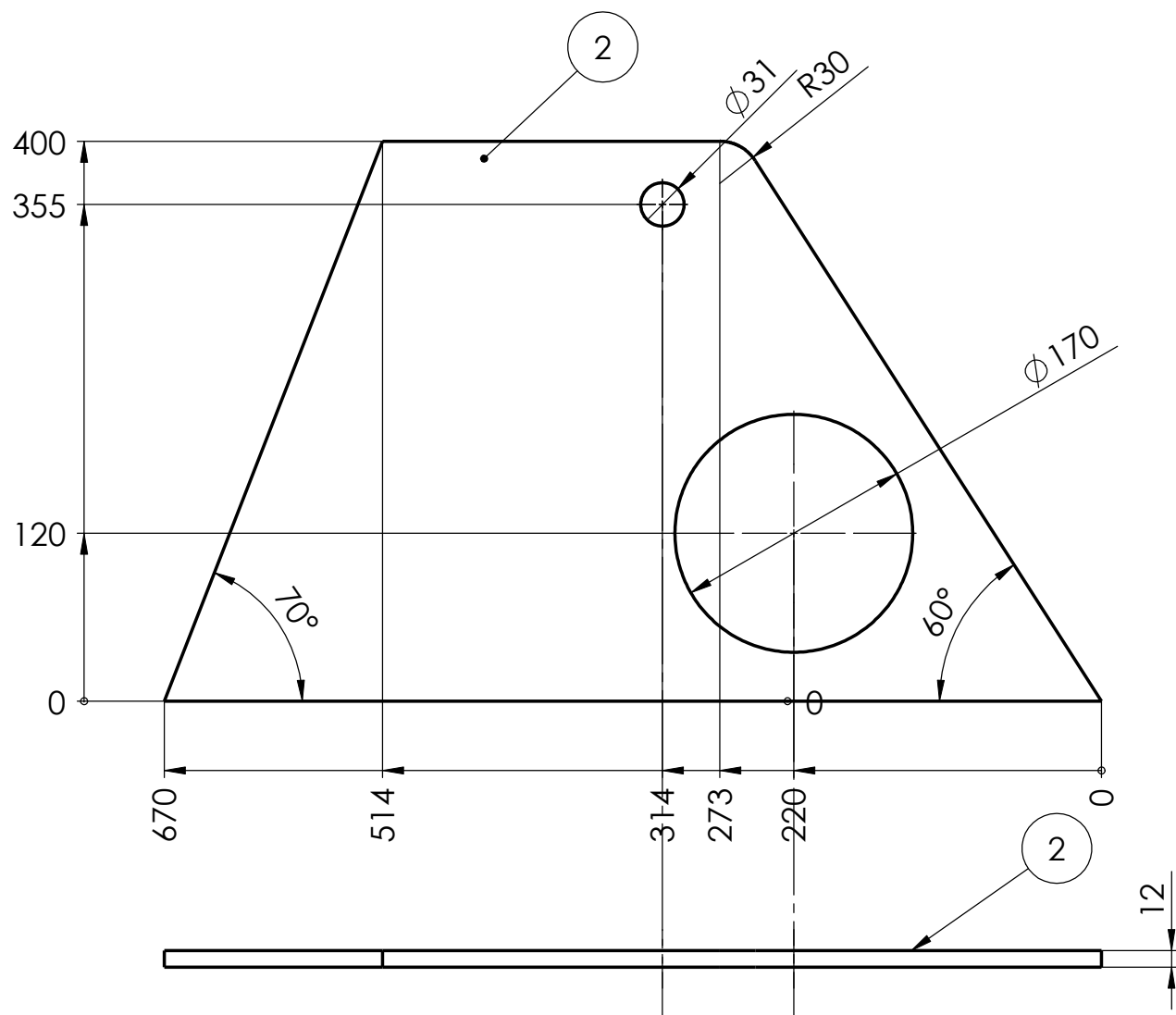
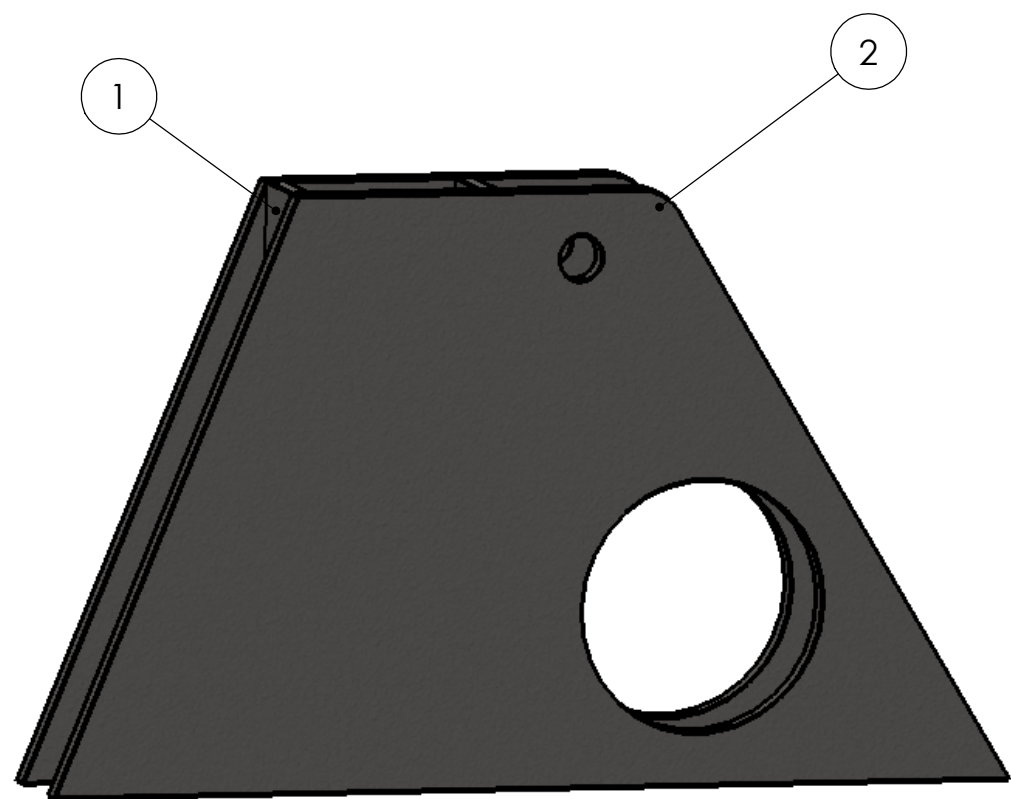
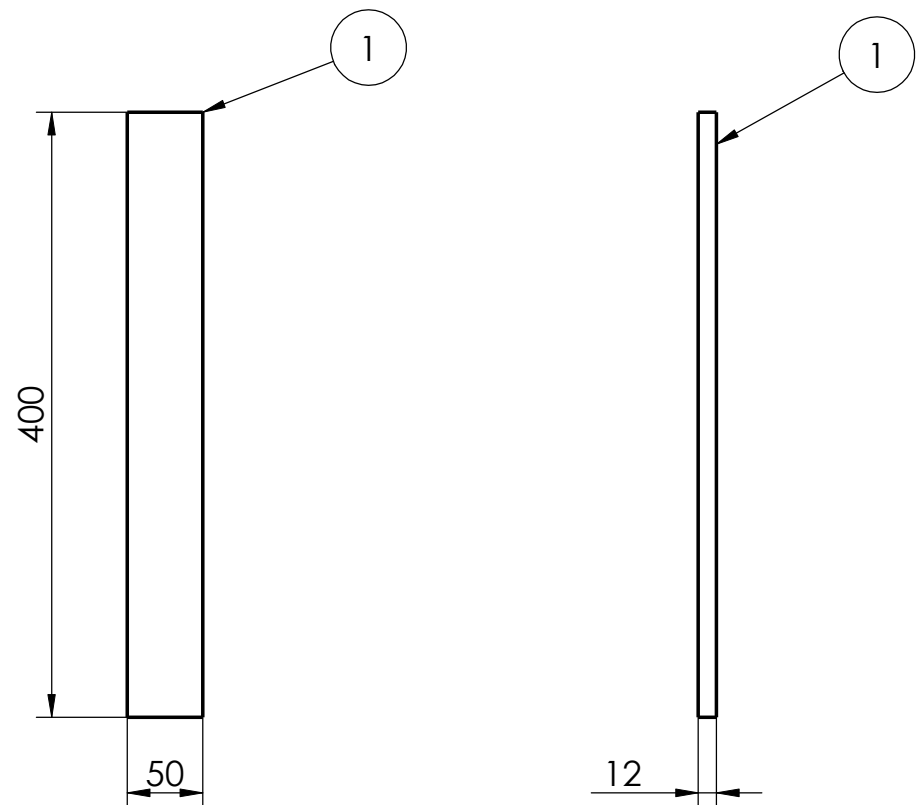
Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	Antall
1	Svingarm e-i	S355	4
2	Avstiver	S355	2
3	Svingarm e-f	S355	4

