

Bacheloroppgave

IP305012 Bacheloroppgave

Løfteåk for hovedmotorer

1915 1911

Totalt antall sider inkludert forsiden: 50 / 4

Antall ord: 4906

Innlevert Ålesund,

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. **Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.**

Du/ dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§30 og 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens studieforskrift §30	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng:

Veileder: Lars Petter Bryne, Rolf Verpeide, Lene Alvestad Sønderland

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiÅ med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Høgskolen i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 29/05/15

Forord

Denne hovedoppgaven er et resultat av arbeidet gjort i emnet «IP305012 - Bacheloroppgave Produkt- og systemdesign og Skipsdesign», ved Høgskolen i Ålesund. Oppgaven er skrevet av to studenter, for selskapet Vard Group AS avd. Brattvåg.

VARD er et globalt konsern innen design og bygging av offshore- og spesialfartøyer. VARD består av ti verft i Norge, Brasil, Romania og Vietnam, samt spesialselskaper innenfor design, elektro, innredning og rørinstallasjon med mer. Hovedkontoret ligger i Ålesund.

Oppgaven omhandler konstruksjon og design av et regulerbart løfteåk for hovedmotorer.

Løfteåket skal nyttes til løfteoperasjoner fra land og over i fartøy, hvor motoren videre skal heises ned i maskinrommet, gjennom en åpning på dekk.

Løfteåket passer for forskjellige størrelser av hovedmotorer, og har en maks tillatt vekt på 90 tonn.

Oppgaven har et tverrfaglig innhold med spesielt fokus på fagene Mekanikk og fysikk, Styrkeberegninger, Maskinteknikk og Materiallære.

Gruppen har hatt to veiledere i bedriften, Rolf Egil Verpeide og Lene Alvestad, samt en veileder ved høgskolen, Lars Petter Bryne. Våre veiledere har vært en unik ressurs til læring, gjennom å rådgiving, og gjennom å dele sin kompetanse.

Innholdsfortegnelse

1.0 Innledning	6
1.1 Oppgaven	6
1.2 Bakgrunn	6
1.4 Verktøy for å løse oppgaven	7
1.5 Forskrifter og standarder	7
2.0 Forslag til utforming av løfteåk	7
2.1 Konsept	7
2.2 Kravspesifikasjoner fra Vard	8
2.3 Forslag til justeringsmekanisme	9
2.3.1 Forslag 1: Teleskopløsning	9
2.3.2 Forslag 2: Multipunkts-løsning	10
2.3.3 Forslag 3: Modulbasert løsning	10
2.4 Konsept for innfesting	11
2.4.1 Forslag 1: Løfteørrer	11
2.4.2 Forslag 2: Løfteøre	11
2.4.3 Forslag 3: Ledd-løsning	12
3.0 Valg av løsning for justering og for innfestning av stropper	12
3.1 Underste åk	12
3.1.1 Valg av løsning for justering	12
3.1.2 Valg av innfestningsmetode	12
3.1.3 Valg av profil	12
3.1.4 Valg av materiale	13
3.2 Øverste åk	13
3.2.1 Valg av løsning for justering	13
3.2.2 Valg av innfestningsmetode	13
3.2.3 Valg av profil	13
3.2.4 Valg av materiale	13
4.0 Dimensjonering av underste åk	14
4.1 Kraftbilde	14
4.2 Spenningsberegninger Ved spenningsberegninger, er det tatt utgangspunkt i sikkerhetsfaktor 4 fra Maskinforskriften (n=4).	15
4.2.1 Nedre del av ledd	16
4.2.2 Øverste del av ledd	17

4.2.3 Snitt a	18
4.2.4 Justeringsbolter	19
4.2.5 Sjakkelbolt	20
4.3 Sikkerhet mot knekking	20
4.3.1 Kneking midt på løfteåket	21
4.3.2 Kneking ved svakt punkt	22
4.4 Sveiseberegninger	23
4.4.1 Sveiseberegninger for hulltrykksplate 1	23
4.4.2 Sveiseberegninger for hulltrykksplate 2	24
5.0 Dimensjonering av øverste åk	
Utregningene som er vist i dette kapitlet, bygger på de endelige dimensjonene på løfteåket. Dimensjoner/ valg av størrelser på profil for løfteåket, finnes i vedlegg 3, i den enkelte maskintegning for hver komponent.....	25
5.1 Kraftbilde	25
5.2 Spenningsberegninger	26
5.2.1 Nedre del av ledd 1	27
5.2.2 Øverste del av ledd 1	28
5.2.3 Nedre del av ledd 2	29
5.2.4 Øvre del av ledd 2	31
5.2.5 Endepart	32
5.3 Sikkerhet mot knekking	34
5.3.1 Kneking midt på toppspreder	34
5.4 Sveiseberegninger	35
5.4.1 Hulltrykksplate 1	35
5.4.2 Hulltrykksplate 2	36
5.4.3 Hulltrykksplate 3	36
5.4.4 Hulltrykksplate 4	37
5.4.5 Sveiste plater	37
6.0 Resultat	38
6.1 Underste åk	38
6.1.1 POM	39
6.1.2 Sjakler	40
6.2 Øverste åk	41
6.2.1 Sjakler	42
6.3 Sammensatt konstruksjon	43
6.3.1 Overflatebehandling	44

6.3.2 Kostnader	45
7.0 Diskusjon og konklusjon av valgt løsning	45
8.0 Referanseliste	46
9.0 Vedlegg.....	47

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven presenterer et forslag til konstruksjon og design av et regulerbart løfteåk til bruk for forskjellige dimensjoner av hovedmotorer. Løfteåket skal reguleres i både bredde- og lengderetning, dermed er det valgt en løsning bestående av tre åk, hvor to av åkene reguleres etter motorens bredde-retning og ett åk etter ønsket lengde. Oppgaven går i stor grad ut på å finne ut hvilken utforming de tre åkene skal ha, med tanke på hvordan de skal kunne reguleres, og hvilken løsning de skal ha for innfesting av løftestropper.

Konstruksjonen er dimensjonert ut fra en maks motorvekt på 90 tonn.

Proessen startet med å finne allerede eksisterende løsninger på markedet og kartlegge hvilke standarder og forskrifter som var gjeldende. Av regelverk er det tatt utgangspunkt i Maskinforskriften.

Etter formgivingen og designet var bestemt, begynte dimensjoneringen. Alle beregninger er gjort i henhold til dimensjoneringskriteriene i Maskinforskriften.

Komponentene som skal tilvirkes er tegnet i 3D, med nøyaktige maskintegninger.

Det er også utarbeidet bruksanvisning og monteringshenvisning for løftekonstruksjonen, og vurdert hvordan konstruksjonen skal overflatebehandles.

1.0 Innledning

1.1 Oppgaven

Oppgaven går ut på å konstruere og designe et regulerbart løfteåk for hovedmotorer. Løfteåket skal nyttes til løfteoperasjoner fra land og over i fartøy, hvor motoren videre heises ned i maskinrommet gjennom en åpning på dekk.

Løfteåket skal passe til forskjellige størrelser av hovedmotorer. Men Vard har gitt oss en begrensning på hvilke motorstørrelser det skal passe for, gjennom å gi oss mål på hva som skal være største og minste lengde og bredde for åket. Disse målene har de satt med utgangspunkt i to ulike hovedmotorer, en hovedmotor fra Rolls Royce og et generatorsett fra Wärtsilä.

Det er også spesifisert en maksimal vekt åket skal dimensjoneres for, og største tillatte vekt på motor, er 90 tonn.

Oppgaven går ut på å finne den beste løsningen, både styrkemessig, produksjonsteknisk og økonomisk. Det skal lages arbeidstegninger, bruksanvisning og monteringshenvisning. Løfteåket skal lagres utendørs, så det må også vurderes hvilken overflatebehandling som er mest gunstig.

1.2 Bakgrunn

Løfteoperasjoner kan få alvorlige følger dersom det benyttes feil løfteutstyr. Konsekvensene av at utstyret ikke fungerer kan føre til tap av menneskeliv. Det kan også føre til store økonomiske utgifter.

1.3 Dagens løsning

Løfteutstyret som Vard benytter i dag, er ordinære spredere. De ønsker derfor et åk som kan reguleres og passe til forskjellige størrelser av hovedmotorer.



Bilde 1: Dagens løfteåk

1.4 Verktøy for å løse oppgaven

For å løse oppgaven er det benyttet følgende programmer:

- NX
- Excel

1.5 Forskrifter og standarder

Det er i denne oppgaven gjort beregninger i henhold til Maskinforskriften. Alle sikkerhetsfaktorer er hentet herfra. Med Maskinforskriftens sikkerhetsfaktorer vil åket godkjent til bruk på alle typer kraner og til alle typer løfteobjekter.

2.0 Forslag til utforming av løfteåk

2.1 Konsept

Løfteåket skal være mulig å regulere både i lengde- og bredderetning. For å få til dette bør det lages en konstruksjon bestående av flere åk (ref. Bilde 2).

For å løse oppgaven er det tatt utgangspunkt i en tre åks konstruksjon, slik som vist på Bilde 2.

Her reguleres de to underste åkene etter bredden på motoren, mens det øverste åket reguleres etter ønsket lengde.

Siden det er tatt utgangspunkt i en slik form for konstruksjon, blir det som skulle være ett løfteåk, en konstruksjon bestående av tre åk.

Når det skal presenteres forslag til utforming av løfteåk, vil det dermed settes fokus på hvilken utforming de tre åkene skal ha. Særlig med tanke på hvordan de skal reguleres, og hvilken innfestning som er gunstig for å feste stropp til åk.

De to underste åkene vil ha lik utforming, da de begge skal reguleres i bredde-retning.



Bilde 2: Konstruksjon som kan reguleres i lengde- og bredderetning

2.2 Kravspesifikasjoner fra Vard

For at det skal være en begrensning i oppgaven, har Vard fastsatt ulike mål på løftekonstruksjonen, som man må forholde seg til.

De to underste åkene skal ha en minste og største lengde som vist på figur 1. Her angis det også hvilken avstand det vil være mellom hver justering.

Tabell 1: Lengde underste åk

Underste åk	
Minste og største lengde	2,7 m - 3,6 m
Avstand mellom hver justering	0,3 m

En lik tabell vises for det øverste åket.

Tabell 2: Lengde øverste åk

Øverste åk	
Minste og største lengde	3 m – 6 m
Avstand mellom hver justering	1 m

Alle åkene skal dimensjoneres ut fra minste arbeidsvinkler. Disse vinklene er lik for alle tre åk, og definerer vinkelen mellom stroppene og åket.

Tabell 3: Minste arbeidsvinkler

Ønskede minimums arbeidsvinkler på stropper	
Over åk	60 °
Under åk	45 °

Vard har også spesifisert hvilken lende det skal være på stroppene

Tabell 4: Lengde på stropper

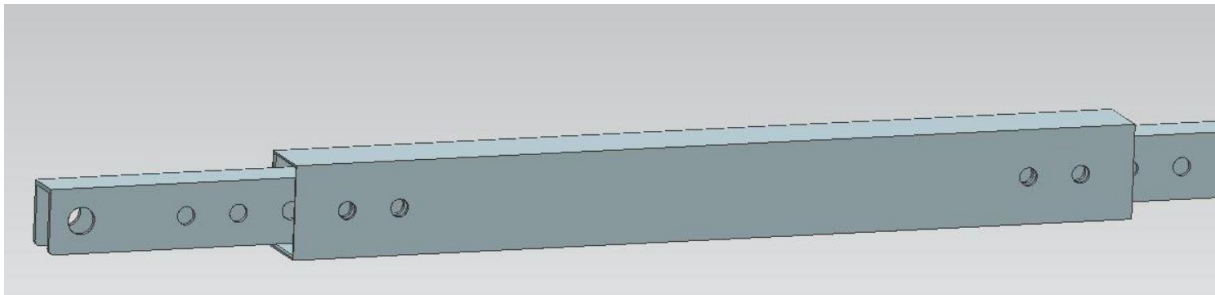
Stropper	
Lengde	7 m

Forslag til hvordan løfteåkene kan utformes, vil presenteres samlet. Forslag til utforming vil være todelt. Først vil det presenteres ulike forslag til hvordan åkene kan justeres, deretter vil forslag til innfestning av stropper presenteres.

2.3 Forslag til justeringsmekanisme

Forslagene bygger dels på løsninger funnet på det eksisterende marked, dels på egne idéer. Etter presentasjon av ulike forslag, vil det velges ut ett forslag som skal videreutvikles.

2.3.1 Forslag 1: Teleskopløsning



Bilde 3: Teleskopløsning

Forslag 1 viser en teleskopisk løsning. To profiler føres inn på hver sin side av en litt større profil. De justeres i forhold til hverandre og festes ved hjelp av bolter.

Dette er en god løsning. Den er enkel for operatør å håndtere, og det tar kort tid å regulere åket.

2.3.2 Forslag 2: Multipunkts-løsning

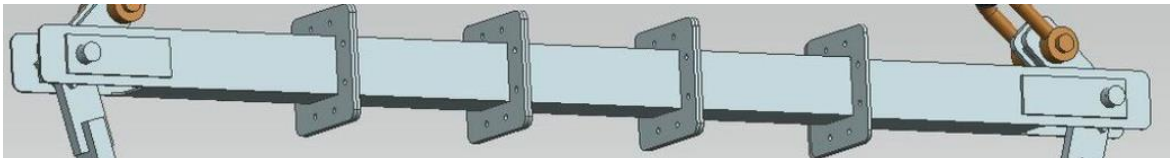


Bilde 4: Multipunkts-løsning

Forslag 2 viser et løfteåk med forskjellige punkt for innfestning.

Løsningen kan nyttes til motorer av ulike dimensjoner. Ulempen er at åket ikke kan justeres inn, det vil ha den samme lengden hele tiden. Dette vil bli et problem, da åket skal heises ned i åpninger med liten plass.

2.3.3 Forslag 3: Modulbasert løsning



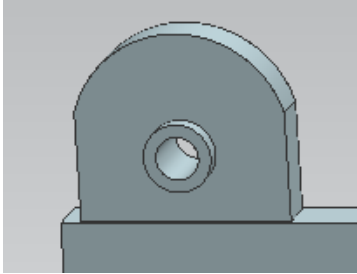
Bilde 5: Modulbasert løsning

Forslag 3 viser en modulbasert løsning. Åket reguleres til ønsket lengde ved å ta bort eller legge til mellommoduler.

Dette forslaget gir god mulighet for regulering. Det er også en løsning som vil gi enkel lagring, ettersom åket kan demonteres og lagres på et lite areal.

2.4 Konsept for innfesting

2.4.1 Forslag 1: Løfteører

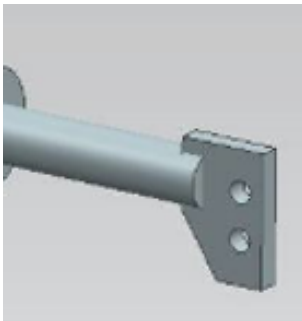


Bilde 6: Løfteøre

Forslaget viser et løfteøre som sveises på åket.

Løsningen gir god plass til montering av sjakler. Det negative med denne løsningen, er at den skaper momentspenninger på løfteåket.

2.4.2 Forslag 2: Løfteøre

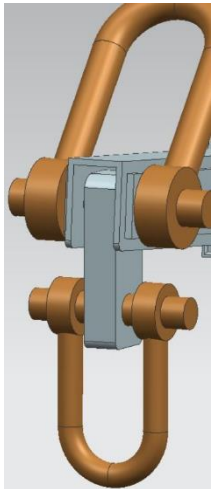


Bilde 7: Løfteøre

Forslag 2 viser en løsning som er forholdsvis lik løsning 1, med løfteører som er sveiset på åket.

Denne løsningen vil gi mindre moment enn forslag 1, da det ikke vil bli moment ved innfestning for øverste sjakkell. Det negative med denne løsningen, er at sveisearealet blir lite, samt at det er liten plass til montering av sjakler.

2.4.3 Forslag 3: Ledd-løsning



Løsningen viser en plate (et ledd) som roterer rundt en bolt. Sjaklene monteres i denne platen.

Alt roterer om samme punkt, og det blir dermed ingen ekstra momentbelastninger på åket.

Ulempen ved bruk av ledd er at det kan oppstå et faremoment dersom leddene begynner å svinge ved montering.

Bilde 8: Ledd-løsning

3.0 Valg av løsning for justering og for innfestning av stropper

3.1 Underste åk

3.1.1 Valg av løsning for justering

I samarbeid med arbeidsgiver ble det enighet om å jobbe videre med forslag 1. Denne løsningen ble valgt fordi den gir størst justeringsmuligheter, samt at den er enkel håndterbar og gir minst mulig arbeid for operatør.

3.1.2 Valg av innfestningsmetode

For valg av innfestning ble det enighet om å velge forslag 3, da den gir minst eller ingen moment.

3.1.3 Valg av profil

Ved valg av profil, er det mest gunstig å velge firkantprofiler for åket, da det vil gi mindre nedbøying på bjelken. En firkantetprofil vil også gi en mer stabil gliding mellom de to profilene. Det er også den mest gunstige type profil med tanke på opplagring, da en sirkulær

profil i forhold, lettere kan vende seg under lagring, slik at man får overflatehakker på profilen.

De firkantede profilene skal være hule, da det vil redusere vekten på åket. Det er spesielt nødvendig at den største profilen er hul, siden det skal føres inn to mindre profiler på hver sin side av den.

3.1.4 Valg av materiale

Det valgte materiale er vanlig konstruksjonsstål, St 37.

3.2 Øverste åk

3.2.1 Valg av løsning for justering

Utrekninger for dette åket har vist at en teleskopløsning ikke er mulig, da justeringslengden blir for lang. Derfor er det valgt en modulbasert løsning i stedet. Valget er tatt i samarbeid med Vard.

3.2.2 Valg av innfestningsmetode

Også for dette åket er det valgt å gå videre med forslag 3, altså en ledd-løsning for innfestning.

3.2.3 Valg av profil

Det er besluttet at det skulle benyttes hule firkantprofiler også for det øverste åket.

3.2.4 Valg av materiale

Materiale er vanlig konstruksjonsstål, St 37.

Den videre dimensjoneringen av åkene, er lagt frem i hvert sitt kapittel for det enkelte åk.

4.0 Dimensjonering av underste åk

Utregningene som er vist i dette kapittelet, bygger på de endelige dimensjonene på løfteåket. Dimensjoner/ valg av størrelser på profil for løfteåket, finnes i vedlegg 3, i den enkelte maskintegning for hver komponent.

4.1 Kraftbilde

Løfteåket har en WLL på 45 t. Dette gir en kraft på $45\,000\text{ kg} \times 9,81 = 441\,450\text{ N}$

Åket har et volum på $V = 0,052\text{ m}^3$.

Stålet har en tetthet på $\rho = 7\,800\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Åkets egenvekt $m = 0,052\text{ m}^3 \times 7\,800\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 406\text{ kg}$

$406\text{ kg} \times 9,81 = 3\,979\text{ N}$

Total kraft: $441\,450\text{ N} + 3\,979\text{ N} = 445\,429\text{ N} \approx 445\,500\text{ N}$

For enkelhets skyld bruker vi $445\,500\text{ N}$ både under og over åket.

Under åket

$y: 445\,500\text{ N} / 2 = 222\,750\text{ N}$

$x: 222\,750\text{ N} \times \tan(30) = 128\,605\text{ N}$

Resultant: $(x^2 + y^2)^{1/2} = 257\,210\text{ N}$

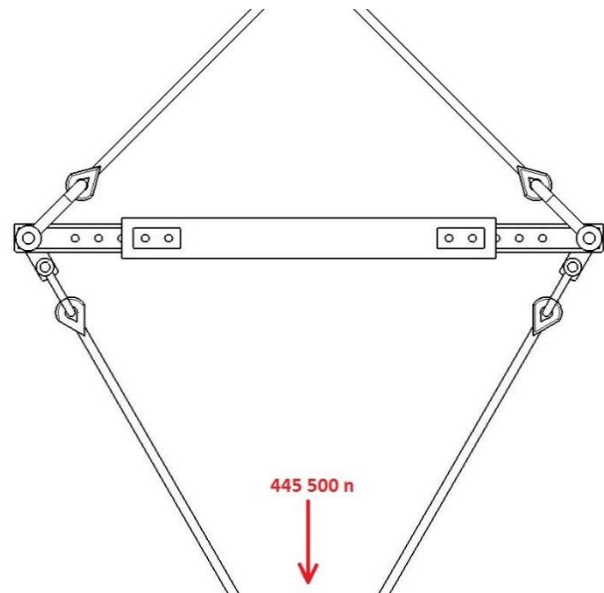
Over åket

$y: 445\,500\text{ N} / 2 = 222\,750\text{ N}$

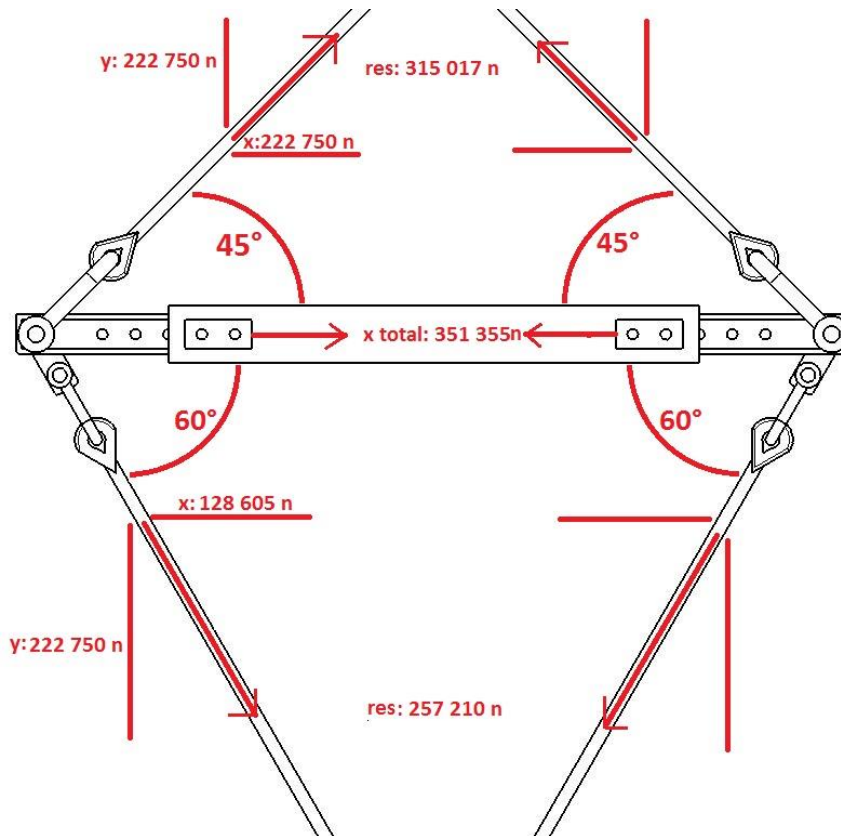
$x: 445\,500\text{ N} \times \tan(45) = 222\,750\text{ N}$

Resultant: $(x^2 + y^2)^{1/2} = 315\,017\text{ N}$

Total x-kraft: $128\,605\text{ N} + 222\,750\text{ N} = 351\,355\text{ N}$



Figur 9: Total kraft for underste åk



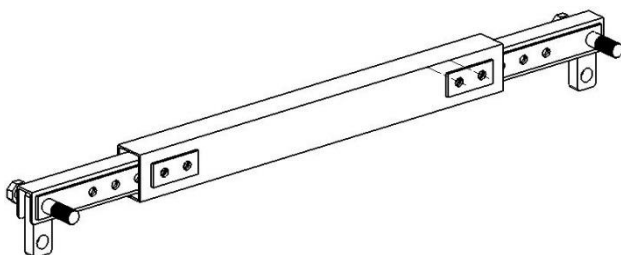
Figur 10: Kraft og vinkler for underste løfteåk

4.2 Spenningsberegninger

Ved spenningsberegninger, er det tatt utgangspunkt i sikkerhetsfaktor 4 fra Maskinforskriften ($n=4$).

$$\sigma = \frac{R_e}{n}$$

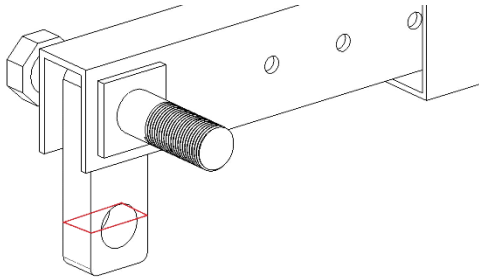
$$\sigma_{\text{maks}} = 355/4 = 88,75 \text{ MPa}$$



Figur 11: Videreutvikling av underste løfteåk

4.2.1 Nedre del av ledd

4.2.1.1 Strekkspenning

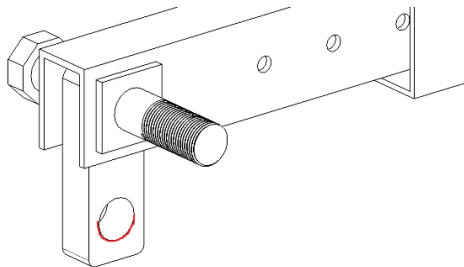


Figur 12: Strekkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$257\,210 \text{ N} / ((120 \times 70) - (65 \times 70)) \text{ mm}^2 = 66,81 \text{ Mpa}$$

4.2.1.2 Hulltrykkspenning

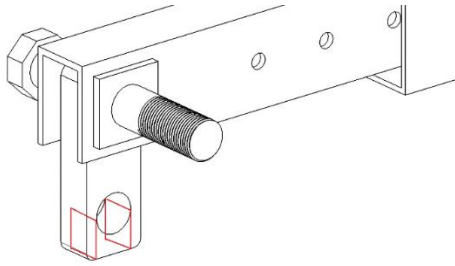


Figur 13: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$257\,210 \text{ N} / (65 \times 70) \text{ mm}^2 = 56,53 \text{ Mpa}$$

4.2.1.3 Skjærspenning



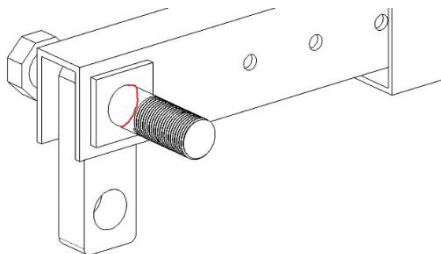
Figur 14: Skjærspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$257\,210 \text{ N} / (2 \times 75 \times 70) \text{ mm}^2 = 24,50 \text{ MPa}$$

4.2.2 Øverste del av ledd

4.2.2.1 Hulltrykkspenning i profil og hulltrykksplate:

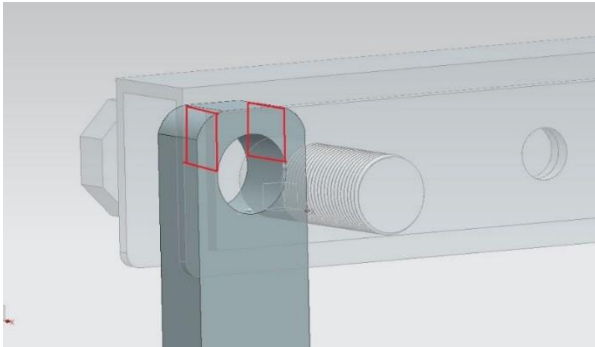


Figur 15: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$351\,355 \text{ N} / 2 \times (28,5 \times 76) \text{ mm}^2 = 81,11 \text{ MPa}$$

4.2.2.2 Skjærspenning



Figur 16: Skjærspenning

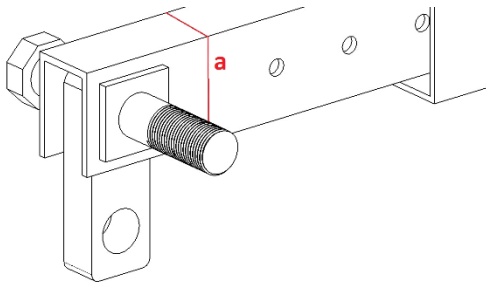
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$257\,210 \text{ N} / (2 \times 27 \times 70) \text{ mm}^2 = 68,05 \text{ Mpa}$$

4.2.3 Snitt a

4.2.3.1 Trykkspenning i profilen

Profil [120x180x12,5]



Figur 17: Trykkspenning

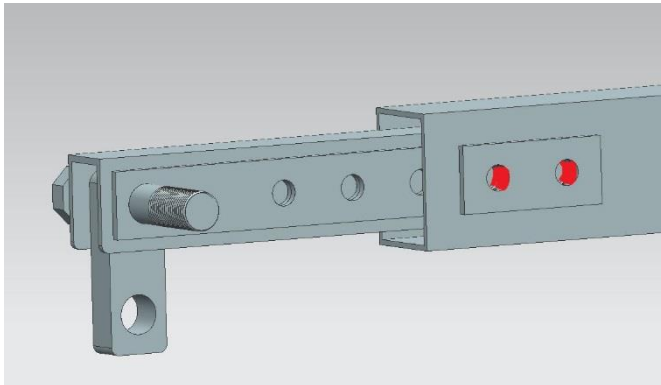
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = (120 \times 180) - (95 \times 155) = 6\,875 \text{ mm}^2$$

$$351\,355 \text{ N} / ((6875 \text{ mm}^2) + (2 \times 130 \times 15)) \text{ mm}^2 = 32,61 \text{ mm}^2$$

4.2.4 Justeringsbolter

4.2.4.1 Hulltrykkspenning ved justeringsbolter i profil ved snitt a

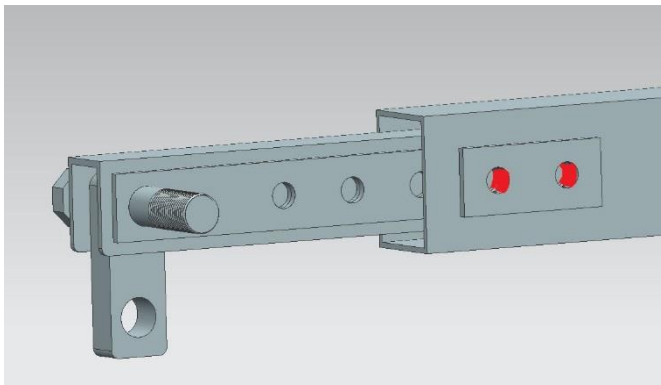


Figur 18: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$351\,355 \text{ N} / (4 \times 50 \times 25) \text{ mm}^2 = 70,28 \text{ MPa}$$

4.2.4.2 Skjærspenning i justeringsbolter



Figur 19: Skjærspenning

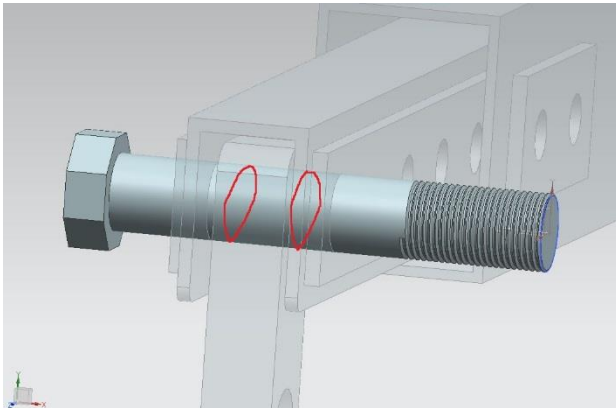
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A_{\text{bolt}} = 3,14 \times 50^2 / 4 = 1963 \text{ mm}^2$$

$$351\,355 \text{ N} / (4 \times 2 \times 1963) \text{ mm}^2 = 22,38 \text{ MPa} \text{ (4 skjæringsflater, 2 bolter)}$$

4.2.5 Sjakkkelbolt

4.2.5.1 Skjærspenning



Figur 20: Skjærspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A_{\text{bolt}} = 3,14 \times 76^2 / 4 = 4536 \text{ mm}^2$$

$$(351\ 355) \text{ N} / (2 \times 4536) \text{ mm}^2 = 38,73 \text{ Mpa}$$

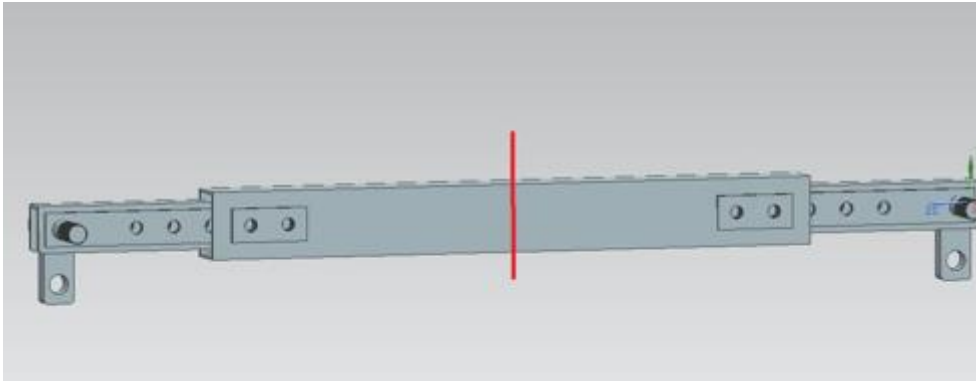
4.3 Sikkerhet mot knekking

Ved beregning av sikkerhet mot knekking for løfteutstyr, er det vanlig å bruke en litt høyere sikkerhetsfaktor. For underste åk, er den satt til å være 6. $n=6$

Ofte brukes det lavere sikkerhetsfaktor desto større WLL et løfteåk har.

Åket må tåle $6 \times 351\ 355 \text{ N} = 2\ 108\ 130 \text{ N}$

4.3.1 Kneking midt på løfteåket



Figur 21: Kneking midt på åket

Knekk lengde $l_k = 3600 \text{ mm}$

$$A = (180 \times 260) - (160 \times 240) = 8400 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I_x = ((260 \times 180^3) - (240 \times 160^3)) / 12 = 44,44 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$i = (I_x / A)^{1/2} = 72,74$$

$$\lambda = \frac{L_k}{i}$$

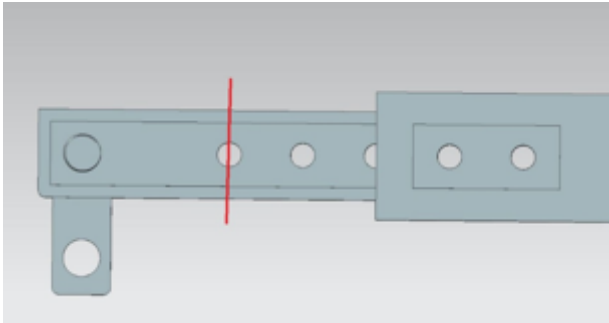
$$\lambda = (3600 / 72,74) = 49,49$$

Altså må vi bruke Tetmajers formel for knekking.

$$F_k = A * (310 - 1,14 * \lambda)$$

$$F_{knekk} = 8400 \text{ mm}^2 \times (310 - (1,14 \times 49,49)) = 2\,130\,071 \text{ N}$$

4.3.2 Knekking ved svakt punkt



Figur 22: Knekking

Knekklengde $l_k = 300$ mm

Areal: $(120 \times 180) - (95 \times 155) = 6\,875 \text{ mm}^2$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

$I_x = ((180 \times 120^3) - (155 \times 95^3)) / 12 = 14,85 \times 10^6 \text{ mm}^4$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$i = (\text{Arealmoment} / \text{Areal})^{1/2} = 46,47$

$$\lambda = \frac{L_k}{i}$$

$\lambda = (300 / 46,47) = 6,45$

Altså må vi bruke Tetmajers formel for knekking.

$$F_k = A * (310 - 1,14 * \lambda)$$

$F_k = 6\,875 \text{ mm}^2 \times (310 - (1,14 \times 6,45)) = 2\,080\,651 \text{ N}$

Utregningen er meget konservativ, da hulltrykksplaten har uteblitt.

4.4 Sveiseberegninger

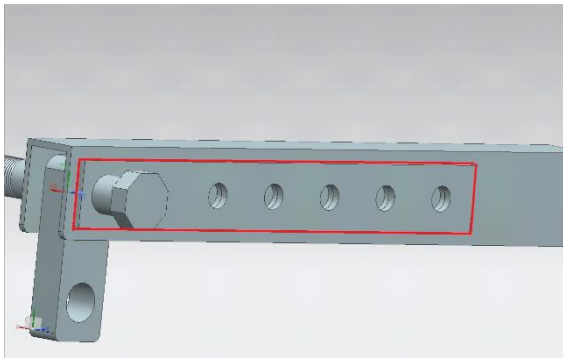
Sikkerhetsfaktor $n=4$

$$\sigma_{\text{maks}} = (355/4) = 88,75 \text{ MPa}$$

Beregningene er konservative, siden man ser for seg sveis kun i retningen som går parallelt med kraften.

4.4.1 Sveiseberegninger for hulltrykksplate 1

I realiteten vil kraften fra justeringsboltene i denne platen nulle ut spenningen i sveisen.



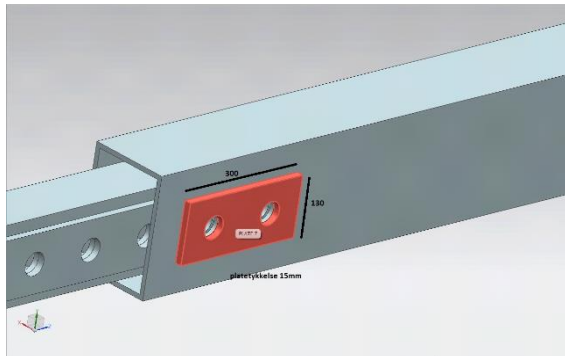
Figur 23: Sveiseberegning

$$\sigma = \frac{F}{2 * a * L}$$

$$352\,000 \text{ N} / (a \times (2 \times (1050+1050))) \text{ mm}^2 = 88,75 \text{ MPa}$$

Minste a mål = 0,95 mm

4.4.2 Sveiseberegninger for hulltrykksplate 2



Figur 24: Sveiseberegning

$$\sigma = \frac{F}{2 * a * L}$$

$$352\,000 \text{ N} / (a \times (2 \times (300+300))) = 88,75 \text{ MPa}$$

Minste a-mål = 3,10 mm

5.0 Dimensjonering av øverste åk

Utregningene som er vist i dette kapittelet, bygger på de endelige dimensjonene på løfteåket. Dimensjoner/ valg av størrelser på profil for løfteåket, finnes i vedlegg 3, i den enkelte maskintegning for hver komponent.

5.1 Kraftbilde

Toppsprederen har en WLL på 90 t. Dette gir en kraft på $90\,000\text{ kg} \times 9,81 = 882\,900\text{ N}$

Sprederens egenvekt $m = 1100\text{ kg}$

$1\,100\text{ kg} \times 9,81 = 10\,791\text{ N}$

Total kraft: $882\,900\text{ N} + 10\,791\text{ N} = 893\,691\text{ N} \approx 893\,700\text{ N}$

For enkelhets skyld bruker vi $893\,700\text{ N}$ både under og over sprederen.

Y kraft: $893\,700\text{ N} / 2 = 446\,850\text{ N}$

Over åket:

X kraft: $446\,850\text{ N} \cdot \tan(45) = 446\,850\text{ N}$

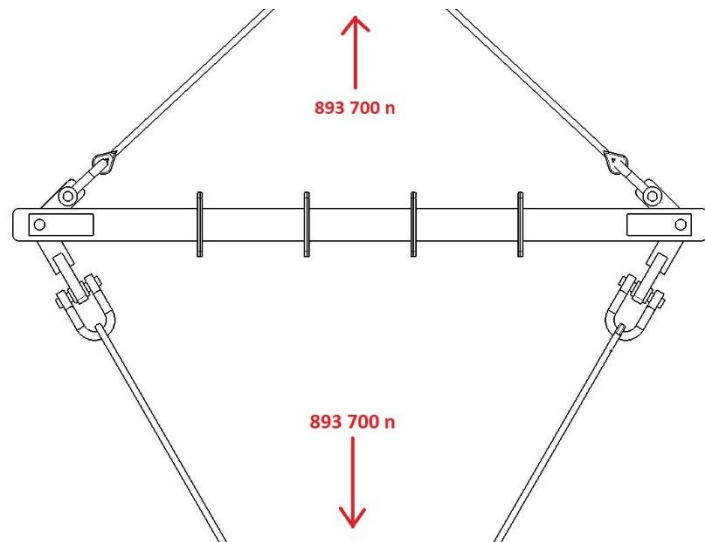
Resultant: $(446\,850^2 + 446\,850^2)^{1/2} = 631\,942\text{ N}$

Under åket:

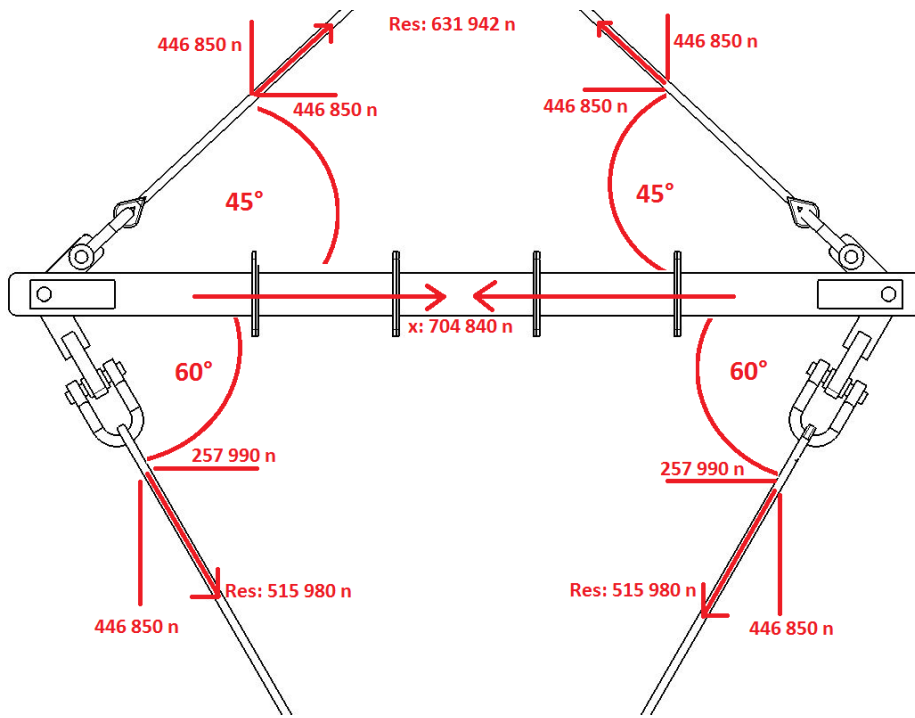
X kraft: $446\,850 \cdot \tan(30) = 257\,990\text{ N}$

Resultant: $515\,980\text{ N}$

Total x-kraft: $446\,850\text{ N} + 257\,990\text{ N} = 704\,840\text{ N}$



Figur 25: Kraftbilde for øverste åk

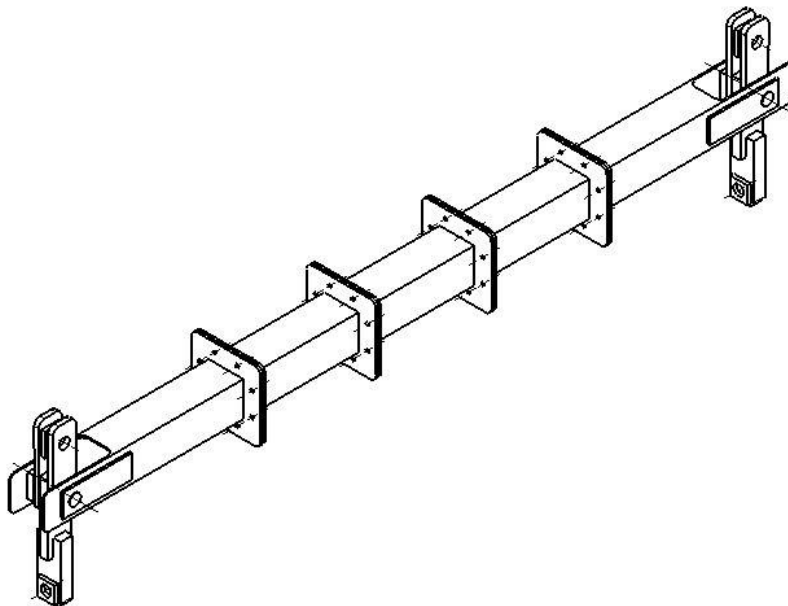


Figur 26: Fordeling av krefter og vinkler

5.2 Spenningsberegninger

For alle spenningsberegninger, er det tatt utgangspunkt i Maskinforskriftens sikkerhetsfaktor på 4 ($n=4$).

$$\sigma_{\text{maks}} 355/4 = 88,75 \text{ Mpa}$$

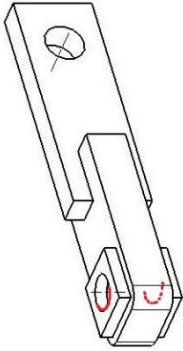


Figur 27: Videreutvikling av øverste åk

5.2.1 Nedre del av ledd 1

Vi definerer den underste platen som ledd 1, og den øverste som ledd 2.

5.2.1.1 Hulltrykkspenning ved sjakkel

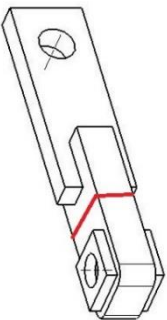


Figur 28: Hulltrykkspenning sjakkel

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$515\,980\text{ N} / (90 \times 160)\text{ mm}^2 = 35,9\text{ MPa}$$

5.2.1.2 Strekkspenning ved snitt a



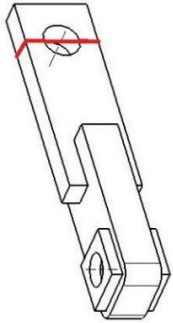
Figur 29: Strekkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$515\,980\text{ N} / (200 \times 100)\text{ mm}^2 = 25,8\text{ MPa}$$

5.2.2 Øverste del av ledd 1

5.2.2.1 Strekkspenning ved snitt b

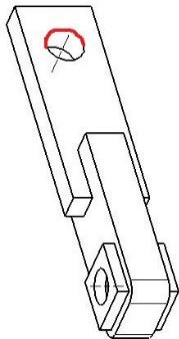


Figur 30: Strekkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$515\,980 \text{ N} / ((200 - 100) \times 70) \text{ mm}^2 = 73,8 \text{ MPa}$$

5.2.2.2 Hulltrykkspenning ved hovedbolt

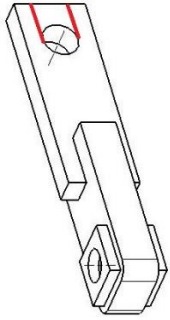


Figur 31: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$515\,980 \text{ N} / (100 \times 70) \text{ mm}^2 = 73,8 \text{ MPa}$$

5.2.2.3 Skjærspenning ved hovedbolt



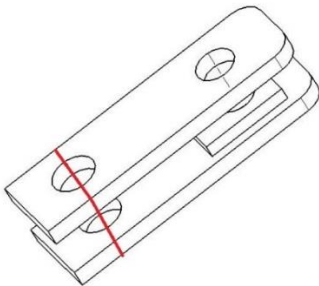
Figur 32: Skjærspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$515\,980 \text{ N} / (120 \times 70) \text{ mm}^2 = 61,5 \text{ MPa}$$

5.2.3 Nedre del av ledd 2

5.2.3.1 Strekkspenning ved snitt a

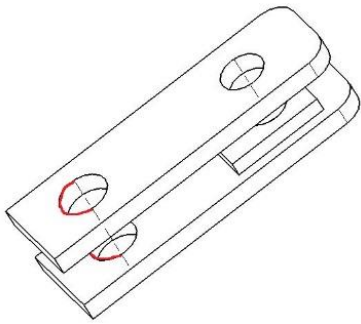


Figur 33: Strekkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$631\,942 \text{ N} / (2 \times (200-100) \times 40) \text{ mm}^2 = 79,0 \text{ MPa}$$

5.2.3.2 Hulltrykkspenning ved hovedbolt

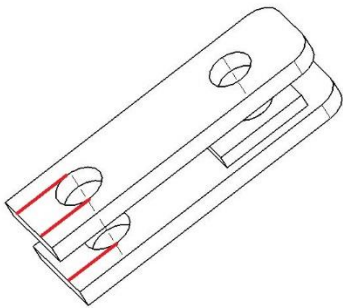


Figur 34: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$631\,942 \text{ N} / (2 \times 100 \times 40) = 79,0 \text{ MPa}$$

5.2.3.3 Skjærspenning ved hovedbolt



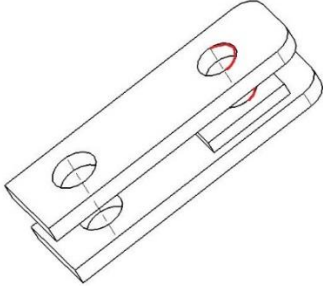
Figur 35: Skjærspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$631\,942 \text{ N} / (4 \times 40 \times 125) \text{ mm}^2 = 31,6 \text{ MPa}$$

5.2.4 Øvre del av ledd 2

5.2.4.1 Hulltrykkspenning ved sjakkel:

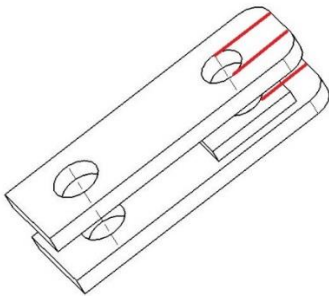


Figur 36: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$631\,942\text{ N} / (2 \times 70 \times 90)\text{ mm}^2 = 50,2\text{ MPa}$$

5.2.4.2 Skjærspenning ved sjakkel



Figur 37: Hulltrykkspenning

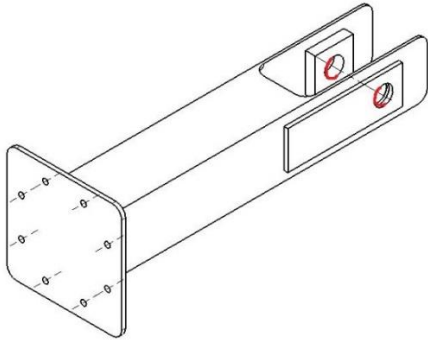
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$631\,942\text{ N} / (4 \times 150 \times 40)\text{ mm}^2 = 26,4\text{ MPa}$$

Konservativ utregning, da hulltrykksplater uteblir.

5.2.5 Endepart

5.2.5.1 Hulltrykkspenning ved hovedbolt

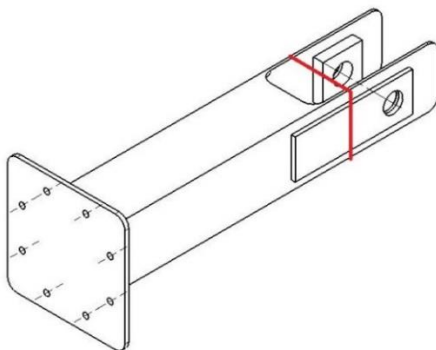


Figur 38: Hulltrykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$704\,840 \text{ N} / (2 \times 82,5 \times 100) \text{ mm}^2 = 42,8 \text{ MPa}$$

5.2.5.2 Trykkspenning ved snitt a

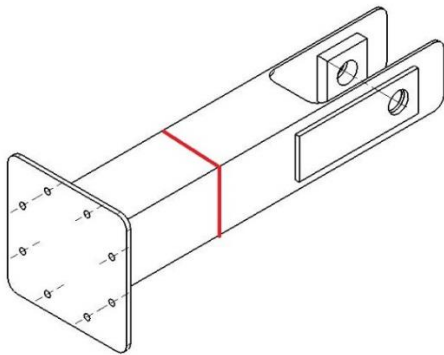


Figur 39: Trykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$704\,840 \text{ N} / (2 \times ((200 \times 20) + (12,5 \times 300))) = 45,5 \text{ Mpa}$$

5.2.5.3 Trykkspenning ved snitt b



Figur 40: Trykkspenning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

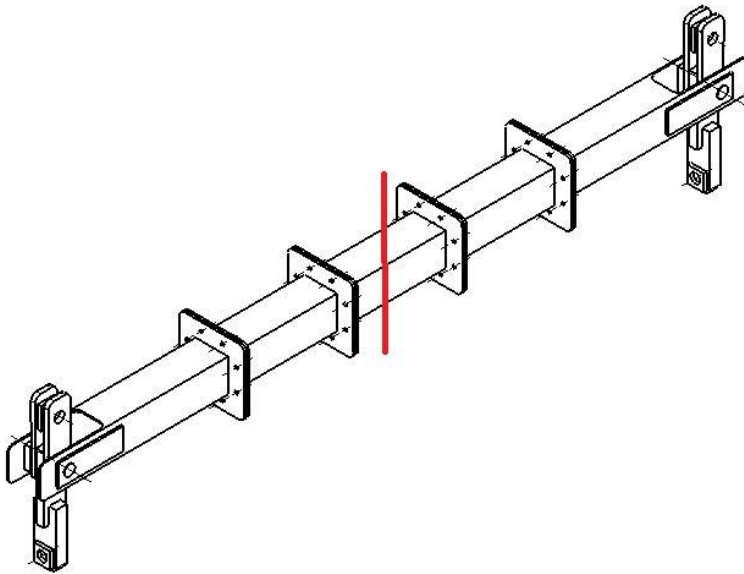
$$704\,840 \text{ N} / ((300 \times 300) - (275 \times 275)) \text{ mm}^2 = 49,1 \text{ Mpa}$$

5.3 Sikkerhet mot knekking

Det øverste åket har en dobbelt så høy WLL som de to nederste. Det er vanlig å bruke lavere sikkerhetsfaktor desto større WLL et løfteutstyr har. Det er satt en sikkerhetsfaktor på 6 for øverste åk (n=6).

Må tåle $5 \times 705\,000\text{ N} = 3\,525\,000\text{ N}$

5.3.1 Knekking midt på toppspreder



Figur 41: Knekking på midten

Knekk lengde $l_k = 6\,000\text{ mm}$

$$A = (300 \times 300) - (275 \times 275) = 14\,375\text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I_x = (300 \times 300^3) - (275 \times 275^3) / 12 = 198,4 \times 10^6\text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$i = (I_x / A)^{1/2} = (198,4 \times 10^6 / 14\,375)^{1/2} = 117,5$$

$$\lambda = \frac{L_k}{i}$$

$$\lambda = (6\,000 / 117,5) = 51,1$$

Altså må vi bruke Tetmajers metode.

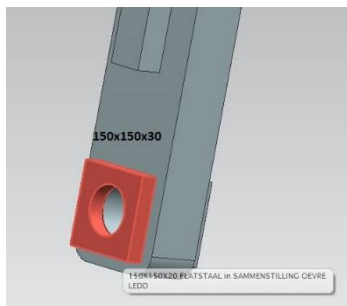
$$F_k = A * (310 - 1,14 * \lambda)$$

$$\sigma_{knekk} = 310 - (1,14 \times 51,1) = 251,77 \text{ MPa}$$

$$F_{knekk}: 251,770 \times 14\,375 = 3\,619 \text{ kN}$$

5.4 Sveiseberegninger

5.4.1 Hulltrykksplate 1



Figur 42: Sveiseberegning på hulltrykksplate

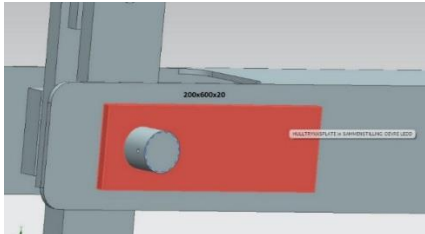
$$\sigma = \frac{F}{2 * a * L}$$

$$516\,000 \text{ N} / (a \times 2 \times (150+150)) = 88,75$$

Minste a-mål = 9,70 mm

5.4.2 Hulltrykksplate 2

Konservativ utregning. Dette fordi at disse platene i teorien bare vil ta opp (2x20) / (2x82,5) av kraften. Utregningen her tar høyde for at platene tar opp hele kraften.



Figur 43: Sveiseberegning på hulltrykksplate

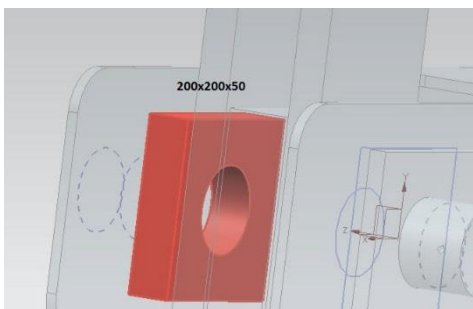
$$\sigma = \frac{F}{2 * a * L}$$

$$705\,000 \text{ N} / (a \times 2 \times (600+600)) = 88,75 \text{ MPa}$$

$$\text{Minste } a \text{ mål} = 3,31 \text{ mm}$$

5.4.3 Hulltrykksplate 3

Konservativ utregning. Dette fordi at disse platene i teorien bare vil ta opp (2x20) / (2x82,5) av kraften. Utregningen her tar høyde for at platene tar opp hele kraften.



Figur 44: Sveiseberegning på hulltrykksplate

$$\sigma = \frac{F}{2 * a * L}$$

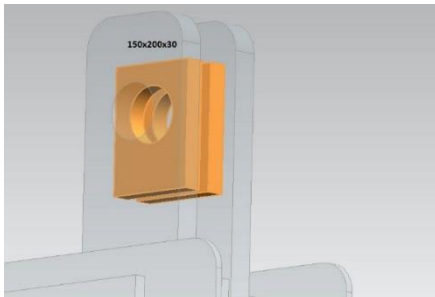
$$705\,000\text{ N} / (a \times 2 \times (200+200)) = 88,75\text{ MPa}$$

Minste a mål = 9,93 mm

5.4.4 Hulltrykksplate 4

Konservativ utregning fordi i teorien vil disse platene bare ta opp (2x30) / (2x70) av kraften.

Utregningen her tar høyde for at platene tar opp hele kraften.



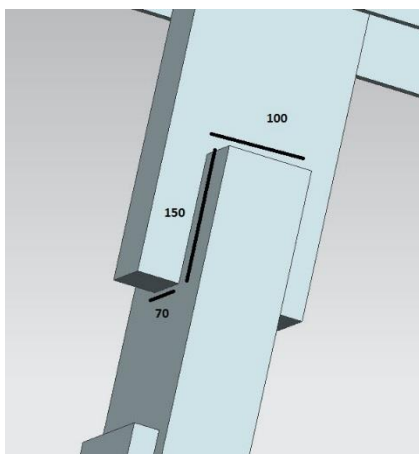
Figur 45: Sveiseberegning på hulltrykksplate

$$\sigma = \frac{F}{2 * a * L}$$

$$632\,000\text{ N} / (a \times 2 \times (200+200)) \text{ mm}^2 = 88,75\text{ MPa}$$

Minste a mål = 8,91 mm

5.4.5 Sveiste plater



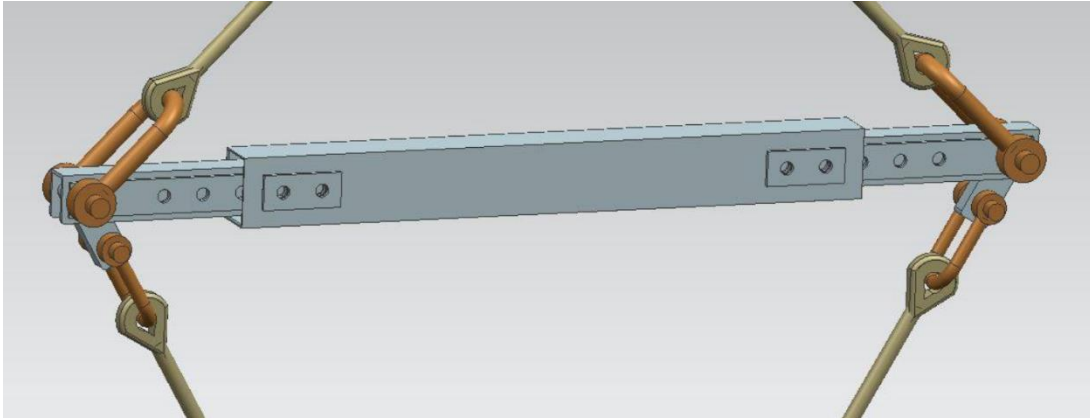
$$516\,000\text{ N} / (a \times (4 \times 150)) = 88,75\text{ MPa}$$

Minste a mål = 9,70 mm

6.0 Resultat

6.1 Underste åk

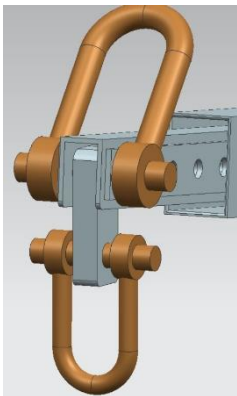
Bildet under viser den endelige utformingen av de underste åkene.



Figur 46: Endelig utforming

Løfteåket har en teleskopisk løsning, og består av to profiler som er montert inn på hver sin side av en litt større profil.

En stor utfordring ved dimensjoneringen var hulltrykkspenning. Det oppstod relativt høye spenninger i alle hull hvor det skulle festes bolter. Dette ble løst ved å sveise på hulltrykksplater for å øke det belastede arealet.



Figur: 47 Ledd

I enden av de to profilene er det festet en plate som roterer rundt en sjakkkelbolt. Sjakkene monteres i denne platen og skaper derfor ikke ekstra momentbelastninger på åket. I kontakt med bedrift har vi fått bekreftet at både plate og sjakkkel forskriftsmessig kan festes i samme sjakkkelbolt.

Lite eller ingen momentbelastninger gjorde det enklere å dimensjonere mot blant annet knekking, som er en av de største farene ved bruk av løfteåk, da det skjer helt uten forvarsel.

Åket kan reguleres fra 2,7 til 3,6 m.

Hvert av de to underste åkene vil veie omtrent 450 kg.

6.1.1 POM

Mellom største og minste profil er det lagt inn en glideplate, teknisk plast, for å minske friksjon når åket reguleres. Det vanlige er å benytte et plastmateriale, og det er valgt å bruke materialet POM. Tykkelse på POM som glideplate ligger vanligvis mellom 10-15 mm, men den kan være helt nede i 8 mm. Vi velger en tykkelse på 12 mm.

6.1.1.1 Om plastmaterialet POM

En hendig plasttype som har blitt populær grunnet sine gode egenskaper og rimelige pris.

POM har lav friksjon, høy slitestyrke, høy elektrisk isolasjonsevne, lav absorbanse av væsker, høy kjemisk resistanse og har anbefalt temperaturområde mellom -40 til 100 grader celcius.

6.1.1.2 Montering av POM

Etter at løfteåket er overflatebehandlet (kap. 6.3.1) skal det monteres POM på åkets flater. Dette for å gjøre det enklere å justere åket og hindre slitasje.

Montering

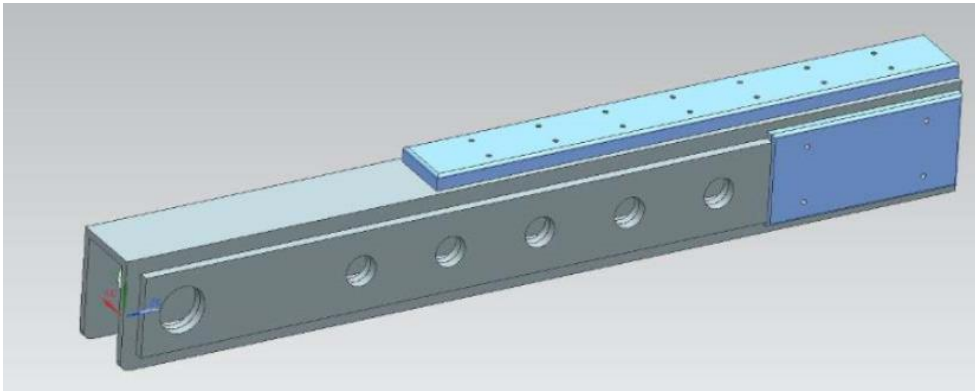
16 x 150 x 320 på sidene, inntil hulltrykksplaten.

25 x 100 x 875 på øvre og nedre flate, inntil kanten.

Det er viktig at kantene som ligger ut fra åket legges med en radius på 5 mm.

Friksjonsplatene monteres med M8 skruer som skrues inn i åket.

Det er tatt høyde for at overflatebehandlingen vil ha et lag på rundt 1-2 mm.



Figur 48: Montering av POM

6.1.2 Sjakler

Sjaklene er funnet på gnweb.com, som er leverandør for blant annet Erling Haug. Tabellen sjaklene er hentet fra, er å finne under «vedlegg 2, sjakler».

Sjakkell øverste del av plate

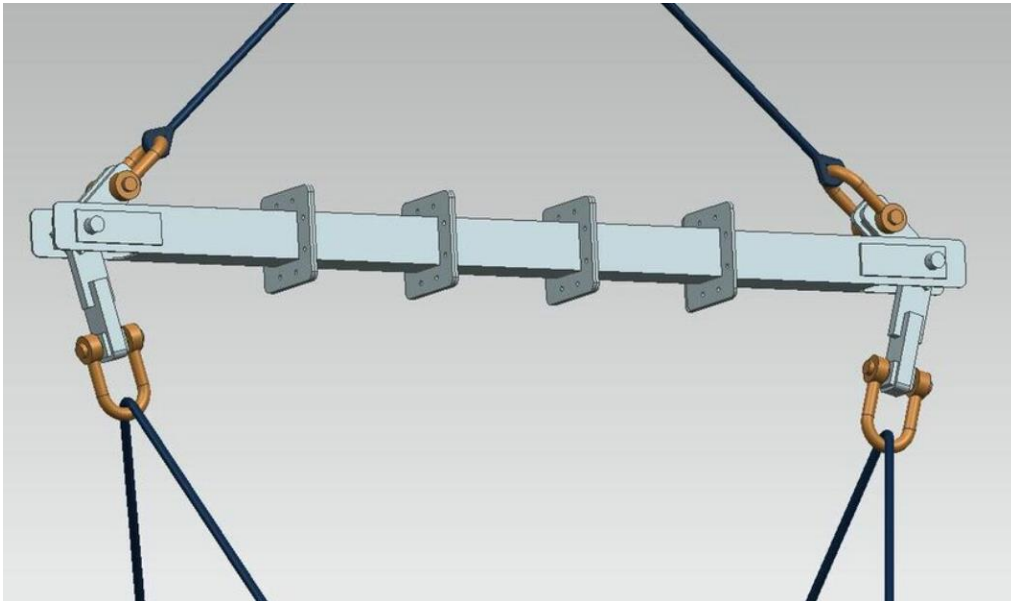
Ø 76 / 150 mm mellomrom og 43 tonn : Art. no 38657609 på gnweb.com (60 tonn)

Sjakkell montert på nedre del av plate

Ø 65 / 70 mm mellomrom og 26 tonn : Art. no 38526509 på gnweb.com (34 tonn)

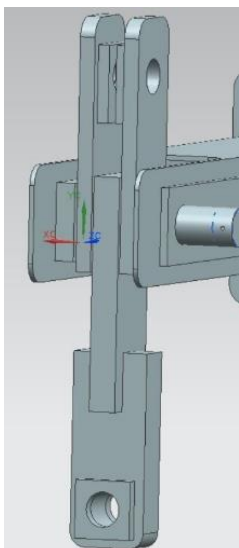
6.2 Øverste åk

Bildet under viser den endelige utformingen av øverste åk.



Figur 49: Endelig utforming

Løfteåket har en modulbasert løsning, og du kan justere det, ved å enten ta bort eller lege til mellommoduler.



Figur 50: Ledd-løsning

Også for dette åket er det festet plater til endene av profilen. I motsetning til for det øverste åket, er det her ikke benyttet sjakkelbolt, men en $\varnothing 100$ -bolt, som er maskinert.

Hulltrykkspenning var en utfordring. Det oppstod relativt høye spenninger i alle hull hvor det skal festes bolter, og det ble løst ved å sveise på plater.

Maks lengde for åket er 6 m, og det kan justeres for hver 1 m.

Åket vil ha en vekt på omtrent 1 100 kg.

6.2.1 Sjakler

Sjakler er å finne under samme vedlegg og i samme tabell som for de underste åkene.

Sjakkell øverste plate

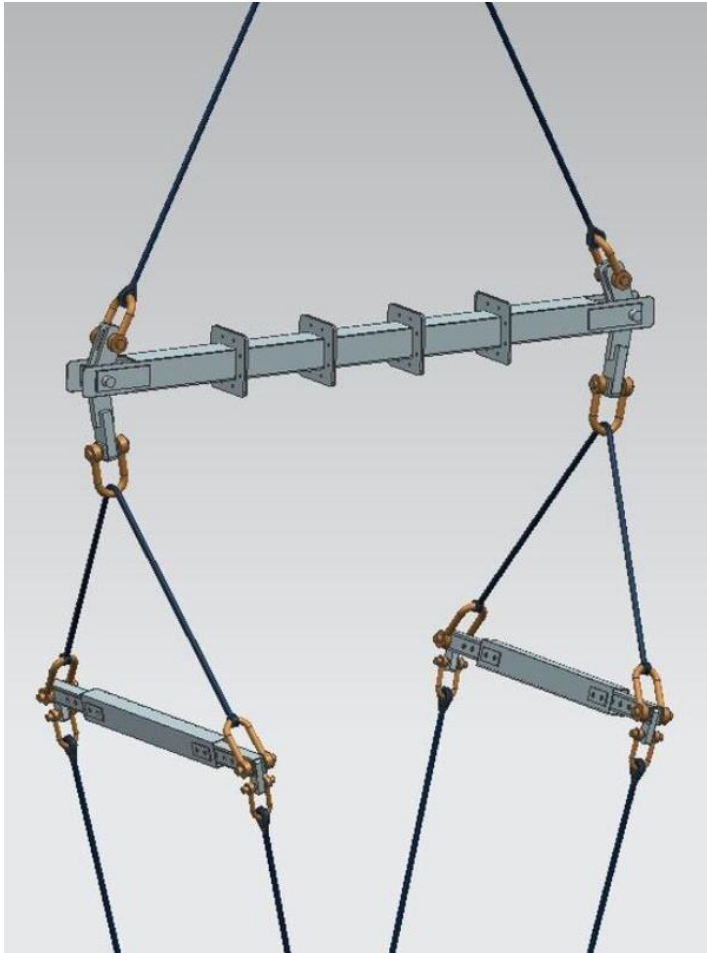
Ø 90 / 160 mm mellomrom og 64 tonn :Art. no 38769009 på gnweb.com (80 tonn)

Sjakkell nederste plate

Ø 90 / 160 mm mellomrom og 54 tonn :Art. no 38769009 på [gn web.com](http://gnweb.com) (80 tonn)

6.3 Sammensatt konstruksjon

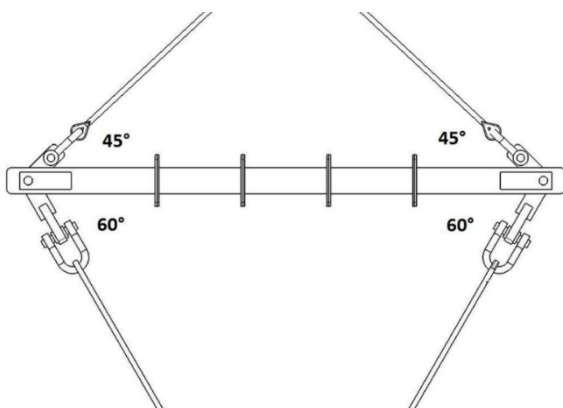
Bildet viser hvordan de tre åkene vil se ut som en sammensatt løftekonstruksjon.



Figur 51: Endelig sammensatt konstruksjon

De tre åkene er som nevnt i kap.

2.2, dimensjoner ut fra minste arbeidsvinkler. Bilder under illustrerer disse vinklene, som er like for alle de tre åkene.



Konstruksjonen er laget til slik at hver hvert enkelt åk kan brukes separat.

6.3.1 Overflatebehandling

Som overflatebehandlingsmetode er det valgt å varmgalvanisere åkene. Dette er en god metode å benytte siden åkene består av hule profiler, og det må være mulig å overflatebehandle også på innsiden av åkene. Ved neddypping i den smeltede zinken får en belegg på alle overflater.

Metoden gir lite eller ingen behov for vedlikehold, og vil holde i mellom 20-30 år. Erfaringsmessig ser bedriftene at det gjerne holder lengre, gjerne i 50 år. Materialet vil bli mattere med årene.

Når det gjelder kostnader, er det hentet inn priser fra to bedrifter, Sinken AS i Bergen, og Molde Sink.

Sinken AS i Bergen har en kg-pris på 8 kr. De kunne gå ned til kg-pris på 6 kr i pris etter nærmere avtale.

Molde Sink har en kg-pris på 5,5 kr. Dersom stålet har maling eller primer på seg før det sendes inn til overflatebehandling, må det sandblåses før det kan varmgalvaniseres, og dette vil føre til ekstra kostnader. Det gjelder for begge bedriftene.

Det rimeligste alternativet er Molde Sink.

Stålet bør ikke ha et silisiuminnhold på mer enn mellom 0,013-0,025, blir det høyere enn det vil materialet se stygt ut etter overflatebehandlingen.

Selv om varmforzinking som oftest gir en tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse, kan det enkelte ganger være ønskelig å forsterke denne i særlig aggressive miljøer. For å oppnå ytterligere korrosjonsbeskyttelse kan det anbefales å male det varmforzinkede stålet (duplex).

6.3.2 Kostnader

Tabell 5: Kostnadsestimat

Materialutgifter (Stål)	20 000kr
Overflatebehandling	10 000kr
Transport	4 000kr
Platearbeid/Sveising	10 00kr
Testing / Godkjenning	10 00kr
Sjakler	20 000kr
Bolter / Muttere / Teknisk Plast	2000kr
Totalt Estimert	76 000 kr

Kostnader er hentet fra ulike bedrifter og ut fra markedspriser.

7.0 Diskusjon og konklusjon av valgt løsning

Den endelige løftekonstruksjonen er en tre åks løsning, som gir stor frihet for regulering i lengde -og bredderetning.

På grunn av at dimensjoneringen av åkene er gjort i henhold til Maskinforskriften gir det stor frihet til bruk. Åkene kan brukes separat og er godkjent til bruk på alle typer kraner, og til alle typer løfteobjekter som ikke overskrider deres respektive WLL.

I endene av alle åk er det valgt en ledd-løsning. Måten sjakler monteres i ledd, gjør at man unngår unødige momentspenninger. Dette har gjort det enklere ved dimensjonering.

Ulempen ved bruk av ledd er at det kan oppstå et ekstra faremoment om leddene begynner å svinge ved montering. Det kan også være fare for å rote bort deler i systemet, siden hver åk består av så mange komponenter.

Det er ikke tegnet på kroker eller lignende for å lette transportering av løfteutstyret. Åkene kan under transport flyttes med kran, truck eller liknende, uten særlige problemer.

8.0 Referanseliste

- [1] MASKINFORESKRIFTEN

<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544>

[15.01.2015]

- [2] Bilde av løfteåk

<http://www.londonliftinggear.co.uk/Section-Lift-Main.html>

[01.02.2015]

- [3] Bilde av løfteåk

<http://www.sectionlift.co.uk/>

[16.02.2015]

- [4] Om Vard

<http://karrierestart.no/bedrift/64937>

[13.03.2015]

- [5] Om POM

<http://maskinbutikken.no>

[13.03.2015]

- [6] Tabell for sjakler

<http://www.gnweb.com/>

[18.03.2015]

- [7] Om varmforzinking

<http://www.moldezink.no/varmforzinking/>

[27.03.2015]

- [8] Bruksanvisning for løfteåk

<http://technomek.no/wp-content/uploads/2013/02/BRUKSANVISNING-l%C3%B8fte%C3%A5k.pdf>

[15.04.2015]

- [9] Bruksanvisning for løfteredskaper

http://www.carlstahl.no/media/5816/l%C3%B8fte%C3%A5k_fast_og_justerbar.pdf

[15.04.2015]

- [10] Bruksanvisning for løfteåk

<http://technomek.no/wp-content/uploads/2013/02/BRUKSANVISNING-l%C3%B8fte%C3%A5k.pdf>

[15.04.2015]

- [11] Bruksanvisning for løfteåk

www.certex.no/UserFiles/NO/Brukermanualer/LØFTEÅK.doc

[16.04.2015]

Teori

- Vollen, Ø. (2011). *Statistikk og fasthetslære*. [Bekkestua]: NKI Forlaget AS
- Johannesen, J. (2011). *TEKNISKE TABELLER*. Cappelen

9.0 Vedlegg

Vedlegg 1 Bruksanvisning og monteringshenvisning

Vedlegg 2 Tabell for sjakkel

Vedlegg 3 Arbeidstegninger for underste løfteåk

Vedlegg 4 Arbeidstegninger for øverste løfteåk

Vedleggene er å finne i papirformatet av hovedprosjektet.