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:5	

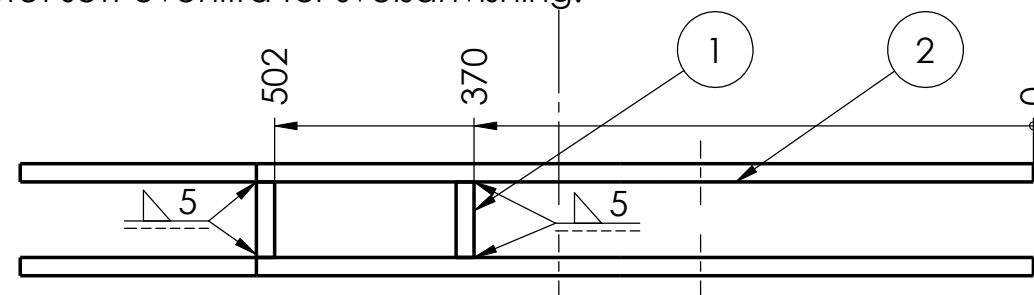
Kommentar:
Svingarm E-I festes med kilesveis.

Tittel:	Material:	Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen Tegning nr.: T - 008
Svingarm E-I, avstiver og svingarm E-F	Se delliste	

Vedlegg: 8	
------------	--



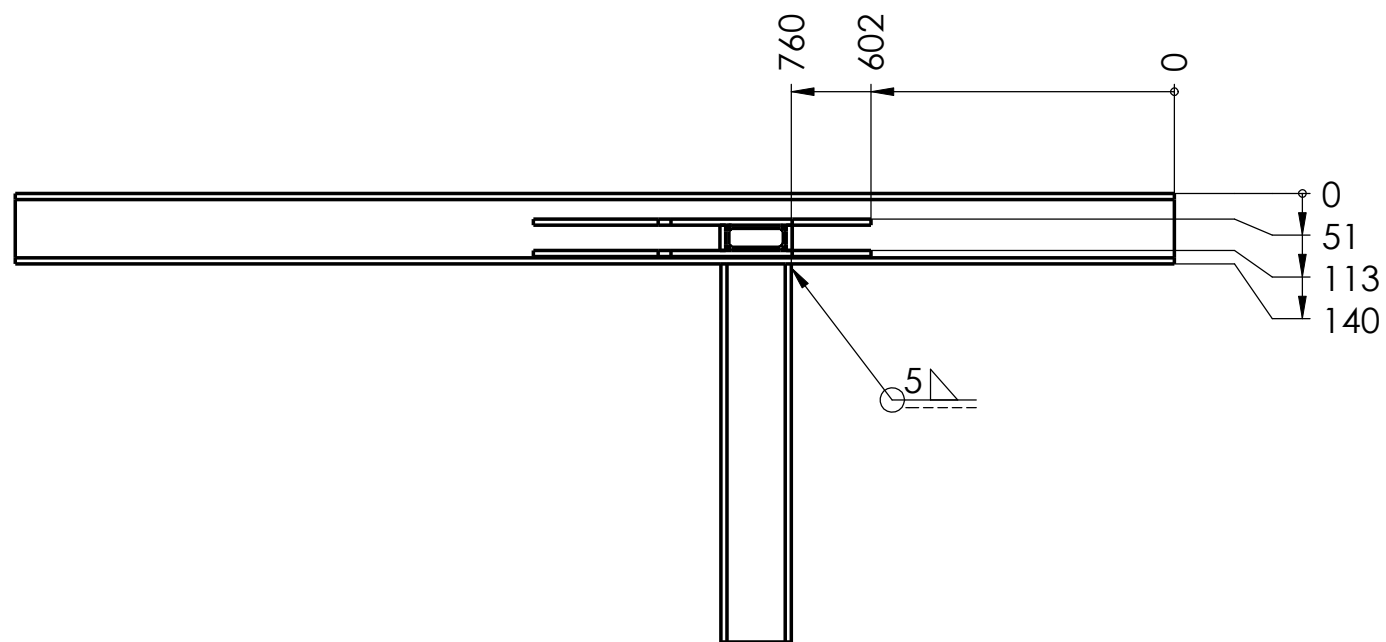
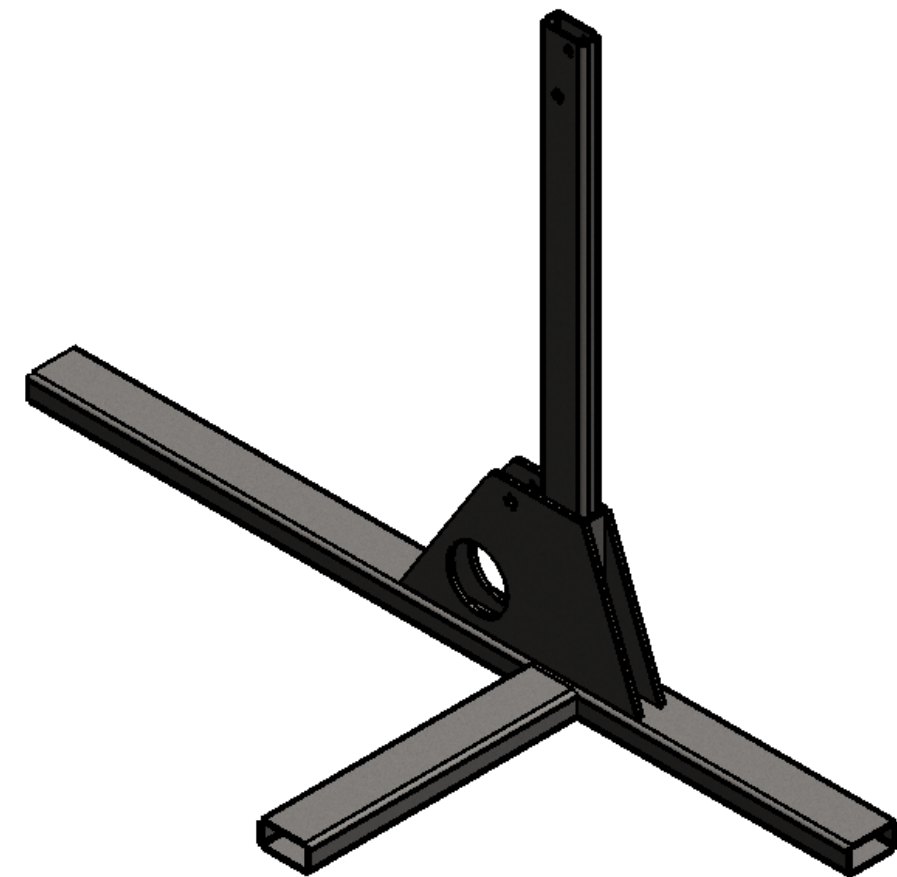
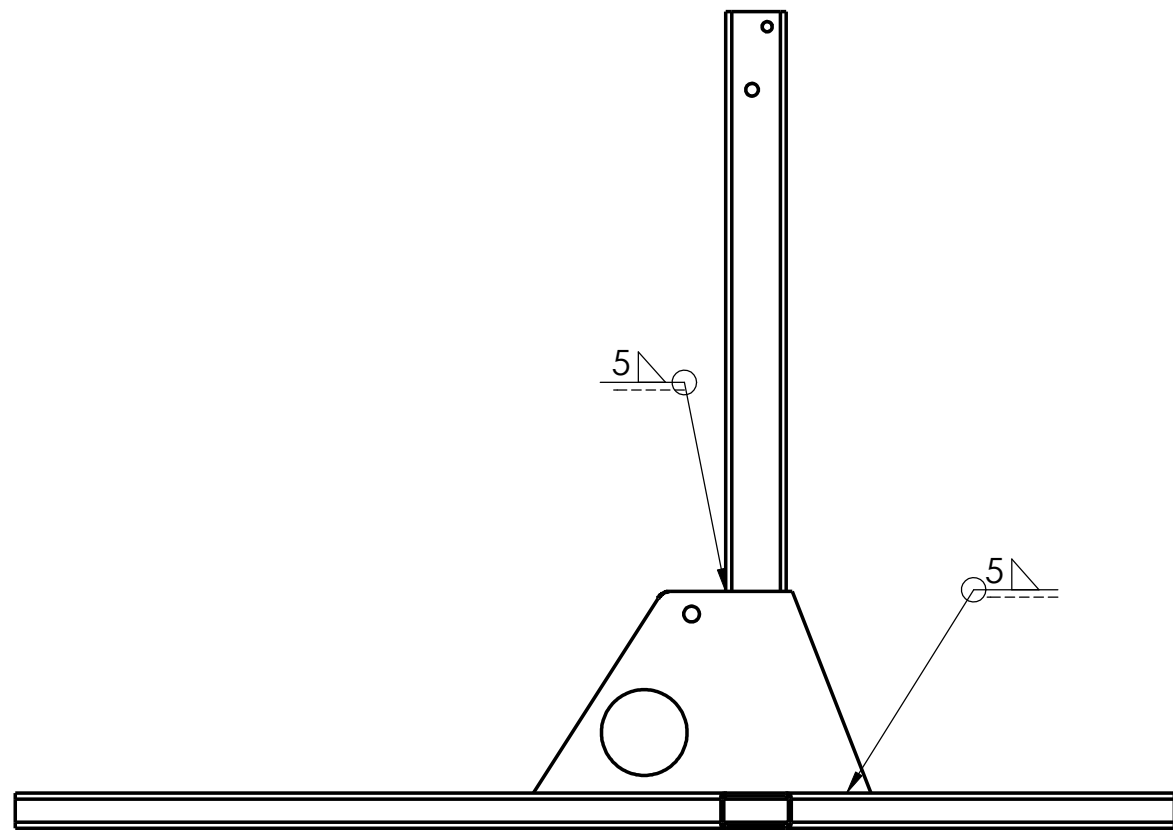
Støttefot sett ovenifra for sveisanvisning:



Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	ANTALL
1	Midtre plate støttefot	S355 t=12 mm	4
2	PLate støttefot	Plate S355 t=12mm	4

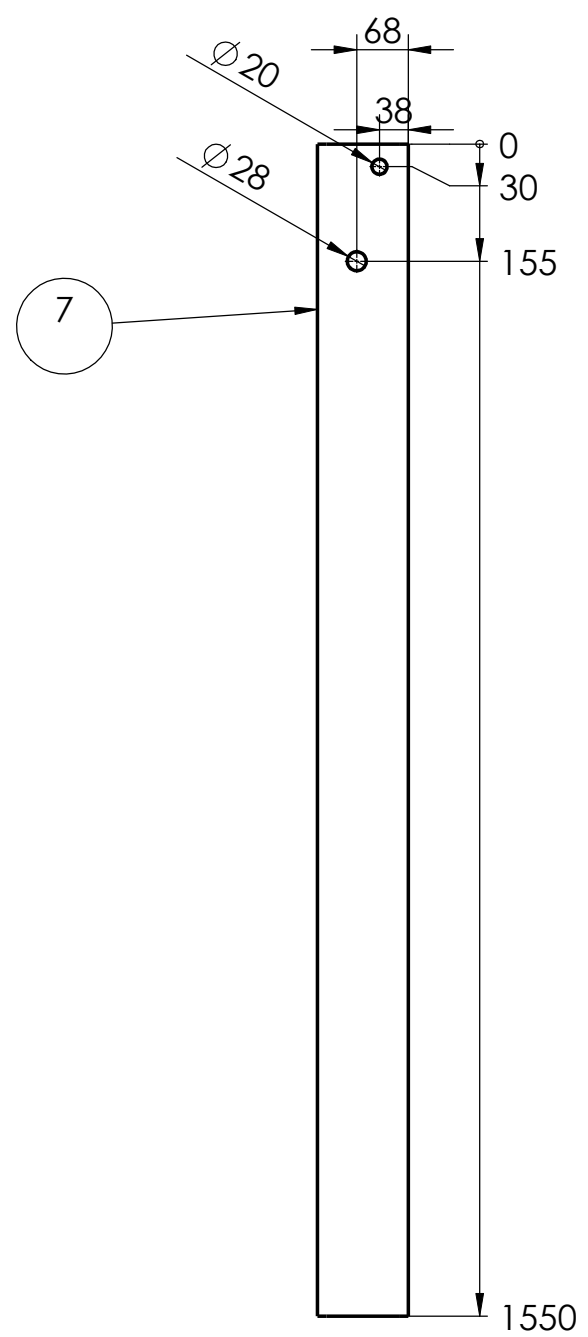
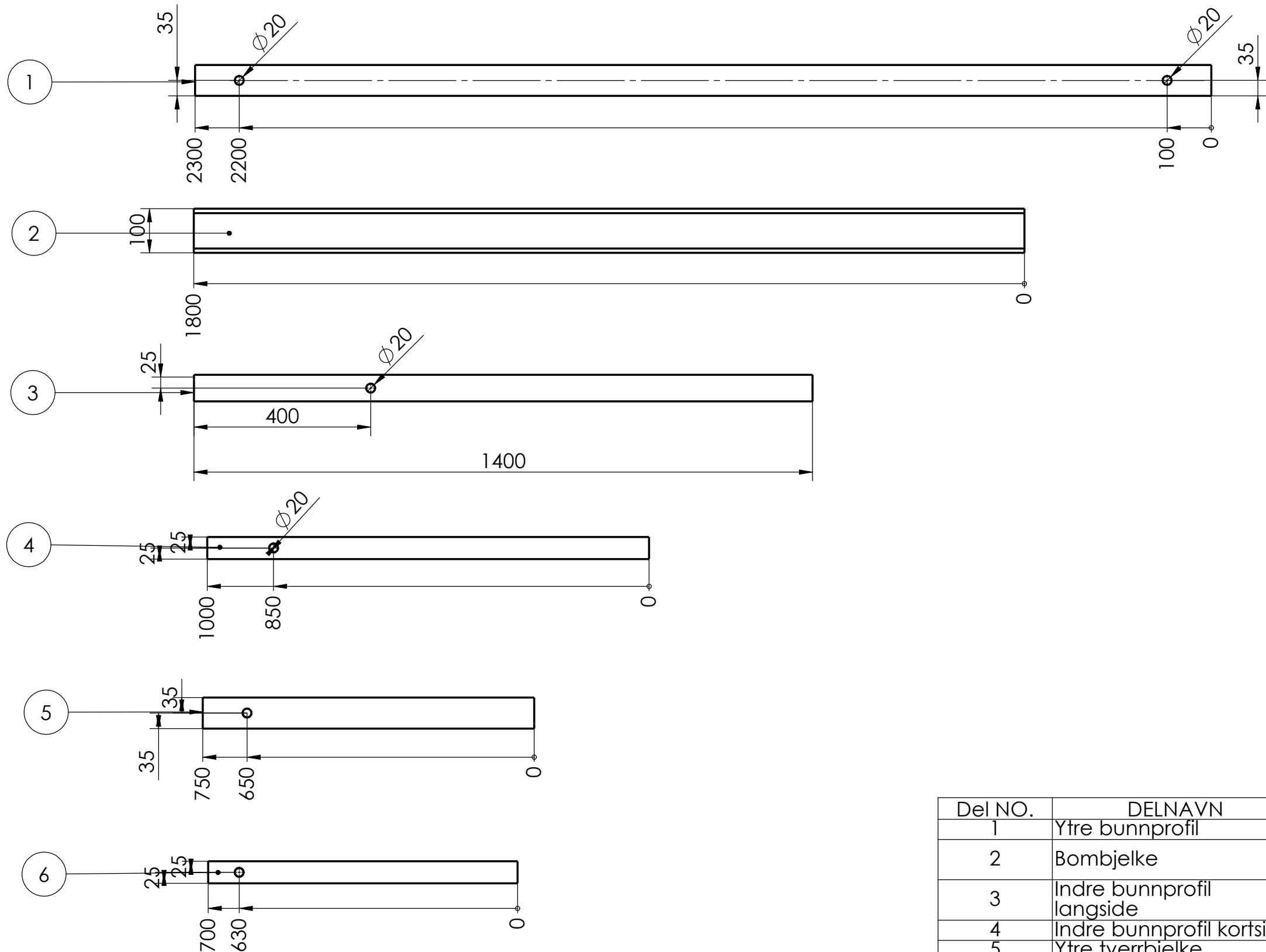
Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:5	
Tittel:		Material:	Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen	
Støttefot		Se delliste		
Vedlegg: 9			Tegning nr.: T - 009	

Kommentar:
Skarpe kanter avgardes



Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:15	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Innfesting støttefot		Se delliste		
Vedlegg: 10				Tegning nr.: T - 010

Sveiseanvisning for ytre bunnprofil, støttefot, ytre tverrbjerk og vertikal profil.



Del NO.	DELNAVN	BEKSRIVELSE	ANTALL
1	Ytre bunnprofil	S355 140x70x6	2
2	Bombjelke	S355 100x50x5	2
3	Indre bunnprofil langsida	S355 120x50x6	2
4	Indre bunnprofil kortside	S355 120x50x6	1
5	Ytre tverrbjelke	S355 140x70x6	1
6	Indre tverrbjelke	S355 120x50x6	2
7	Vertikal bjelke	S355 120x50x6	2

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Carl Fredrik Talberg		1:10	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
Rektangulære profiler		Se Delliste		
Vedlegg: 11				Tegning nr.: T - 011

Kommentar: