

Bacheloroppgave

Snujigg til katodekasse brukt til produksjon av aluminium

19.05.19

Forfattere

Ole Christian Graven Strømsvåg
Trond Wessel Reehorst
Bjørnar Bjerkestrand



RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

**FAKULTET FOR
INGENIØRVITENSKAP**
**Institutt for maskinteknikk og
produksjon**
7491 Trondheim

Tittel:

Snemekanisme til katodekasse brukt til produksjon av aluminium

Title:

Turning jig for cathode pot used in aluminum production

Prosjektnr

MTP-K-2019-01

Besøksadresse:

R.Birkelands vei, 2B, Trondheim

Forfatter(e)

Ole Christian Graven Strømsvåg
Trond Wessel Reehorst
Bjørnar Bjerkestrand

Oppdragsgiver(e) eksternt

Storvik AS
Bedriftskontakt Pål Nordvik

Dato levert

Antall
vedlegg

Totalt antall
sider:

19.05.19

15

178

Veileder(e) internt

Anna Olsen

Rapporten er ~~ÅPEN/~~LUKKET (stryk ut det som ikke gjelder)

Sammendrag: Rapporten tar for seg utvikling, design og dimensjonering av en snu-jigg for en 36 tonn katodekasse brukt i aluminiumsproduksjon. Det er lansert et endelig utkast og lagt opp til videre arbeid for optimalisering av jiggen. For å komme frem til disse resultatene er det tatt i bruk SolidWorks for simuleringer av delene designet.

Stikkord fra prosjektet

Dimensjonering, produktutvikling, SolidWorks, snujigg, simuleringer, styrkeberegninger og CAD.

Forord

Dette prosjektet er gjennomført som en del av bachelorprogrammet maskiningeniør ved NTNU. Prosjektet er gjennomført vårsemesteret 2019 med et omfang på 20 studiepoeng.

Oppgaven tar for seg å løse en ingeniør relatert problemstilling, og vi har som formål bruke dette for å forberede oss på en fremtid som maskiningeniører. Rapporten beskriver blant annet produktutviklingsprosessen med CAD-modeller, beregninger og arbeidstegninger til produktet.

Oppgaven er skrevet og gjennomført av Ole Christian Graven Strømsvåg, Trond Wessel Reehorst og Bjørnar Bjerkestrand. Vi ønsker også å takke vår veileder hos NTNU – Førstelektor Anna Olsen, Dr. Ing. og bedriftskontakt hos Storvik AS – Senioringeniør Pål Nordvik, M.Sc.

Trondheim, (Dato)

19.05.19


Ole Christian G Strømsvåg


Trond Wessel Reehorst


Bjørnar Bjerkestrand

Oppgavebeskrivelse



Bacheloroppgave: Snumekanisme til kasse:

I forbindelse med reparasjoner av en spesiell type kasse, så kan det bli behov for å lage en jigg som både løfter og snur kassene.

Kassen veier 36 t. Dimensjonene er 4976x1753x12906mm.

Figur 1: Kassen (grå) står på gulv, mens snumekanismen (gul) klamper seg inn på endegavler.

Figur 2: Kassen må kunne løftes og vris.

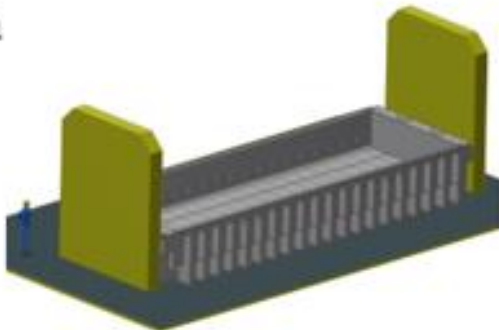
Figur 3: Kassen vris -90 grader og senkes for reparasjon av første langside innvendig.

Figur 4: Kassen vris 90 grader og senkes for reparasjon av andre langside innvendig.

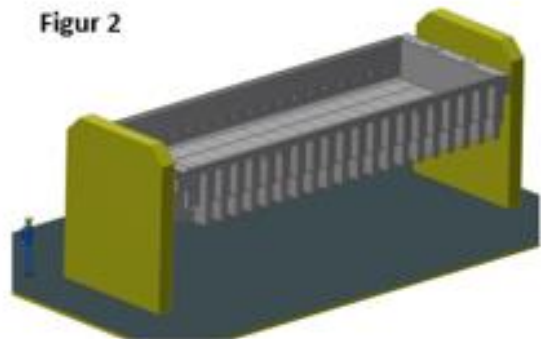
Figur 5: Kassen vris 180 grader og senkes for reparasjon av bunn.

Snumekanisme er kun vist for illustrasjon. Design og beregninger av denne inngår i oppgaven.

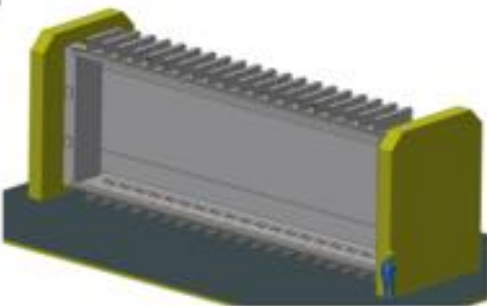
Figur 1



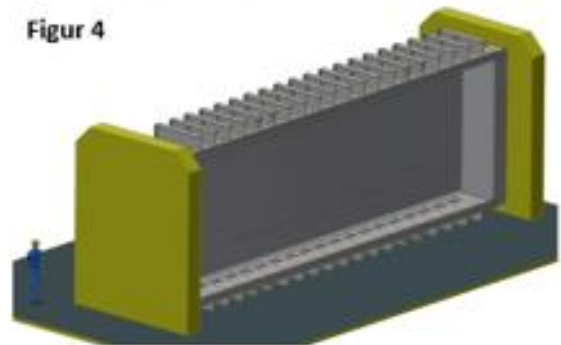
Figur 2



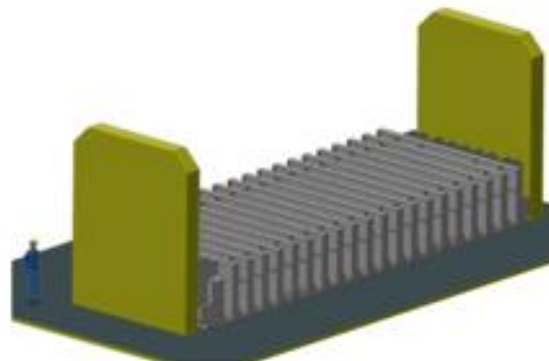
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Sammendrag

Formålet med denne oppgaven var å utvikle en snu-jigg for å gi Storvik AS mulighet til å utføre vedlikehold på katodekasser som fungerer som elektrolyseceller i fremstillingen av aluminium. Slik de står i dag utføres det minimalt vedlikehold på undersiden av kassene. Løsningen som designes skal kunne heve katodekassen, for så å rotere den i ønsket vinkel. Et ønske fra Storvik AS var at innretningen skal kunne rotere katodekassen minimum 270 grader. Dette vil føre til at vedlikehold kan utføres på begge sider og på undersiden av kassen, samtidig muliggjør dette en mye bedre arbeidsstilling og legger til rette for bruk av sveiserobot.

Dette har vi gjort ved å ta i bruk SolidWorks til utforming og design av snujiggen. Vi har også brukt SolidWorks og håndberegninger til å finne de rammebetingelsene som gjelder for vårt design. Gjennom rammebetingelsene har vi funnet hvordan kreftene forplanter seg gjennom snujiggen. Prosessen har vært å ta for oss de individuelle delene og designe dem, for så å kjøre en styrkeberegning. Dette for å sikre riktig utforming av de individuelle delene og at de distribuerer kreftene på en sunn måte.

Det vi fant var at de individuelle delene tåler de påkjenningene gitt fra katodekassen med god margin. Simulering av snu-jiggen peker på at de parameterne gitt til SolidWorks ikke er gode nok. Dette fører til at de resultatene som simuleringene gir oppfattes som urealistiske. Optimalisering av snu-jiggen settes derfor til kapittel «7.1 Veien videre».

Abstract

The purpose of this report was to develop a solution for Storvik AS to carry out safe maintenance of their cathode pot which is the electrolyze cell in the process of making aluminum. Today, they are not able to carry out proper maintenance on the bottom of the cathode pots. The solution we designed will be able to lift the pot and then rotate it to the desired angle, which is 270 degrees. The implementation of the turning jig to the pot means that Storvik AS will be able to perform maintenance on both sides as well as the bottom of the pot. In addition, a better ergonomic working position, and allows the work to be performed with a robot welder.

To solve this problem, we used SolidWorks to design and develop the turning jig. SolidWorks, as well as hand calculations, was used to calculate the forces that affects the jig. Hand calculation of the forces have been performed to be able to execute the simulations in SolidWorks. From the simulations we have been able to understand how the forces propagate and the impact they have on the construction. The calculations done by hand has been a central part, as the results has given us the forces necessary for the simulations in SolidWorks, to see how these forces propagate further in the mechanism. Our process has been to address the individual parts and design them, then run a force calculation. This is to ensure the correct design of the individual parts and that they distribute the forces in a healthy way, then create a full composition in SolidWorks and run simulation on the whole turning jig.

We conclude that the individual parts do withstand the stresses given from the cathode pot by a good margin. The simulations of the assembly do give a different result entirely. It shows that the limits, like fasteners and forces applied, in SolidWorks is not applied correctly, or so we can assume. This gives us a result that we perceive as unrealistic. Optimization of the turning jig is therefore listed under chapter “7.1 Veien videre”.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|-----|
| Figurliste | VII |
| Symboler | X |
| Formelverk | XI |
| Omregning | XI |
| 1.0 Innledning | 1 |
| 1.1 Problemstilling | 1 |
| 1.2 Effektmål | 2 |
| 1.3 Avgrensninger | 2 |
| 1.4 Prosjektstyring | 2 |
| 1.5 Prosjektstyringsverktøy | 3 |
| 1.6 Rapportstruktur | 4 |
| 2. Teori | 5 |
| 2.1 Dimensjonering | 5 |
| 2.1.1 Grunnleggende krefter og spenninger | 5 |
| 2.1.2 Dimensjonering | 8 |
| 2.1.3 Dimensjonerende grensebetingelser | 9 |
| 2.2 Standarder | 9 |
| 2.2.1 NS-EN 1990: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner | 10 |
| 2.2.2 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-1 | 10 |
| 2.3 HMS | 10 |
| 2.3.1 Generelt om HMS | 10 |
| 2.3.2 Relevant HMS | 11 |
| 2.3.3 Faktorer som tas hensyn til | 11 |
| 2.3.4 Maskinsikring | 12 |
| 3. Metode | 13 |
| 3.1 Produktutvikling | 13 |
| 3.1.1 Utviklingsprosess og organisering | 13 |
| 3.2.2 Identifisering av kundes behov | 14 |
| 3.2.3 Konseptgenerering | 14 |
| 3.2.4 Valg av konsept | 18 |
| 3.2.5 Konsepttesting | 19 |
| 3.2.6 Patenter | 19 |

| | |
|---|----|
| 3.2.7 Økonomi | 19 |
| 4. Analyse | 19 |
| 4.1 Konseptutvikling | 20 |
| 4.2 Relevante komponenter | 24 |
| 4.2.1 Gripemekanisme | 25 |
| 4.2.2 Innfesting mellom gripemekanisme og arm | 26 |
| 4.2.3 Arm | 28 |
| 4.2.4 Innfesting av aksling | 30 |
| 4.2.5 Løftemekanisme | 33 |
| 4.2.6 Roteringsmekanisme | 34 |
| 4.2.7 Base med føringer | 35 |
| 4.3 Valgte konsept | 40 |
| 4.4 Sammenstilling av snujigg med katodekasse | 41 |
| 5. Resultater | 43 |
| 5.2 Beregning av valgte modeller | 45 |
| 5.3 Sammenstillingstegning | 60 |
| 6. Drøfting/diskusjon | 63 |
| 7. Konklusjon | 65 |
| 7.1 Veien videre | 66 |
| 8. Referanser | 67 |
| 9. Vedlegg | 68 |

Figurliste

| | |
|--|----|
| Figur 1: Skjærspenning illustrasjon | 6 |
| Figur 2: Torsjonsspenning illustrasjon..... | 6 |
| Figur 3: Rotasjonsmoment illustrasjon | 7 |
| Figur 4: Utveksling illustrasjon | 8 |
| Figur 5: Bruddgrensetilstand, (Johansen, 2007, p. 2) | 9 |
| Figur 6: Lastfaktor, (Norsk Standard, 2016)..... | 10 |
| Figur 7: Materialfaktor, (Norsk Standard, 2015) | 10 |
| Figur 8: Dimensjonerende last, illustrasjon | 16 |
| Figur 9: Kraftendring vinkel, illustrasjon | 17 |
| Figur 10: Belastning på den underste griperen | 17 |
| Figur 11: Utkast løfteanordning | 20 |
| Figur 12: Konsept utkast griper | 21 |
| Figur 13: Utkast av tidlig gripemekanisme..... | 22 |
| Figur 14: utkast griper..... | 22 |
| Figur 15: utkast griper Von Mises | 23 |
| Figur 16: Utkast 5 overdel | 23 |
| Figur 17: Utkast 5 underdel | 23 |
| Figur 18: Katodekasse..... | 24 |
| Figur 19: Første utkast griper..... | 25 |
| Figur 20: Andre utkast griper..... | 25 |
| Figur 21: Tredje utkast griper | 26 |
| Figur 22: Innfesting av gripere utkast 1 | 26 |
| Figur 23: Innfesting av gripere utkast 2 | 27 |
| Figur 24: Innfesting av gripere utkast 3 | 27 |
| Figur 25: Innfesting av gripere utkast 4, kiler 1 | 28 |
| Figur 26: Innfesting av gripere utkast 4, kiler 2..... | 28 |
| Figur 27: Feste for aksling, utkast 1 | 29 |
| Figur 28: Feste for aksling, utkast 2..... | 29 |
| Figur 29:Feste for aksling, utkast 3..... | 29 |
| Figur 30: Feste for aksling, utkast 4..... | 30 |
| Figur 31:Opplagring, utkast 1 | 30 |
| Figur 32: Opplagring, utkast 2 | 31 |
| Figur 33: Lagerboss sfæriske rullelager, utkast 1 | 31 |
| Figur 34: Lagerboss glidelager, utkast 1 | 31 |
| Figur 35:Aksling, utkast 1 | 32 |
| Figur 36: Sfæriske lager..... | 32 |
| Figur 37: Glidelager | 32 |
| Figur 38: Avstiver, opplagring..... | 33 |
| Figur 39: Innfesting av løftesyylinder, utkast 1 | 33 |
| Figur 40: Innfesting av løftesyylinder, utkast 2 | 33 |
| Figur 41: Illustrasjon kjededrift og løftesyylinder | 34 |
| Figur 42: Solid base med føringer | 35 |

| | |
|--|----|
| Figur 43: Base hulprofil utkast 1 | 36 |
| Figur 44: Base hulprofil, utkast 2 | 36 |
| Figur 45: Førings til støttesøylene på basen | 37 |
| Figur 46: Sammenstilling av base, utkast 1 | 37 |
| Figur 47: Støttesøyle | 37 |
| Figur 48: Base hulprofil, utkast 3 | 38 |
| Figur 49: Base hulprofil, utkast 4 | 38 |
| Figur 50: Sammenstilling av base, utkast 2 | 39 |
| Figur 51: Sammenstilling med kasse, start posisjon | 41 |
| Figur 52: Sammenstilling med kasse, løftet | 41 |
| Figur 53: Sammenstilling med kasse, rotert 45 grader | 41 |
| Figur 54: Sammenstilling med kasse, rotert 90 grader | 42 |
| Figur 55: Sammenstilling med kasse, rotert 180 grader | 42 |
| Figur 56: Fastholdninger og krefter | 44 |
| Figur 57: Opplagring lager | 44 |
| Figur 58: Sammenstilling, startposisjon | 45 |
| Figur 59: Simulering av sammenstilling 1 | 46 |
| Figur 60: Simulering etter korrigerende tiltak | 46 |
| Figur 61: Simulering av sammenstilling 2 | 47 |
| Figur 62: Sylindrefeste resultater 1 | 47 |
| Figur 63: Sylindrefeste resultater 2 | 48 |
| Figur 64: Sylindrefeste resultater 3 | 49 |
| Figur 65: Simulering av sammenstilling 3 | 49 |
| Figur 66: Design insight | 50 |
| Figur 67: Iso Clipping | 50 |
| Figur 68: Verdier over 355MPa, 2 | 51 |
| Figur 69: Verdier over 355MPa, 1 | 51 |
| Figur 70: Krefter i boss til sfæriske lager | 51 |
| Figur 71: Krefter i opplagingsbjelke | 51 |
| Figur 72: Krefter i boss til glidelager | 51 |
| Figur 73: Krefter i aksling | 51 |
| Figur 74: Krefter i glidelager | 52 |
| Figur 75: Krefter i overdel og underdel av griper | 52 |
| Figur 76: Krefter i sylindrefeste | 52 |
| Figur 77: Krefter i støtte | 52 |
| Figur 78: Sammenstilling, forskyvinger 1 | 52 |
| Figur 79: Sammenstilling, rotert 180 grader | 53 |
| Figur 80: Simulering av sammenstilling rotert 180 grader | 54 |
| Figur 81: Krefter i overdel og underdel av griper, rotert 180 grader | 54 |
| Figur 82: Krefter i støtte, rotert 180 grader | 54 |
| Figur 83: Krefter i sylindrefeste, rotert 180 grader | 54 |
| Figur 84: Krefter i opplagring, rotert 180 grader | 54 |
| Figur 85: Krefter i boss til sfæriske lager, rotert 180 grader | 54 |
| Figur 86: Sammenstilling, rotert 90 grader | 55 |

| | |
|---|----|
| Figur 87: Fastholdninger, rotert 90 grader | 56 |
| Figur 88: Fastholdninger, rotert 90 grader, 2 | 56 |
| Figur 89: Simulering av sammenstilling, rotert 90 grader | 57 |
| Figur 90: Verdier over 355MPa, 3 | 57 |
| Figur 91: Krefter i boss til sfæriske lager, rotert 90 grader | 58 |
| Figur 92: Krefter i glidelager, rotert 90 grader | 58 |
| Figur 93: Krefter i aksling, rotert 90 grader | 58 |
| Figur 94: Krefter i opplagring, rotert 90 grader | 58 |
| Figur 95: Krefter i glidelager, rotert 90 grader | 58 |
| Figur 96: Simulering på griper | 59 |
| Figur 97: Sammenstillingstegning | 60 |
| Figur 98: Sammenstillingstegning Rev 2 | 61 |
| Figur 99: Bill Of Material | 62 |

Symboler

Herunder er det forklart symbolenes betydning slik at leseren skal kunne lettere forstå hva som er gjort i utregningene foretatt.

| | | |
|-----------------|--|--|
| F | Kraft | $[N]$ |
| N | Klemkraft | $[N]$ |
| $F_{frikisjon}$ | Friksjonskraft | $[N]$ |
| F_x | Kraft, legemets x – retning | $[N]$ |
| F_y | Kraft, legemets y – retning | $[N]$ |
| m | Masse | $[kg]$ |
| A | Areal | $[mm^2]$ |
| M | Moment | $[Nmm]$ |
| x, a_s | Avstand | $[mm]$ |
| D | Diameter | $[mm]$ |
| a | Akselerasjon | $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ |
| μ | Friksjonskoeffisient | <i>ubenevnt</i> |
| W_x | Tverrsnittmodul | $[mm^3]$ |
| I_x | Annet arealmoment | $[mm^4]$ |
| E | Elastisitetsmodul | $\left[\frac{N}{mm^2}\right]$ |
| τ_s | Skjærspenning | $\left[\frac{N}{mm^2}\right] = [MPa]$ |
| τ_t | Bøyespenning | $\left[\frac{N}{mm^2}\right] = [MPa]$ |
| ω | Vinkelfart | $\frac{\text{Radianer}}{\text{sekund}} [s^{-1}]$ |
| α | Vinkelakselerasjon | $\frac{\text{Radianer}}{\text{sekund}^2} [s^{-2}]$ |
| θ | Vinkel | $[rad]$ |
| H | Høyde | $[m]$ |
| B | Bredde | $[m]$ |
| W | Arbeid | $[J]$ |
| d | Avstand senter bjelke til rotasjonspunkt | $[m]$ |
| v | Hastighet | $\left[\frac{m}{s}\right]$ |
| r | Radius | $[mm]$ |
| t | Tid | $[s]$ |

Formelverk

| | | |
|-----------------------------|--|------|
| Moment: | $M = F \cdot a_s \cdot \sin \theta$ [Nm] | (1) |
| Skjærspenning: | $\tau_s = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ | (2) |
| Areal: | <i>Sylinder</i> : $A = \frac{\pi}{4} D^2$ <i>Firkantbjelke</i> : $A = B \cdot H$ [mm ²] | (3) |
| Bøyeppenning: | $\tau_t = \frac{M}{W_X} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ | (4) |
| Tverrsnittmodul: | <i>Sylinder</i> : $W_X = \frac{\pi}{32} D^3$ <i>Firkantbjelke</i> : $W_X = \frac{B \cdot H^2}{6}$ [mm ³] | (5) |
| Jevnførende spenning: | $\sigma_j = \sqrt{\tau_s^2 + 3\tau_t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ | (6) |
| Bevegelsesmoment: | <i>Firkantprofil</i> : $I = \frac{1}{12} m \cdot (H^2 + B^2) + m \cdot d^2$ [kgm ²] | (7) |
| Kinetisk energi i rotasjon: | $E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$ [J] | (8) |
| Arbeid, radiell rotasjon: | $W = M \cdot \theta$ [J] | (9) |
| Oversetting / Utveksling: | $i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{M_2}{M_1}$ [ubenevnt] | (10) |
| Kraft x retning ved tilt: | $F_x = m \cdot a \cdot \cos \theta$ [N] | (11) |
| Kraft y retning ved tilt: | $F_y = m \cdot a \cdot \sin \theta$ [N] | (12) |
| Kraft fra vekt: | $F = m \cdot a$ [N] | (13) |
| Friksjonskraft: | $F_{frikksjon} = R = \mu \cdot N$ [N] | (14) |
| Radiell rotasjonshastighet: | $\omega = \frac{\theta}{t}$ [s ⁻¹] | (15) |
| Radiell akselerasjon: | $\alpha = \frac{\omega}{t}$ [s ⁻²] | (16) |
| Nedbøyning, 1 innspenning: | $f = \frac{F \cdot x^3}{3 \cdot E \cdot I}$ [mm] | (17) |
| Annet arealmoment: | <i>Sylinder</i> : $I_X = \frac{\pi}{64} D^4$ <i>Fikantbjelke</i> : $I_X = \frac{B \cdot H^3}{12}$ [mm ⁴] | (18) |

Omregning

| | |
|--------------------------------------|---|
| Grader til radianer: | θ [rad] = $\frac{\theta$ [grader] · π}{180} |
| Hastighet til vinkelfart: | $\omega = \frac{v}{r}$ [s ⁻¹] |
| Akselerasjon til vinkel aks: | $\alpha = \frac{a}{r}$ [s ⁻²] |
| Meter til millimeter: | [mm] = 10 ⁻³ [m] |
| m ² til mm ² : | [mm ²] = 10 ⁻³ · 10 ⁻³ = 10 ⁻⁶ [m ²] |
| Nmm til Nm: | [Nmm] = 10 ⁻³ [Nm] |

1.0 Innledning

Denne oppgaven er levert av Storvik AS gjennom NTNU. De etterspurte en konstruksjon for å drive vedlikehold av katodekasser brukt til fremstillingen av aluminium. Kassene er laget i stål og må vedlikeholdes når en elektrolysecelle tas ut av drift for omføring. Storvik AS ønsker at disse kravene skal følges, da noen av dem går på plassutnyttelsen av lokalene

- Bredden på jiggen skal ikke overskride bredden på kassen, som er 4976 mm.
- Løsningen må være flyttbar, gjerne ved bruk av kran.
- Det skal anvendes NS-EN 1990 og NS-EN 1993 under hele prosjektet.

Denne løsningen vil være unik til Storvik AS da det ikke finnes en kommersiell løsning for denne type jobb. Det er derfor vanskelig å støtte seg på et annet produkt i utviklingen av jiggen. Løsningen de etterspør skal kunne løfte og rotere katodekassene, slik at vedlikehold kan utføres på undersiden. Oppgaven vil løses gjennom tegning og beregning i SolidWorks, et CAD/CAM (computer-aided drafting/modeling) program for utforming av 3D modeller på data, samt håndberegninger. Dette for å sikre kvaliteten av produktet og finne de kreftene det skal simuleres med.

Storvik AS er en bedrift med hovedkontor lokalisert på Sunndalsøra i Møre og Romsdal. «Storvik er i dag en ledende mekanisk/engineering bedrift og leverer flerfaglige løsninger, tjenester og prosjekter rettet mot internasjonal aluminiumsindustri, ferrosiliciumindustri, olje og gass, samt vannkraft» (Storvik AS, u.d.).

Katodekassene brukes til fremstilling av aluminium, og det er et behov for vedlikehold av disse. Frem til nå har vedlikeholdet blitt utført uten at katodekassene blir løftet og rotert, Sidene av kassene blir i dag vedlikeholdt i en dårlig ergonomisk stilling, stående. Ved å rotere kassen 90 grader, kan det etterhvert legges til rette for bruk av sveiserobot.

1.1 Problemstilling

Formålet med dette prosjektet er å designe en snu-jigg som skal kunne utføre en spesifikk oppgave. Denne oppgaven går ut på å løfte opp og rotere en kasse som veier 36 tonn og har målene 4976 mm x 1753 mm x 12906 mm. Det skal også medregnes en sikkerhetsfaktor fra Eurokode 3, noe som gjør at jiggen skal beregnes på å løfte noe tyngre enn kassens egenvekt på 36 tonn.

Utvikle, dimensjonere og simulere en snu-jigg som skal kunne løfte og rotere en katodekasse som brukes i fremstilling av aluminium hvor prioriteten er på gripemekanismen for fastholdning av kassen.

Resultatmål

- Utvikle konsept av jiggen
- Dimensjonere deler av konseptet med analytiske og numeriske metoder
- Lage arbeidstegninger av utvalgt konsept

1.2 Effektmål

- Opparbeide erfaring med gruppeprosjekter og rapportskrivning
- Bruke teorien som ble lært gjennom utdanningen
- Lære mer om styrkeberegning av komponenter og produktutvikling
- Lære mer om bruk av simuleringsprogram (SolidWorks)
- Løse et reelt problem som er representativt for en stilling som maskiningeniør
- Lage et prosjekt som tilfredsstillende målene gruppen har satt seg
- Lære mer om en praktisk tilnærming til utformingen av et produkt
- Få erfaringer med å jobbe i gruppe, og se produktets utvikling fra start til slutt

1.3 Avgrensninger

- I konseptutvikling brukes kun et material
- Ser bort ifra kostnader ved bygging av jiggen
- Styrkeberegninger vil ta utgangspunkt i at sveisene er perfekte.

1.4 Prosjektstyring

Tidlig i rapportprosessen ble det levert et forprosjekt. Hensikten med dette var å lage en oversikt for å hjelpe oss planlegge tid og ressurser lagt i denne rapporten. Forprosjektet (se vedlegg 1) hjalp oss med dette ved å konkretisere oppgaven, sette frister og tenke på HMS rundt jiggen.

Gruppen har brukt disse samhandlingsverktøyene:

Messenger, Facebook

Gruppemedlemmene har laget seg en egen samtale på Facebook for generell diskusjon om oppgaven, her har det blitt avtalt møter, som har resultert i møteinnkalling, og videre prosess.

Skype

Et program som tillater telefon og videosamtaler over internett for å holde kontakt selv om medlemmene på gruppen ikke alltid har vært samlet. Det har også gitt oss en mulighet for å kontakte Storvik AS uten å måtte reise til Sunndalsøra.

OneDrive

Det ble brukt OneDrive, Microsoft sin skylagringstjeneste, for å dele filer med hverandre. Det er et meget godt verktøy når man skal skrive en oppgave med andre. OneDrive kan bruke alle Microsoft sine program, slik som Word og Excel, på nett eller lokalt og tillater at flere individer gjør endringer i et og samme dokument.

1.5 Prosjektstyringsverktøy

Gantt

Det er tatt i bruk et Gantt-skjema for planlegging av tid og oppgaver. Det har vært nødvendig å ha en ramme å forholde seg til i et prosjekt som går over lengere tid. Uten struktur, i form av datorer og interne frister, satt i Gantt-skjema ville oppgaven blitt uhåndterlig og falt gjennom som en dårlig oppgave. Tidlig i prosessen, ble det planlagt hvordan det ønskes å gå fremover som en gruppe, ble det bestemt at TeamGantt var riktig verktøy for denne oppgaven. Gjennom TeamGantt så har det vært lett å planlegge fremover, eventuelt endre etter behov, og se hvilke oppgaver som er avhengige av hverandre (vedlegg 1).

Excel

Det er brukt Excel for å registrere timer brukt av hvert medlem under denne prosjektperioden. Denne timeoversikten (vedlegg 3) har vært tilgjengelig for alle medlemmene via OneDrive for innsyn og redigering.

1.6 Rapportstruktur

Kapittel 1: Introduksjon av rapporten

Under dette kapitlet er beskrivelse av oppgaven, oppgavens struktur, problemstillingen, mål og faglig bakgrunn.

Kapittel 2: Teori

Teori og standarder benyttet i utforming av jiggen. Det er viktig med god informasjon angående HMS. Det er mange risikofaktorer knyttet til jiggen. Dette inkluderer miljø, arbeidsvaner og forhåndsregler ved interaksjon med produktet og arbeidsplassen rundt.

Kapittel 3: Metode

Fremgangsmåten brukt til å svare på problemstillingen.

Kapittel 4: Analyse

Utkast, beregninger og modellering, CAD modeller fra SolidWorks, av jiggen. Dette inkluderer grafer knyttet til styrkeberegning.

Kapittel 5: Resultater

Resultatene fra SolidWorks, håndberegningene presenteres. Ut ifra dette legges det frem den løsningen som er best egnet til å svare på problemstillingen.

Kapittel 6: Diskusjon

Drøfting av hvorfor denne løsningen er best egnet til å svare på problemstillingen.

Kapittel 7: Konklusjon

Oppgavens konklusjon og veien videre.

Kapittel 8: Referanser

Listet de referansene som er tatt i bruk.

Kapittel 9: Vedlegg

Vedlegg nummerert.

2. Teori

2.1 Dimensjonering

Teori som benyttes for å løse denne oppgaven er i all hovedsak hentet fra mekanikken og fasthetslære. Da oppgaven skal dimensjonere utformingen av denne løsningen, er det stort sett benyttet utregninger av krefter, moment, skjærspenning og bøyespenning, med innslag av noe bevegelse hentet fra fysikken. En enkel forklaring av hvordan dette henger sammen (kap. 2.1.1), samt viderekommende dimensjonering (kap. 2.1.2 og 2.2) følger under.

2.1.1 Grunnleggende krefter og spenninger

Moment eller torsjonsmoment fungerer som en vridningskraft om en akse, hvor en påført kraft langs aksens vil forårsake en vridningskraft der hvor aksens er innfestet. Vridningskraften vil øke jo lengre ute fra aksens kraften virker i tillegg til hvor stor kraften er. En god måte å se for seg dette er ved løsning av en bolt eller mutter. Her vil rotasjonskraften øke jo lengre ut på momentnøkkelen man griper. Den generelle formelen for moment er:

$$M = F \cdot a_s \cdot \sin \theta \quad (1)$$

(Hibbeler, et al., 2012, p. 117)

Hvor F er kraft, a_s er avstand fra innfesting, og θ er kraftens vinkel. Dersom kraften virker vinkelrett, vil dette si at $\theta = 90^\circ$, og $\sin \theta = 1$, som gjør at:

$$M = F \cdot a_s$$

Skjærspenning er resultatet av en kraft som virker vinkelrett på en flate, og vil forsøke å «klippe» eller skjære legemet. Dersom denne spenningen går over flytegrensen til materialet den virker på, vil materialet begynne å deformeres, og etter hvert føre til brudd eller svikt i komponenten dersom spenningen holdes ved like. Formelen for skjærspenning er:

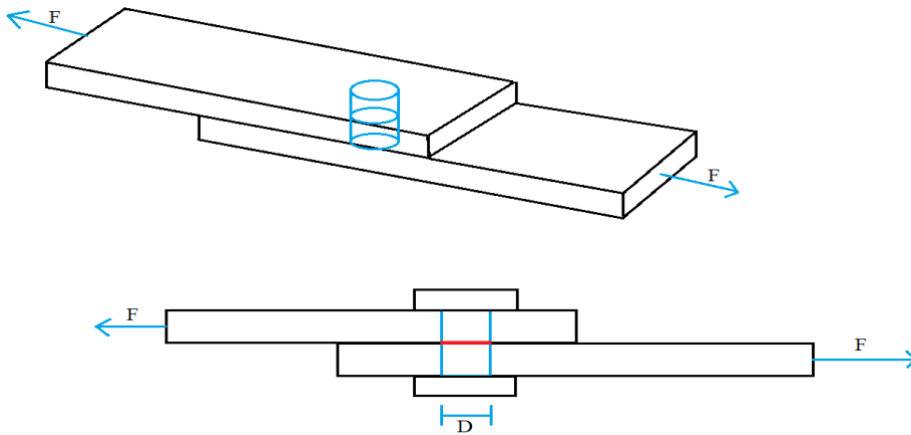
$$\tau_s = \frac{F}{A} \quad (2)$$

(Dørum, 2007, p. 1.1)

Hvor F er kraften som påvirker et gitt areal A . Se figur 1. Ved dimensjonering, forsøker man å utforme deler slik at skjærkraften hele tiden er under flytegrensen av materialet. Man benytter τ_s som materialets flytegrense, og forsøker å tilpasse arealet og kraften om mulig til å gå under denne verdien. Det er også mulig å benytte et sterkere materiale, dersom man ikke har andre muligheter. Arealet som kraften virker på i figur 1 er kun arealet til bolten som går gjennom platene, som er:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3)$$

(Johannessen, 2002, p. 18)



Figur 1: Skjærspenning illustrasjon

Bøyepenning fungerer litt som skjærspenning, men er spenningen som oppstår på grunn av moment, og virker på et gitt område. Momentet forårsaker et trykk i nedre del av bjelken, og strekk i øvre den, og vil bøye bjelken ned. Formel for torsjonsspenning er:

$$\tau_t = \frac{M}{W_x} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (4)$$

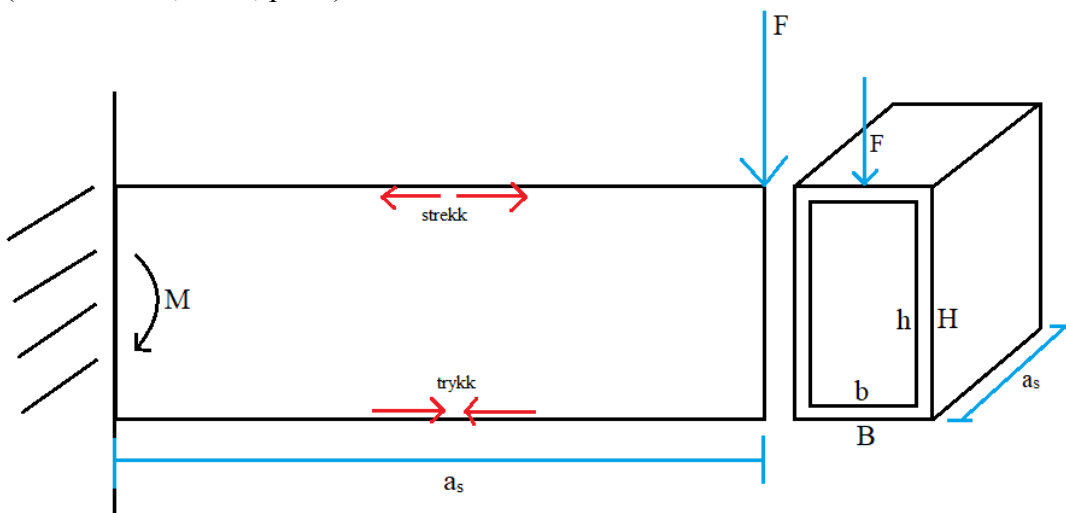
(Dørum, 2007, p. 1.1)

Hvor M er moment, og W_x er tverrsnittmodul, som er et mål på hvor motstandsdyktig dimensjonen er mot nedbøyning og påvirkning av moment. Dette beregnes ut fra bjelkens dimensjon og utforming: W_x for hul firkantbjelke og sylinder er:

$$W_{X \text{ bjelke}} = \frac{B \cdot H^2 - b \cdot h^2}{6} [mm^3] \quad (5)$$

$$W_{X \text{ sylinder}} = \frac{\pi}{32} D^3 [mm^3] \quad (5)$$

(Johannessen, 2002, p. 63)



Figur 2: Torsjonsspenning illustrasjon

Jevnførende spenning er den spenningen det dimensjoneres opp imot. Dette er en kombinert spenning hvor man tar hensyn til både skjær- og bøyespenning, hvor bøyespenningen har en større faktor, og er dermed noe mer kritisk. Dette kalles også Von Mises spenning, som nevnes senere i kapittel 4 og 5.

$$\sigma_j = \sqrt{\tau_s^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \quad (6)$$

(Dørum, 2007, pp. 1.1 - 1.2)

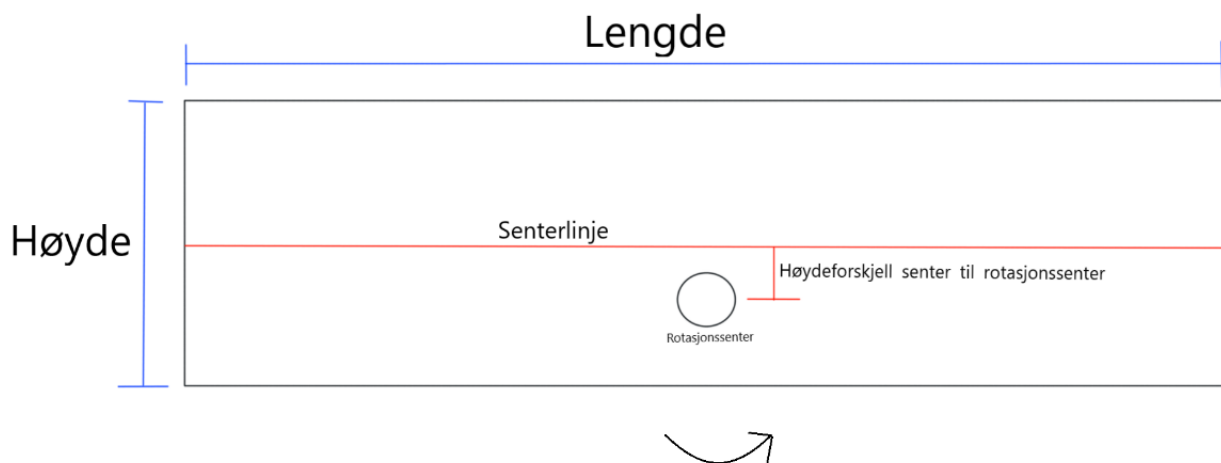
Rotasjon av et legeme krever et dreiemoment påført på en eller annen måte. Først finner man arealmomentet før den kinetiske energien som må til for å rotere, og til slutt momentet. Ved utregning av arealmomentet tas også høyde for en eventuell avstand mellom senter av legemet og hvor legemet roteres om.

$$I = \frac{1}{12} m \cdot (H^2 + L^2) + m \cdot d^2 \quad (7)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (8)$$

$$E_k = W = M \cdot \theta \rightarrow M = \frac{E_k}{\theta} \quad (8 \& 9)$$

(Bedford & Fowler, 2005, pp. 422-424)



Figur 3: Rotasjonsmoment illustrasjon

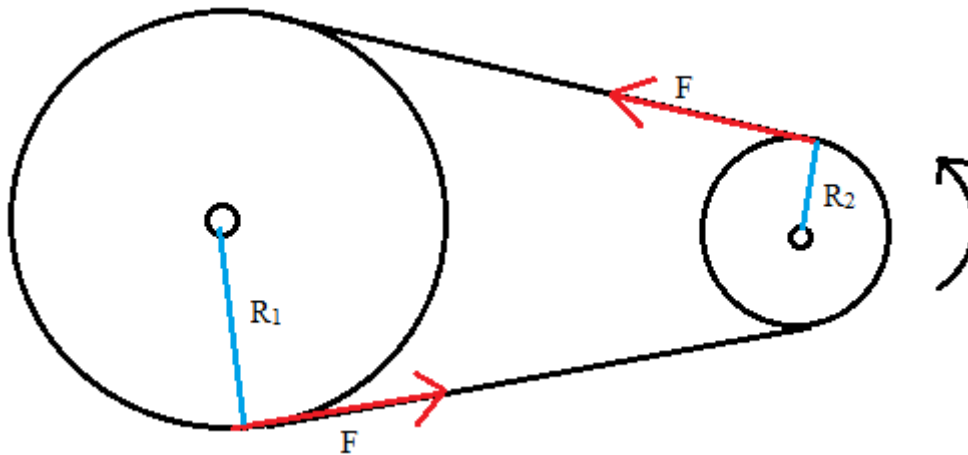
Oversetning / utveksling ved rotasjon brukes når man ønsker å øke eller senke rotasjonshastighet, men kan også brukes til å gi et høyere dreiemoment. Den generelle likningen for utveksling er:

$$\text{Oversetning } i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{M_1}{M_2} \quad (10)$$

(Dørum, 2007, p. 9.3)

Her kan man regne ut det man ønsker av moment, rotasjonshastighet og diameter på hjulene. Har man for eksempel et drivende hjul på 20 mm som påføres 100 Nm, og trenger 400 Nm på drevet hjul, må drevet hjul være:

$$d_2 = i \cdot d_1 = \frac{400Nm}{100Nm} \cdot 20mm = 80mm$$



Figur 4: Utveksling illustrasjon

2.1.2 Dimensjonering

For å kunne designe noe nytt er man nødt til å kartlegge hvilke krefter som påvirker konstruksjonen. Spesielt de kreftene som svekker konstruksjonen. «Alle maskinkonstruksjoner er grunnlagt på kjennskapet til spenningene som opptrer i de enkelte delene. Derfor må man alltid begynne konstruksjonsarbeidet med å tenke gjennom hvilke påkjenninger konstruksjonen vil bli utsatt for.» (Dahlvig & Christensen, 1984, p. 7).

Som Dahlvig og Christensen beskriver i «Konstruksjonselementer» kan man som regel raskt finne ut hvilke krefter som påvirker på de ulike komponentene. Dette er ikke alltid tilfelle og det er her enkle skisser av konstruksjonen er avgjørende for kartlegging av kreftene. Det er forskjellige krefter som kan ha innvirkning på en konstruksjon, da kan man ha både direkte og ytre krefter. Delene av maskinene kan også belaste konstruksjonen, med tanke på dens egen tyngde. Alle komponenter har en masse, og siden de er i bevegelse, så må man ta hensyn til dynamiske krefter (Dahlvig & Christensen, 1984, p. 7).

Så snart kreftene som påvirker konstruksjonen er gjort rede for, så kan man starte prosessen med å beregne spenningene som opptrer (Dahlvig & Christensen, 1984, p. 7). «Det forutsettes da nesten alltid at Hooks lov gjelder, det vil si at spenningen er proporsjonal med forlengelsen eller med vinkeldeformasjonen (Dahlvig & Christensen, 1984, p. 7).

Etter at spenningene er gjort rede for, så kan man begynne med materialvalg og dimensjonsberegninger. Her er det veldig viktig at man kontinuerlig vurderer flere faktorer. På grunn av at det er store forskjeller i belastningstype, altså statisk eller dynamisk belastning. Disse vil gi ulike typer brudd. Statiskbelastning jevnt over vil gi «glidebrudd». Dette kan tydelig observeres

ved innsnevring i diameteren før bruddet. Dynamiskbelastning vil ikke gi noe tydelig tegn på brudd. Det starter, ofte, med en uregelmessighet i materialet. Her dannes det en sprekk. Ved vedvarende belastning vil størrelsen på sprekken øke, helt til tverrsnittet ikke behersker belastningen mer og det oppstår brudd (Dahlvig & Christensen, 1984, pp. 7-8).

2.1.3 Dimensjonerende grensebetingelser

Ved dimensjonering av konstruksjoner benyttes som regel fire forskjellige grensetilstander. Disse er:

-Bruddgrensetilstand

Relatert til faren for plastiske forskyvninger eller tøyninger som kan relateres til brudd.

-Bruksgrensetilstand

Overskridelse av denne grensen er ikke tilfredsstillende, da det kan resultere i uønskede forskyvninger, tøyninger og spenninger.

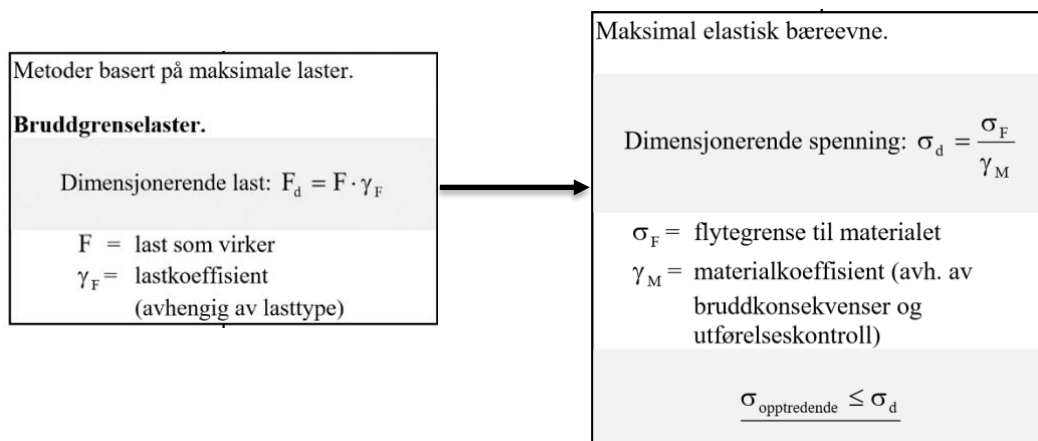
-Utmattingsstilstand

Faren for brudd vurderes og faktoren bestemmes ut ifra om hvor stor grad konstruksjonen påvirkes av vekslende last.

-Ulykkes grense

Hvor følsom konstruksjonen er etter at den har blitt svekket, og om dette øker sannsynligheten for brudd i konstruksjonen. (Johansen, 2007, p. 1)

I figur 5 kan man se formlene for dimensjonerende last og dimensjonerende spenning.



Figur 5: Bruddgrensetilstand, (Johansen, 2007, p. 2)

2.2 Standarder

Ved dimensjonering av konstruksjoner i denne oppgaven er standarden NS-EN 1990, og i NS-EN 1993 lagt til grunn. Disse standardene benytter partialkoeffisientmetoden, denne metoden har ikke bare én faktor som blir spesifisert. Med denne metoden så har man flere faktorer som blir bestemt på grunnlag av konstruksjonens material og bruksområdet.

2.2.1 NS-EN 1990: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

Dimensjonerende verdier for laster (STR/GEO) (sett B), hentet fra NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 tabell A1.2(B)

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,35;$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 1,00;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (slik at } \xi \gamma_{G,j,\text{sup}} = 0,85 \times 1,35 \cong 1,15).$$

| | |
|-----------------|--|
| (Ligning 6.10a) | $\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ |
| (Ligning 6.10b) | $\xi \gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ |

Figur 6: Lastfaktor, (Norsk Standard, 2016)

Ved å bruke lastfaktor, så øker den dimensjonerende lasten (se figur 6). Dette sikrer konstruksjonen, reduserer sannsynligheten for å overgå sin reelle flytegrense og faren for plastisk deformasjon (Johansen, 2007).

2.2.2 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-1

Bruddgrensetilstander, hentet fra NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015

| | | |
|--|---------------|----------------------|
| - tverrsnittskapasitet uansett tverrsnittsklasse: | γ_{M0} | $\gamma_{M0} = 1,00$ |
| - stavers kapasitet mot instabilitet påvist for hele staven: | γ_{M1} | $\gamma_{M1} = 1,00$ |
| - tverrsnittskapasitet mot brudd for strekkpåkjenning: | γ_{M2} | $\gamma_{M2} = 1,25$ |

Figur 7: Materialfaktor, (Norsk Standard, 2015)

I figur 7 ser man et utklipp fra Del 1-1 fra Eurokode 3, denne beskriver forskjellige materialfaktorer med hensyn til hvilket tilfelle som er nødvendig for oppgaven. Materialfaktoren skal redusere flytegrensens verdi for å kompensere for eventuelle feil i materialet. Dette går inn under en av de fire grensetilstandene som vurderes.

2.3 HMS

2.3.1 Generelt om HMS

HMS er en forkortelse for Helse, Miljø og Sikkerhet, og handler om at alle på arbeidsplassen skal jobbe i gode omgivelser, uten fare for liv og helse. Det skal brukes verneutstyr som bedriften krever at arbeiderne som oppholder seg i området skal anvende. Ved å gjøre dette så legger bedriften til rette for en sikker og trygg arbeidsplass med et godt arbeidsmiljø. Et annet ord for HMS-forskriften er internkontrollforskriften. Denne sier noe om at lederen i bedriften har en plikt til å forsikre seg at alt av arbeid som blir utført på arbeidsplassen, utføres etter regelverket og kravene som bedriften stiller. Selv om det er lederen av bedriften som sitter med en plikt til å følge opp HMS regelverket, så har hver arbeider også rettigheter og plikter de skal følge. Når det gjelder selve oppfølgingen av HMS arbeidet så skal det også sørges for at dette loggføres skriftlig, her skal det framstå tydelig hvilke scenarioer som blir vurdert og hvordan de kontrolleres og forebygges i senere tid. Dersom bedriften produserer eller selger varer, samt

tilbyr tjenester skal et HMS – reglement opparbeides. Om bedriften er liten, med små sjanser for ulykker behøver ikke rutinene å være like omfattende (Arbeidstilsynet, u.d.).

2.3.2 Relevant HMS

HMS er en viktig del av denne oppgaven, det bygger faktisk grunnlaget, det dekker hele prosessen fra design til ferdig produkt og i produktets brukstid i etterkant. Så HMS er en faktor som vil bli medregnet i hele forløpet. Under dette prosjektet vil det komme begrensinger, begrensinger som må tas på alvor. Disse vil bli listet opp under faktorer som tas hensyn til. Denne rapporten og jiggen er med på å redusere risikoen for skader, som kan oppstå på personell eller materiell. Da rapporten inneholder beskrivelse av hvordan man tryggest utfører løfting og rotering med denne løsningen. De delene som har størst påkjenning i jiggen vil bli kontrollert flere ganger for å sikre godt resultat.

Komponentene til denne løsningen skal produseres etter arbeidstegningene i vedlegg 14 da disse er styrkeberegnet for de belastninger som kan oppstå under løfting og rotering. Ellers skal bedriftens retningslinjer om HMS følges under produksjon av disse komponentene.

Det skal legges ved en vedlikeholdsplan som beskrives smørepunkt og når komponentene skal skiftes for å unngå feil eller farlige situasjoner i jiggen. Når jiggen ferdigstilles skal det utarbeides et skriv for bruk. Her skal det listes opp hvilke krav som stilles før kjøring. Det burde også ligge ved en sjekklister som burde gjennomgås før løfting og rotering av kassen. Dette for å minske sannsynligheten for en eventuell ulykke. Derfor skal det utarbeides et dokument som beskriver hvilke hensyn som må tas før og under rotering av kassen. Dette dokumentet kan for eksempel beskrive noen av disse faktorene.

- Hvilke farer som er knyttet til håndtering av maskinen
- Trygg utførelse av vedlikehold
- Hvem som har lov til å betjene maskinen
 - o Krav til opplæring
- Minimum avstand til jiggen under løfting og rotering
- Verneutstyr som er påkrevd under løfting og rotering
- Krav til hvilke komponenter som skal kontrolleres før bruk av jiggen
- Personersikkerhet før løfting og rotering (personell eller utstyr oppi eller ved kassen)

2.3.3 Faktorer som tas hensyn til

- Personersikkerhet ved kjøring av konstruksjonen.
- Transport av konstruksjonen, hvordan skal den fraktes
- Montere jiggen på en sikker måte
- Innbygging av vitale deler. For eksempel, ved bruk av hydraulikk, hvordan skal slanger og koblinger sikres mot gnist og sveiseperler.
- Klemfare

2.3.4 Maskinsikring

Maskinsikring er en viktig del som man må vurdere ved bruk av komponenter som utgjør en risiko for personell som befinner seg i nærheten av konstruksjonen. Ved maskinsikring skal komponenter som for eksempel utgjør en klemfare, bygges inn eller sikres slik at ingen kan skade seg når maskinen er i bruk. Hvordan en konstruksjon låser seg eller sikres mot brudd på kraftkilde er noe som må tas i betraktning og vurderes ut ifra utfall. Som eksempel kan en se på et scenario der en hydraulisk sylinder løfter en komponent og en slange blir klippet. For å sikre god HMS må det da ligge en sikkerhetsventil som hindrer tap av trykk og låser løftesynderen så nært den posisjonen den var da slangen ble klippet.

Maskinsikring går ut på å fjerne alt som er til risiko for liv og helse både til arbeidstaker, forbruker og gjenstander. Det skal dekke alt fra igangsetting til bruk, vedlikehold og renhold. Om det fortsatt er risiko blant noen komponenter skal det beskrives hvilke forutsetninger og verneutstyr som er påkrevd. Det skal utføres kontroll av arbeidsutstyr som omhandler blant annet,

- Utstyr for løfting av hengende last og løfteredskaper
- Gaffeltrucker
- Masseforflytningsmaskiner
- Personløftere
- Trallebaner

(Arbeidstilsynet, 2018)

3. Metode

For å løse denne oppgaven har det blitt tatt i bruk produktutvikling som metode. Mer om dette i kapittel 3.2.

Det er blitt brukt mekanikk, konstruksjonsteknikk og produktutvikling lært gjennom vårt studieløp på NTNU, 3-årig Maskiningeniør, for å løse oppgaven. Videre er det benyttet både håndberegninger og simuleringer i SolidWorks for å bekrefte antakelser, design og dimensjonerings. Ved hjelp av SolidWorks kan det simuleres hvordan kreftene påvirker snu-jiggen for så å lokalisere svake punkter i vårt design/utforming.

Eurokode 3 ligger i grunn for denne oppgaven slik at jiggen møter moderne standarder med tanke på HMS og sikkerhetsfaktorer (Se kapittel 2.2).

3.1 Produktutvikling

Produktutvikling har vært en sentral del av denne oppgaven. Oppgaven har vært å utvikle et nytt produkt for å løse et eksisterende problem for oppdragsgiver. Det er et enormt tema og kan tilpasses det aller meste. Det er satt diverse forutsetninger for utvikling av produktet.

3.1.1 Utviklingsprosess og organisering

Distribusjon av arbeidsoppgaver har vært satt av gruppen og vært jevnt fordelt. Medlemmene har i stor grad hatt det samme utgangspunktet som snart ferdige maskiningeniører, men Ole Christian bidrar også med fagbrev som CNC-maskinarbeider og Bjørnar med fagbrev som dataelektroniker samt har gått teknisk fagskole.

Organisasjonsstrukturen vil dermed klassifiseres som en svært lett prosjektorganisasjon, mens produktet vil klassifiseres som et tilpasset produkt. Dette er på grunn av produktet ikke finnes fra før, og skal løse en bestemt oppgave. Utviklingen av dette produktet er primært basert på å designe utformingen.

Primære steg i produktutvikling (Ulrich & Eppinger, 2012) er:

- Utviklingsprosesser & organisering
- Identifisere muligheter
- Produktplanlegging
- Identifisere kundens behov
- Konseptgenerering
- Konseptvalg
- Konsepttesting
- Produkt arkitektur
- Industrielt design
- Miljømessig design
- Design for produksjon
- Prototyping

- Robust design
- Patenter
- Økonomi i produktutvikling
- Prosjektstyring

Disse stegene i utvikling av et produkt er retningslinjer. Derfor vil det kun bli tatt med de stegene som er relevant for vårt produkt. Disse er:

- Identifisere kundens behov
- Konseptgenerering
- Konseptvalg
- Patenter
- Økonomi i produktutvikling

3.2.2 Identifisering av kundes behov

Oppdragsgiver har angitt spesifikt hvilke problemer de ønsker at vårt produkt skal løse. Kassene er såpass store og uhåndterlige, at det tidligere ikke har vært noen god måte å utføre vedlikehold på disse. Kunden etterspør derfor en mekanisme som vil hjelpe vedlikeholds-jobben. Løsningen vår skal kunne løfte kassen, snu den 90°, 180° og 270° for så å sette den ned, slik at vedlikehold kan utføres. Produktet skal også kunne flyttes, enten med kran eller med påmonterte hjul. Dersom valget blir hjul blir det fort vanskelig da fjærbelastede hjul byr på problemer. Disse vil avlastes og løfte jigggen så snart katodekassen blir koblet fra og da by på problemer for demontering av den nederste griperen. Hjul kan være en aktuell løsning hvis hjulene kan festes på etter at katodekassen er koblet fra snu-jigggen. En mulig løsning på det vil være å heve kassen med en kran, for så feste hjulene med «pins» eller bolter på den fritthengende jigggen.

Oppdragsgiver har også sett for seg en cirka løsning på utforming og metode for løft og rotasjon. Produktet skal kun løse dette problemet for bedriften, og ikke utvikles for videre salg. På grunn av dette er det unødvendig å identifisere muligheter og produktplanlegging, da disse primært er verktøy for å utvikle et produkt ut fra markedsførings- og salgsperspektiv.

3.2.3 Konseptgenerering

For å komme med forskjellige konsept ble det avgjort at medlemmene i gruppen skulle komme med hvert sitt utkast, en ide. Dette ble gjort i SolidWorks som CAD-modeller, hvor man kan kontroll-regne om utkastet tåler belastningen. Utkastene er presentert og beskrevet i kapittel 4. Konstruksjonen deles opp i forskjellige deler ut ifra hvilke oppgaver de skal utføre.

- Gripemekanisme – løsningen som holder fast kassen
- Arm – Komponent som gripemekanisme er sammenføydd i og går videre til aksling.
- Lager / brakett – Innfesting mellom aksling og løftmekanisme
- Løft vertikalt – Løsning som løfter brakett vertikalt
- Stabilitetsstag – holder balansen og hindrer at konstruksjonen velter

- Rotasjonsmekanisme – løsning som roterer jiggen
- Base – Jiggens bein, holder balansen og har kontakt mot gulvet.

Dekomponering av oppgaver:

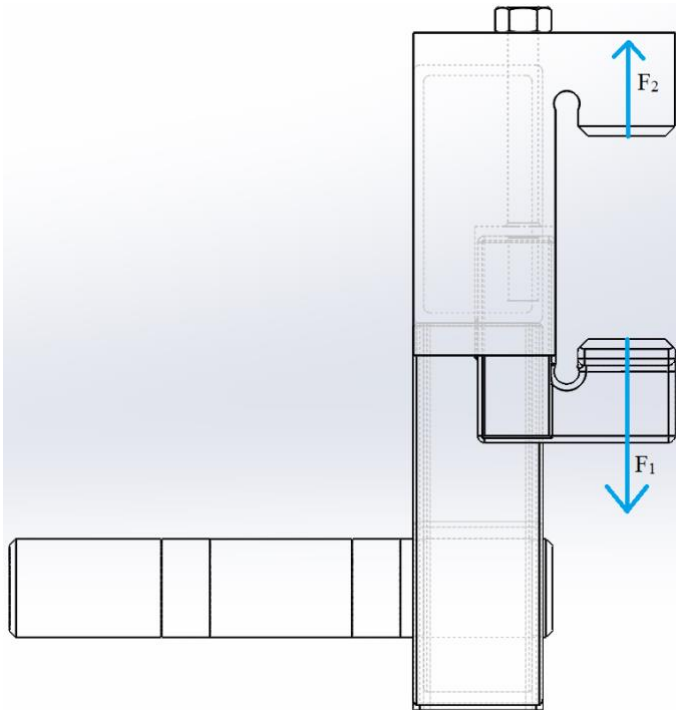
- Gripe katodekassen uten å ødelegge
- Løfte katodekassen på 36 tonn
- Rotere gripearmer og kasse 90°, 180° og 270°
- Sette katodekassen ned
- Utføre oppgavene på en rolig og trygg måte

Kriterier som utkastene vil vurderes ut ifra:

- Tåle påkjente belastninger, flytegrense 355 N/mm²
- Produksjonsvennlighet
- Utforming, det vil si dimensjonering av deler og mekaniske løsninger
- Prisoverslag
- Vekt
- Demonterbar
- Vedlikeholdsvennlighet

Dimensjonerende last:

Lasten som virker på gripepunktene er kun forspenning og vekten av kassen, hvor forspenning som trengs for å holde kassen i ro, selv i 90° posisjon er 119,2 kN. I startposisjon er dermed $F_2 = 119,2$ kN og F_1 er forspenning + fordelt vekt av kassen. Vekten av kassen fordelt på fire gripepunkter er også 119,2 kN, F_1 er dermed 238,4 kN. Denne lasten forplanter seg videre gjennom arm og videre til aksling.



Figur 8: Dimensjonerende last, illustrasjon

Gripe/innfestning av mekanisme mot kassen:

Løsningen som skal holde fast kassen er den delen som anses som den mest krevende med denne oppgaven. Når kassen er rotert 90° ønsker man at konseptet skal holde kassen i ro på friksjon alene. Dette betyr at fastholdningskraften / forspenningskraften må være høy nok til at kassen ikke sklir. Denne kraften bestemmes ut fra vekten av kassen og friksjonsfaktor mellom kasse og griper. Metoder for forspenning kan være med hydrauliske stempler eller med skruer, hvor skruene kan strammes med verktøy. I tillegg må griperne festes på en arm, som igjen festes til akslingen som roterer hele systemet.

Figur 10 viser kreftene som virker på griperens underdel ved kun friksjon i [kN]. For å kartlegge belastningene på griperen var det viktig å se på kreftene som oppstår i griperen. Disse kreftene finner man ved:

$$F_x = F_{forspenning} + \left(\frac{M_{kasse}}{4}\right) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos(\theta) \quad (11)$$

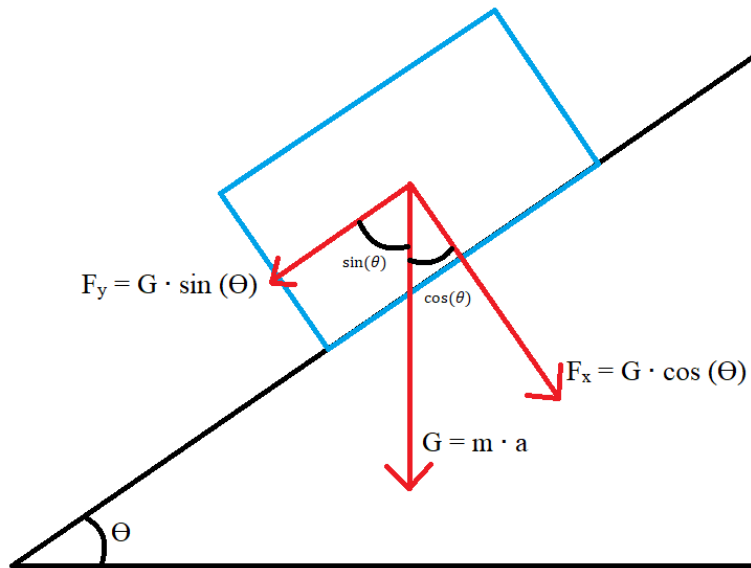
Λ

$$F_y = \left(\frac{M_{kasse}}{8}\right) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \sin(\theta) \quad (12)$$

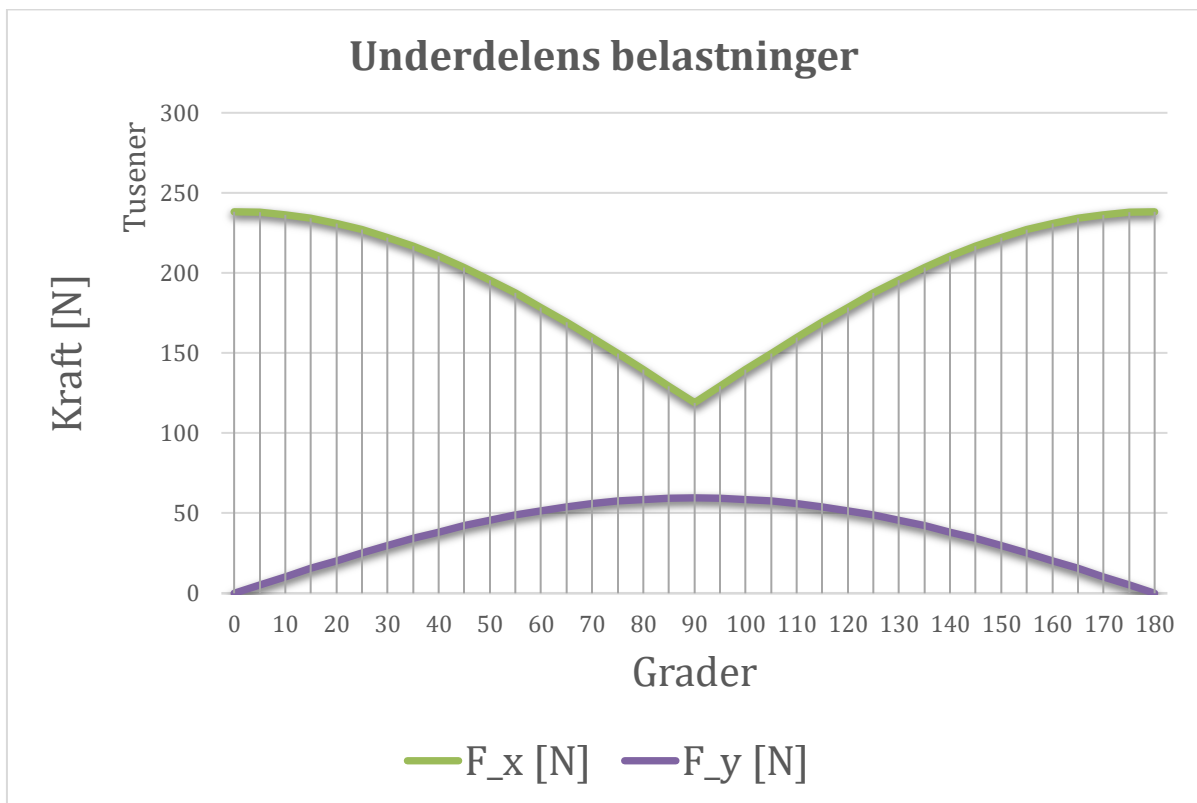
(Hibbeler, et al., 2012, p. 32)

$\cos(\alpha)$ beskriver vinkelen på katodekassen der startvinkelen er satt som 0. Når vinkelen er 0 står kassen i utgangsstilling, altså plant med gulvet. I punktet 90° ser en at F_x har laveste verdi, her står kassen vertikalt og det er da kun forspenningskraften som virker i F_x retning. Mellom

90° og 270° vil overdelen ta over som underdel, og F_x stiger på grunn av dette. Kraften F_y angir kraften som virker horisontalt på gripepunktet, altså vinkelrett på F_x , denne kraften er 0 når kassen står horisontalt med gulvet, og har maksimal verdi i punktene 90° og 270°. Da intervallet 180° - 360° kun er omvendt av vist graf, er det kun med intervallet 0 - 180° som er tatt med i denne illustrasjonen. Utregningen for tiltrekning av skruene finnes i vedlegg 7 og er med på å si noe om forspenningen, utregning i vedlegg 8.



Figur 9: Kraftendring vinkel, illustrasjon



Figur 10: Belastning på den underste griperen

Løfte kassen:

Armen med griperne må ha en løsning som løfter kassen. Kassen med arm må løftes høyt nok til å kunne rotere uten å treffe gulvet. Her kan løsningene være en elektrisk skrujekk, hydraulisk teleskopsylinder eller tannhjul som løfter innretning vertikalt på tannstenger (som brukt på «jack-up» oljeplattformer).

Rotere gripearmer:

Motorisert rotasjon av kassen var i utgangspunktet ikke et absoluttkrav for denne konstruksjonen. Den har som minstekrav å gjøre rotasjon mulig uten fare for HMS eller skade på jigg. Oppdragsgiver har mulighet til å benytte kran for å gjennomføre denne rotasjonen, men ønsker selvsagt en løsning hvor en egen motor gjør dette.

Den motoriserte rotasjonen kan løses med en sirkulær aksling som er innfestet i armen. Denne akslingen bør også stå så nære massesenter for kassen med arm innfestet. Dette tillater fri rotasjon mellom 0 - 360°. Innfestet i akslingen kan man igjen montere på tannhjul med tilhørende motor som står for rotasjonen. På grunn av katodekassens vekt, antas behov for en motor med stor kraft og eventuell giring. Hvor stor motor og behovet for en eventuell giring er lagt under kapittel 7.1 veien videre. Selve rotasjonen kan med fordel gå sakte for å ha god stabilitet og sikkerhet.

Senke katodekassen:

Nedsetting foregår på samme måte som løfting. Kassen settes ned på utplasserte bjelker for å få en klaring ned til gulvet.

Riktig HMS for utføring av disse oppgavene er viktig. Det er derfor en stor del av denne oppgaven er å konstruere løsninger som skal gi bedre HMS under vedlikehold, i forhold til løsningen som brukes i dag. Den har også som oppgave å muliggjøre vedlikehold under og på siden av kassene. I tillegg til å utføre denne oppgaven på en rolig og stabil måte, må konstruksjonen være dimensjonert for å tåle mer enn absolutt minstekravet. Det er store krefter i sving, og dersom konstruksjonen ikke står helt perfekt på kassen, kan det oppstå store ekstrabelastninger. En sikkerhetsfaktor på 1,35 bygges derfor inn i dimensjoneringen.

3.2.4 Valg av konsept

De valgte konseptene ligger under kapittel 4.2.

Gripedelen som er valgt benytter skruer som metode for å skape forspenning, siden dette er vesentlig enklere og rimeligere, og kan i tillegg lett erstattes med nye deler.

Rotasjon av arm rundt aksling er foreslått å gjøres ved å feste et kjedehjul på akslingen (motsatt side for armen), og ha et metallkjede koblet videre til en motor (elektrisk/hydraulisk). Motoren vil kun bli satt på den ene siden, da det er unødvendig å ha rotasjonsmotor på begge sider. Dersom det skulle vært montert motor på begge sider måtte de hatt samme rotasjons hastighet,

utgangspunkt og sluttspunkt hver gang. Det hadde stilt store krav til vedlikehold for å sikre disse faktorene.

Løft av kassen, anbefales hydrauliske teleskopsylindere, som løfter rett på braketten, som også har stabiliseringsstag hvor kun vertikal bevegelse tillates.

3.2.5 Konsepttesting

Ferdig konstruksjon testes ved hjelp av simuleringer / FEA analyser i SolidWorks, da det ikke skal lages en prototype.

3.2.6 Patenter

Patenter er ikke undersøkt. Storvik AS har mulighet til å søke om patent på denne løsningen dersom det skulle være aktuelt. Da må det selvfølgelig sjekkes opp mot eventuelle eksisterende patenter. Ansvar for å sjekke patenter ligger hos Storvik AS.

3.2.7 Økonomi

Det er utført en enkel overslagsberegning over komponenter som trengs for å produsere jiggen, her er det ikke tatt hensyn til platene som blir brukt, løftesynder og hydraulisk motor. Arbeidstimer for produksjon er heller ikke vurdert. I vedlegg 15 kan man se et grovt kostnadsestimat over de forskjellige komponentene. Prisen ekskludert platene og massivt stål til griperne blir grovt estimert til 230 314 NOK.

4. Analyse

Konstruksjonen blir ikke dimensjonert mot utmattingstilstand og ulykkes grense, da konstruksjon i veldig liten grad vil oppleve utmatting. Når det gjelder ulykkes grense slik som brann, vil ikke dette ha stor effekt på jiggens tilstand. De verdiene nødvendig for å kjøre simuleringer ble funnet ved håndberegninger, henviser til kapittel 2.2. For å finne dimensjonerende last så kan man bruke to ulike formler, forskjellen på disse er en reduksjonsfaktor. Denne faktoren gir en lavere dimensjonerende last, det er valgt den konservative formelen uten reduksjonsfaktor, altså 6.10a

Dette gir en lastfaktor lik

$$\gamma_f = 1,35$$

Får en dimensjonerende last lik

$$F_d = 476\,766\,N$$

Når det gjelder valg av materialfaktoren henvises dette til kapittel 2.2.2. Ved valg av materialfaktoren γ_{M0} så velges det å bruke anbefalt verdi for «tverrsnittets kapasitet uansett tverrsnittets klasse». Den anbefalte verdien er

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

Dette gjør slik at den dimensjonerende spenningen blir

$$\sigma_d = \frac{\sigma_F}{\gamma_M} = \frac{355 \text{ MPa}}{1,00} = 355 \text{ MPa}$$

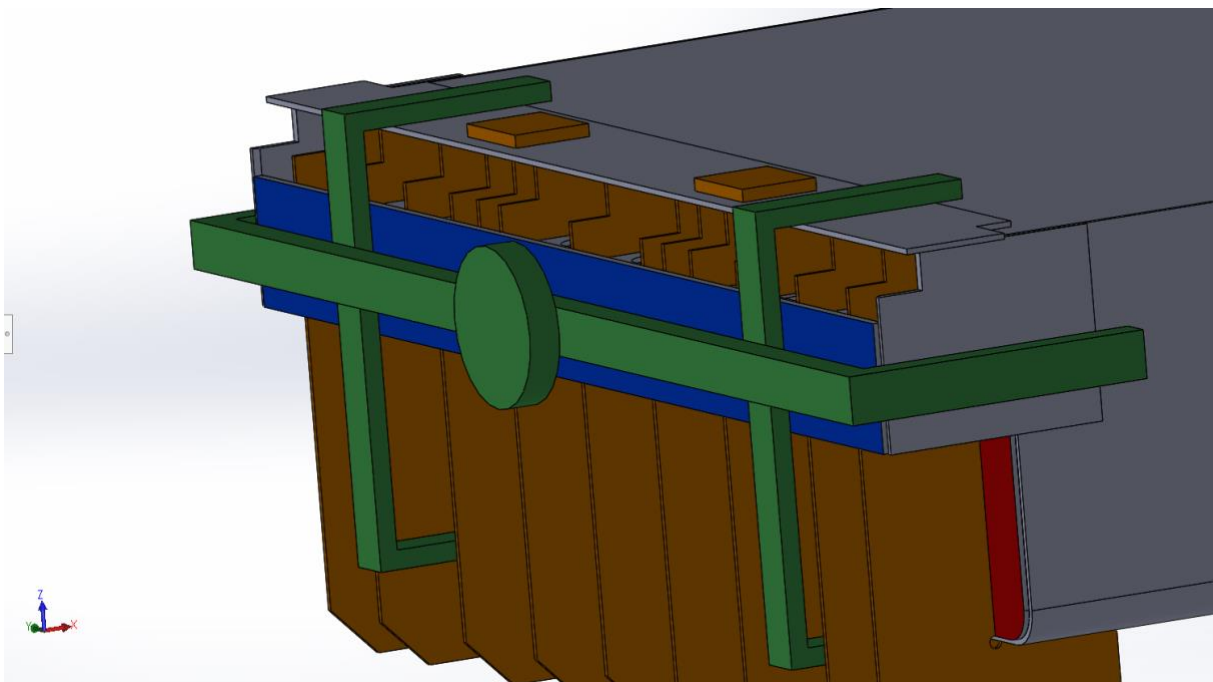
Dette vil si at flytegrensen ikke blir redusert i dette tilfellet, og det er kun lastfaktoren på 1.35 som spiller inn på dimisjoneringsen av jiggen.

Det ble utviklet flere utkast av gripemekanismen og de øvrige delene, komponentene ble designet på detaljnivå. Det vil si at de ble designet hver for seg før de ble evaluert opp mot følgende kriterier: flytegrense, produksjonsvennlighet, utforming, pris, vekt og demonterbart. For mer informasjon om disse kriteriene se kapittel 3.3.3. Det er blitt brukt simuleringprogrammet SolidWorks. Der har man mulighet til å finne Von Mises spenninger, og disse verdiene ble da evaluert opp mot materialets strekkfasthet og flytegrense. I denne rapporten så er det stort sett brukt kun et material, det er S355J2. Materialet har en flytegrense på 355 MPa, strekkfasthet på 510 MPa, (Hartvigsen, et al., 2006, p. 149) og elastisitetsmodul på 206 000 MPa (Johannessen, 2002, p. 68). Dette skal være tilstrekkelig for de påkjenningen som oppstår.

4.1 Konseptutvikling

Under er det presentert de tidligste utkastene i prosessen. Ingen av disse utkastene er arbeidet videre med, men noen av designene ligger som inspirasjon til de endelige utkastene. Siden oppgaven har et sterkt fokus på produktutvikling, har de tidlige utkastene vært viktig for veien videre. Hvert utkast vil ha en kort forklaring der det blir argumentert for og imot utkastet, hvorfor dette ble valgt eller ikke valgt for videre arbeid.

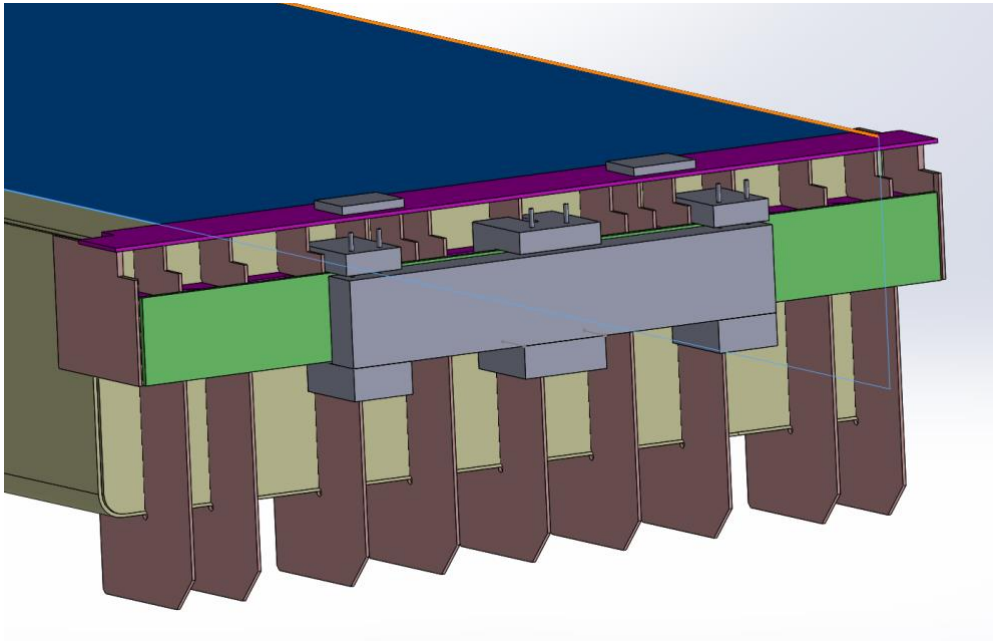
Utkast 1



Figur 11: Utkast løfteanordning

Et av de tidligste utkastene for en måte å løfte kassen. Selve utformingen på løftemekanismen var bare ment for å illustrere en potensiell løsning og ikke lansert som et reelt utkast. Planen var å se om denne type løsning var noe Storvik AS ønsket at vi skulle jobbe videre med. Problemet her at det er vanskelig å distribuere spenningskonsentrasjonene og derfor ville denne type utforming vært urealistisk for løft av katodekassen. Storvik AS ønsket ikke at løfteanordningen skulle gå på utsiden av kassen. Dette utkastet ble fort avvist på grunn av disse enkle grunnene.

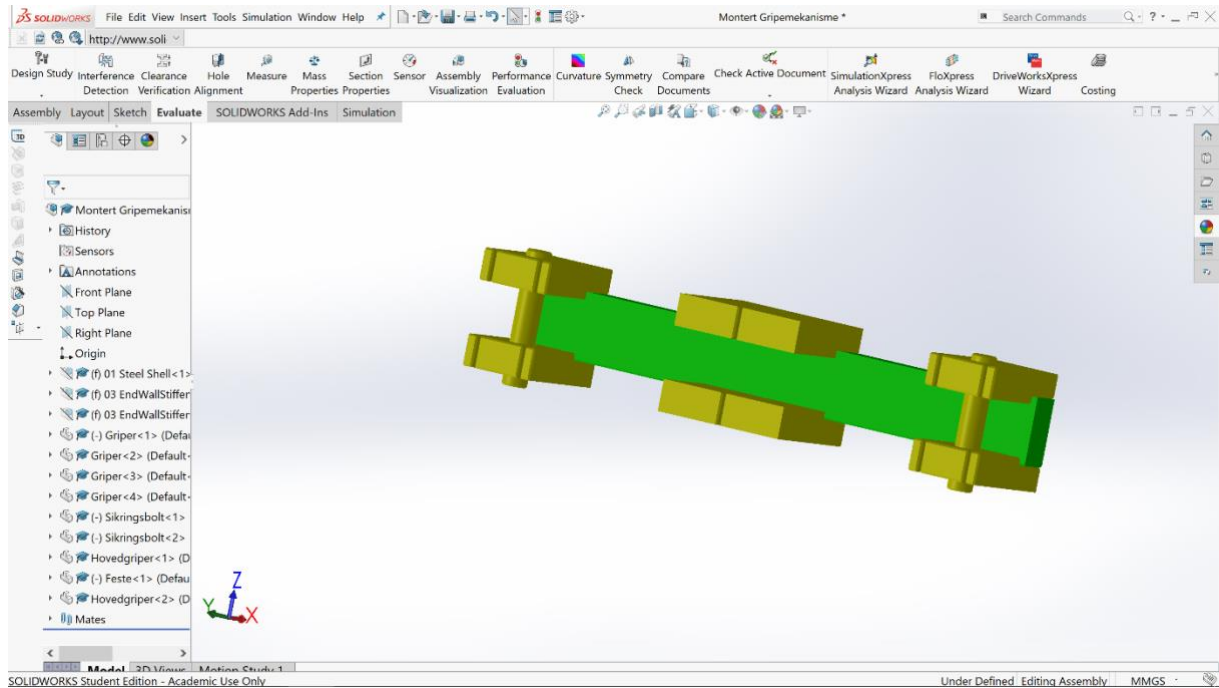
Utkast 2



Figur 12: Konsept utkast griper

Utkast 2 er basert på muligheten for å låse kassen ved å holde god kontroll på de vertikale platene i kassen. Her går skruer som strammer over- og underdel gjennom bjelken. Utkastet ble skrotet da kontakt mot avstiverne ikke er særlig heldig for kassen, og gripedelene i midten vil lage unødvendige spenninger på grunn av bøyning i bjelken.

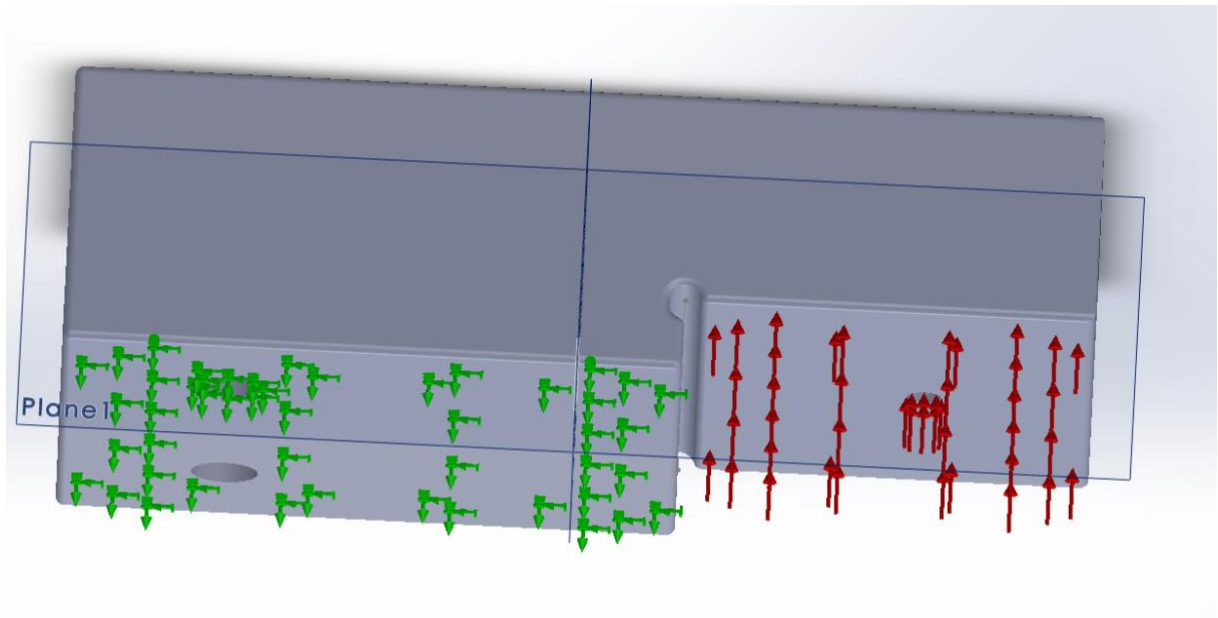
Utkast 3



Figur 13: Utkast av tidlig gripemekanisme

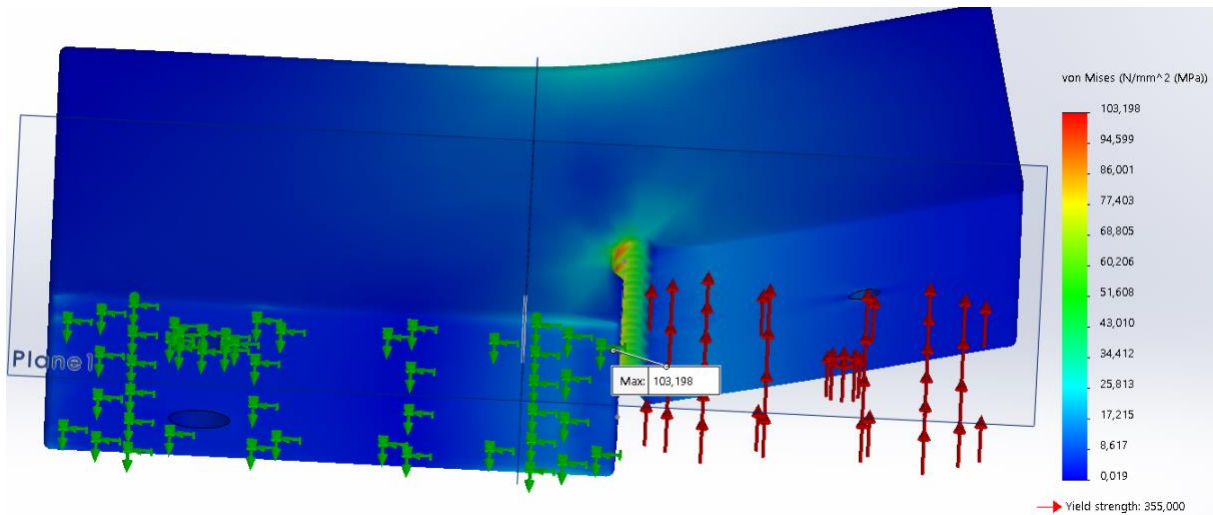
Gripemekanismen som avbildes i figur 13 viser en metode for innspenning av kassen, dette er altså gripemekanismen med bjelke i et og samme utkast. Det er her seks gripepunkter hvor de to på sidene har bolter som tres igjennom eksisterende hull i kassen, disse skal være sikringer om griperne skulle svikte på et eller annet tidspunkt. Da ville disse boltene forhindre at katodekassen falt i gulvet. Storvik AS ønsket ikke å bruke bolter igjennom disse hullene og derfor ble ikke dette utkastet betraktet videre.

Utkast 4



Figur 14: utkast griper

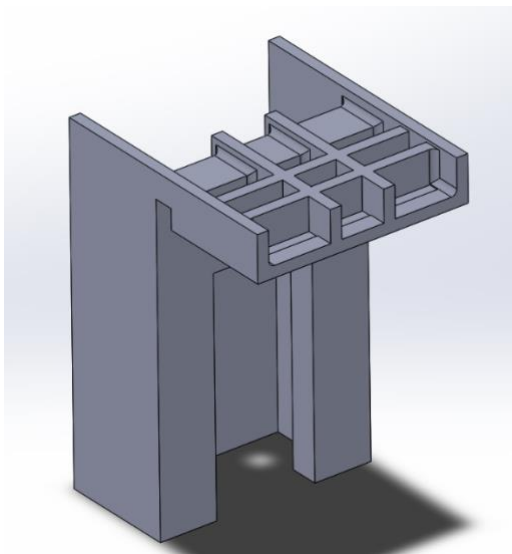
Dette utkastet er av de tidligste for griperen. Den skulle med bolter feste identiske gripedeler over og under løftebjelken. Det var stort søkelys på distribusjonen av kreftene som oppstår ved løft og rotasjon. Kriteriene oppfylles i stor grad i dette utkastet og kreftene fordeles godt gjennom denne modellen. På figur 14 ser man fastholdningen (grønne piler), som er sveiset fast i bjelken (se figur 15). Kraftene (røde piler) simulerer forspenningen på 2,76MPa. En kan se at dette utkastet tåler disse kreftene godt.



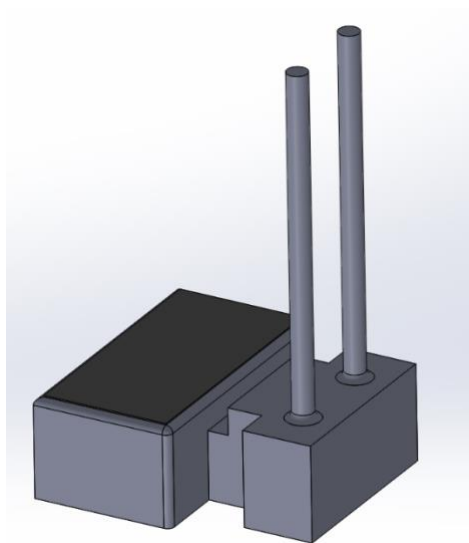
Figur 15: utkast griper Von Mises

Utkastet ble arbeidet videre med, men ble valgt bort til fordel for modellene vist på figur 13 og 16/17.

Utkast 5



Figur 16: Utkast 5 overdel

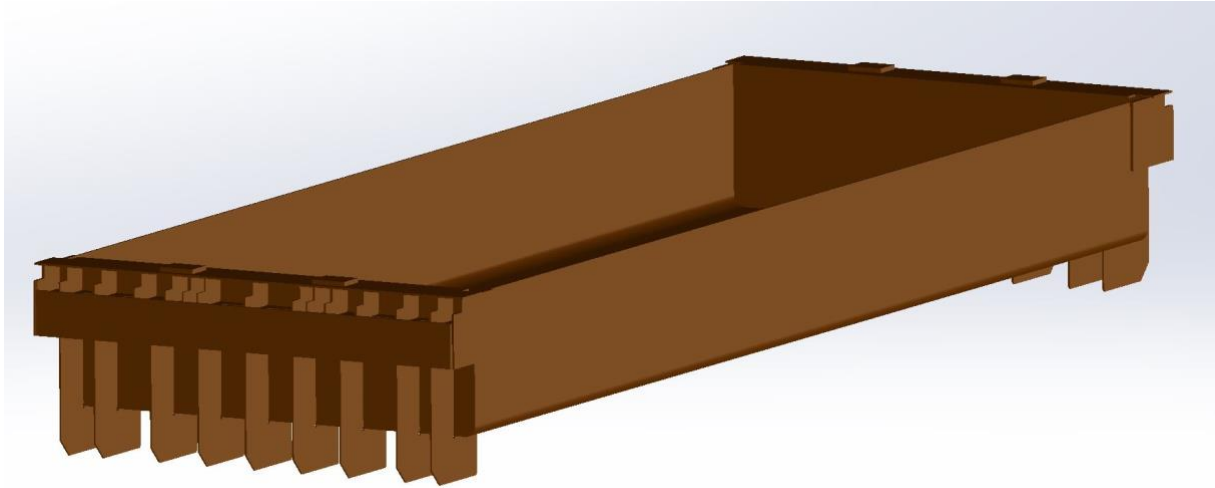


Figur 17: Utkast 5 underdel

Dette utkastet er et forsøk på å prøve å minimere godstykkelse og dermed vekt på gripedelen. Ved horisontal posisjon ville momentet som oppstår forårsaket for store spenninger. Det er i

tillegg unødvendig å begrense vekten, produksjon av disse delene ville også være unødvendig komplisert.

4.2 Relevante komponenter

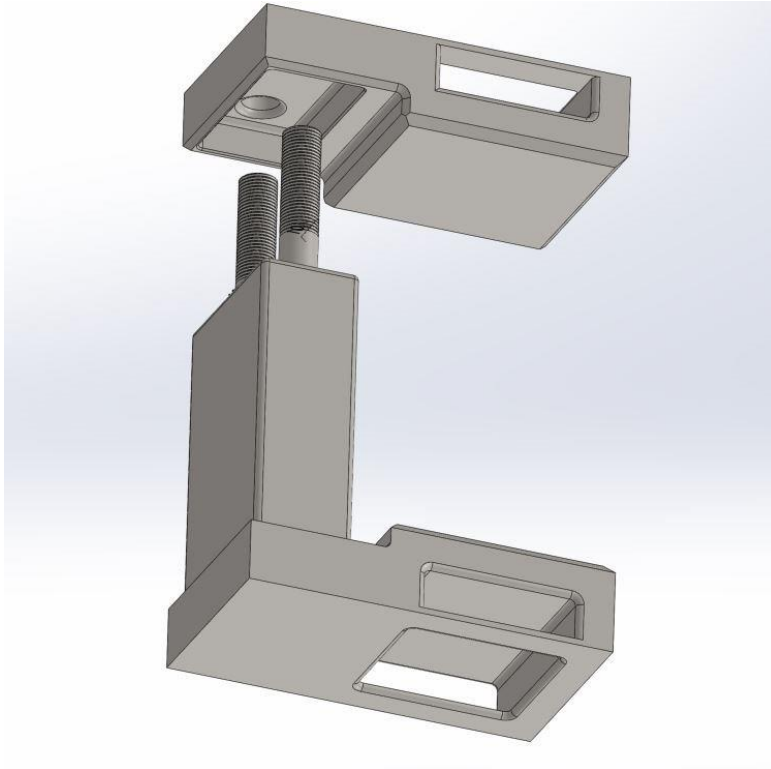


Figur 18: Katodekasse

Dette utkastet viser katodekassen som er brukt i de første simuleringene. Hovedfunksjonen til denne modellen var å gi de målene nødvendige for å designe delene til snu-jiggen. Denne modellen tar utgangspunkt i den katodekassen som Storvik AS innehar. Ingen simulering av krefter er utført på kassen da dette falt utenfor vår problemstilling.

4.2.1 Gripemekanisme

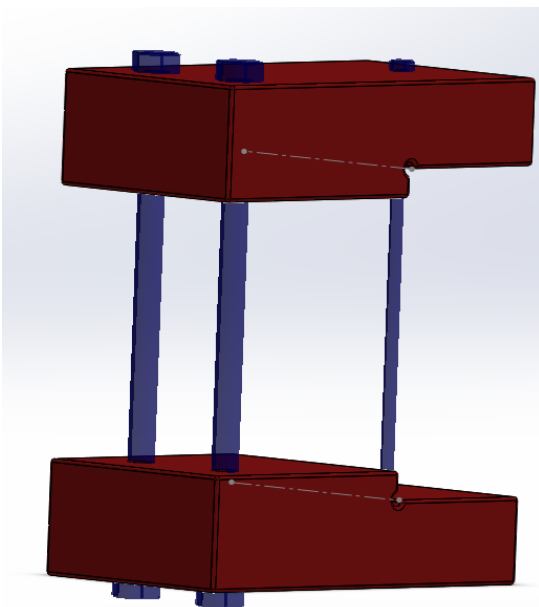
Utkast 1



I dette utkastet skal underdelen sveises fast i bjelken som skal forbinde to gripere, det skal sveises på baksiden. Utkastet håndterer spenningene som oppstår ved løfting av kassen, men når kassen ble snudd opp ned og tyngden på kassen ligger på øvre del av griperen, oppstod det spenningskonsentrasjoner og Von Mises spenningene ble på 450MPa. Dette er ikke OK, da flytegrensen er 355Mpa.

Figur 19: Første utkast griper

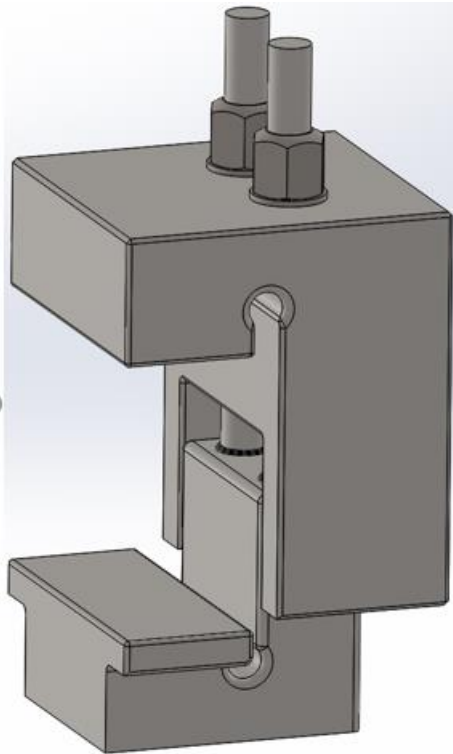
Utkast 2



Utformingen her gjør at det er veldig lett å produsere. Det trengs bare noen enkle bolter for å feste de på en god måte. Den øverste delen blir sveiset på bjelken som løfter kassen, den nederste føres på og festes med boltene og strammes med en forspenning på 120 kN. Denne type utforming vil håndtere kreftene akkurat. Det betyr at sikkerhetsfaktoren på 1,35 ikke oppfylles. Videre arbeid med dette utkastet et godt grunnlag for neste steg i prosessen.

Figur 20: Andre utkast griper

Utkast 3

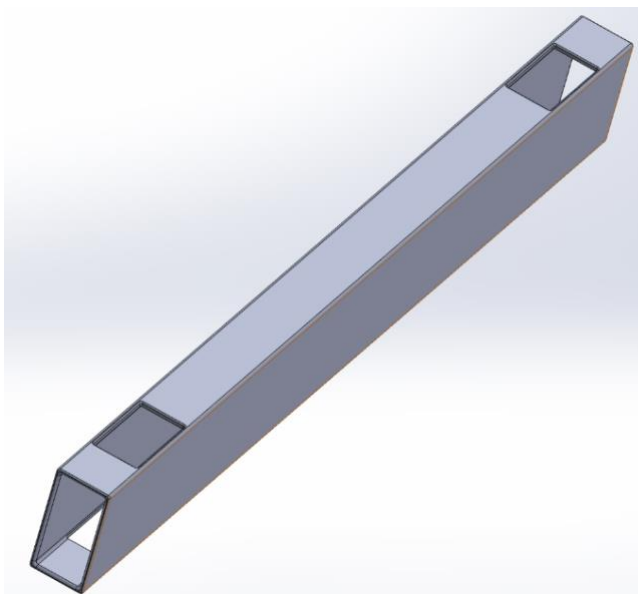


Her er overdelen en separat del som må festes i bjelkearm. Overdelen har et spor hvor underdelen føres gjennom, og føringer for skruene er boret helt opp til toppen av overdelen. Dette sporet gjør at overdelen vil ta opp belastninger i sidene under rotasjon, ved at underdelen har en liten klaring og ikke kan bevege seg i særlig grad til siden eller bakover. I tillegg vil uthulingen mellom blokken og gripeflaten ha en god radius på 20 mm, som begrenser spenningskonsentrasjoner som forårsakes i denne overgangen. Alt dette fører til at dette utkastet tar opp belastningene svært godt.

Figur 21: Tredje utkast griper

4.2.2 Innfesting mellom gripemekanisme og arm

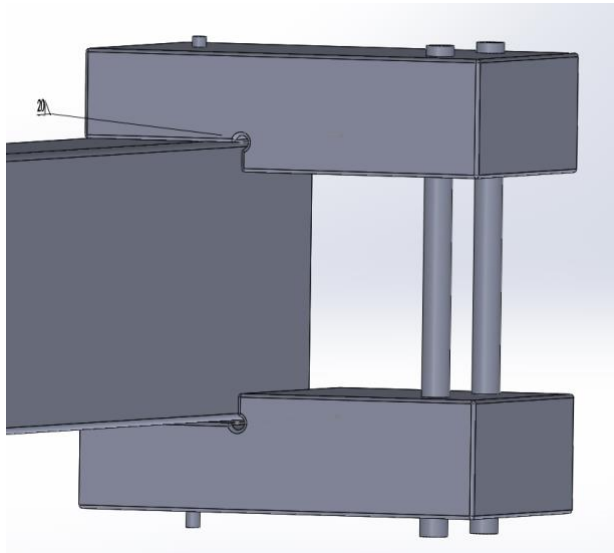
Utkast 1



Når det gjelder innfesting av griperen så hører dette utkastet til figur 19, hvor da selve griperen skulle føres opp i lommene til denne bjelken. Dette for å støtte opp griperen under belastning og korte ned dybden av jiggen. Denne komponenten tålte ikke belastningen, når den var satt sammen med figur 19. Det oppsto spenningskonsentrasjoner over flytegrensen.

Figur 22: Innfesting av gripere utkast 1

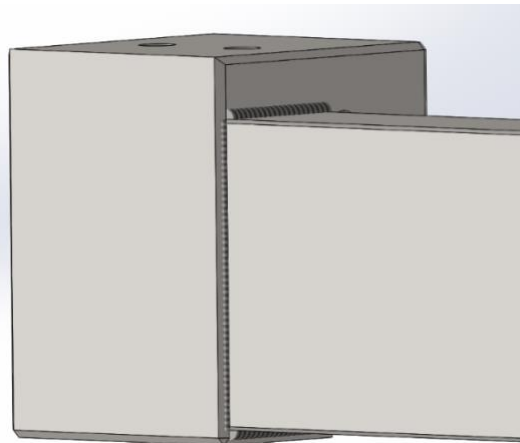
Utkast 2



Festes som anvist, stavene som vises på bilde er satt inn som stedsholdere for å illustrere bolter med gjenger. Den øverste griperen er festet med sveis til bjelken.

Figur 23: Innfesting av griper utkast 2

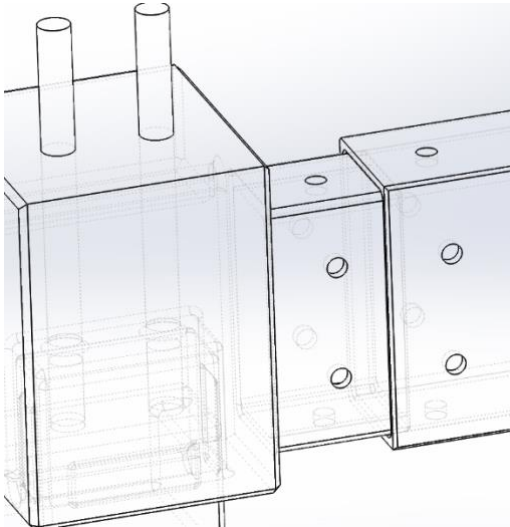
Utkast 3 – innfesting av solid overdel til bjelke med sveising:



Her sveises den øvre delen av gripemekanismen til bjelke via sveis, dette er en enkel og rimelig løsning, men vanskeliggjør utskifting av deler i dette området.

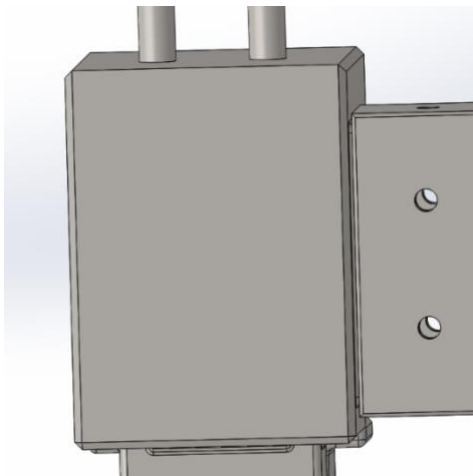
Figur 24: Innfesting av griper utkast 3

Utkast 4 – Innfesting av solid overdel til bjelke med kile



Figur 25: Innfesting av gripere utkast 4, kiler 1

Her har overdelen påmontert hulprofil med tilpassede hull som passer parallelt med hull i bjelken. Kiler settes inn, og holder delene sammen uten særlige spenningskonsentrasjoner. Dette gjør at demontering og utskifting går vesentlig lettere, men forutsetter god presisjon når hullene skal bores ut.



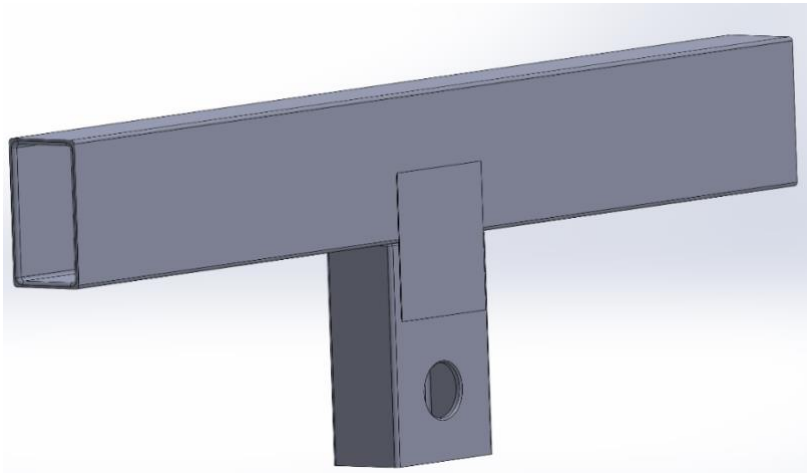
Figur 26: Innfesting av gripere utkast 4, kiler 2

4.2.3 Arm

Armen / delen som gripemekanismen holdes fast i, og videre kobles videre til akslingen er en av delene som blir utsatt for store krefter. Dette kommer primært av momentet som oppstår på grunn av de store dimensjonene til katodekassen.

Utkast 1 – Arm med plater som avstivere

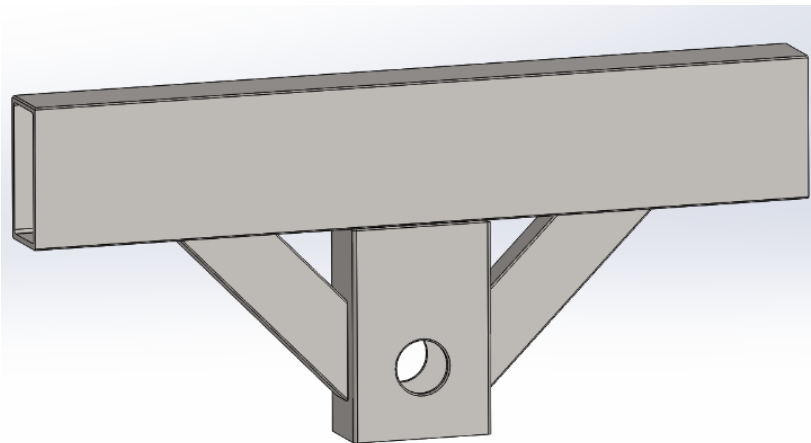
Ved bruk av denne modellen så støtter man opp og stiver av forbindelsen mellom bærebjelke for griperne og aksling. Det sveises på en plate på begge sider av forbindelsen. Oppnår her veldig store spenningskonsentrasjoner på siden av bjelken i sveiseforbindelsen. Von Mises spenninger lik 1055MPa, Ikke OK da flytegrensen er 355MPa.



Figur 27: Feste for aksling, utkast 1

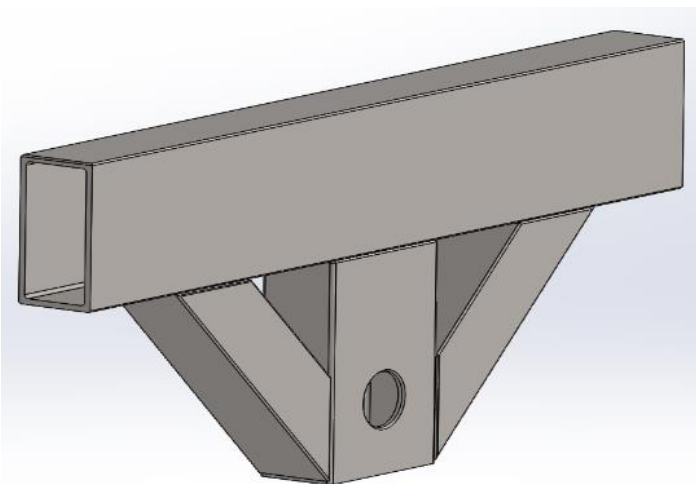
Utkast 2 – Arm med avstivere mellom aksling feste og bjelke

Dette utkastet benytter avstivere i tillegg, da det oppstår høye spenningskonsentrasjoner i ytre kontaktpunkter mellom aksling fest og bjelke. Von Mises spenning på ca. 230 MPa ved siste utkast. Dimensjon på avstivere er 200x100x5 mm



Figur 28: Feste for aksling, utkast 2

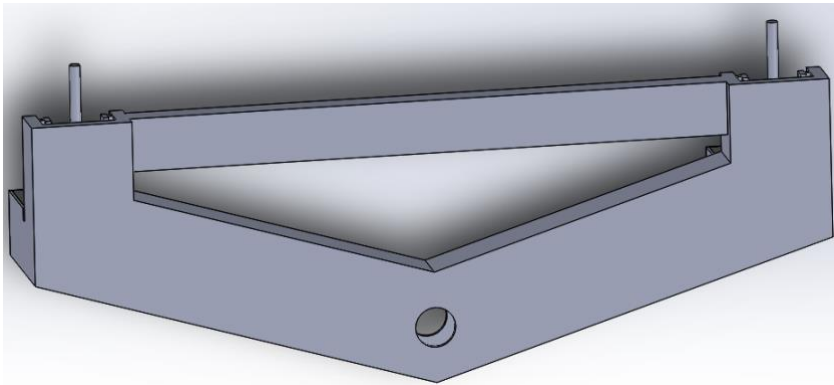
Utkast 3



Dette utkastet bygger videre på utkast 2. For å redusere spenningene som oppstår i avstiverne er disse gjort om til 200x200x12.5 mm hulprofiler.

Figur 29: Feste for aksling, utkast 3

Utkast 4 – Arm i vinkel med avstiver i strekk



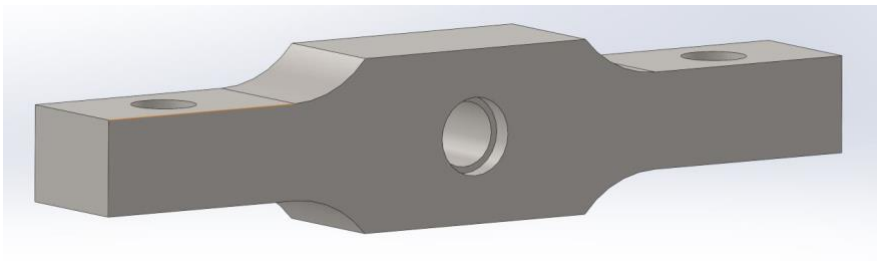
Denne løsningen ville krevd svært god presisjon ved produksjon, da hele komponenten er en bit og oppnår svært høye spenningskonsentrasjoner i overgangen til aksling, Von Mises spenning på ca. 700 MPa.

Figur 30: Feste for aksling, utkast 4

4.2.4 Innfesting av aksling

Akslingen som skal stå for rotasjon av kassen, burde helst befinne seg i senter av massesenteret til kassen. Når man har roteringspunktet i massesenteret så unngår man unødvendig moment i konseptet.

Utkast 1

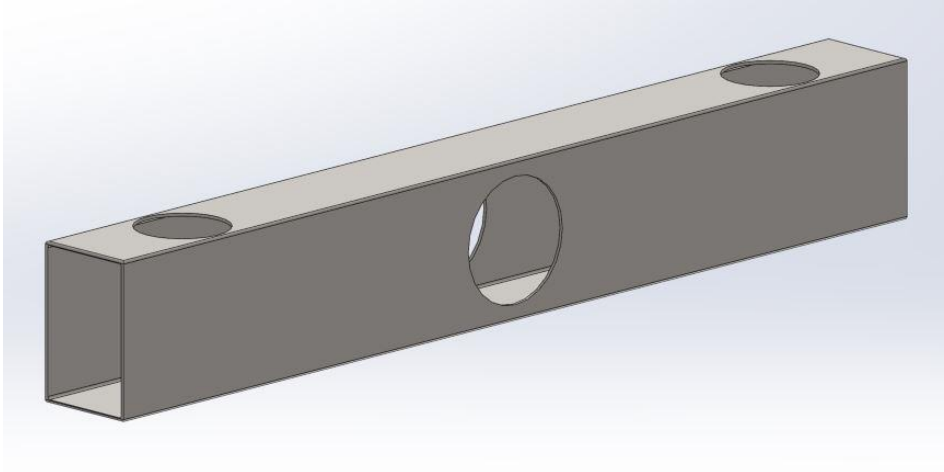


Figur 31: Opplagring, utkast 1

Dette utkastet legger til rette for at lagrene krympes rett på komponenten. Men på grunn av at denne komponenten er solid, så er den tung og unødvendig dyr.

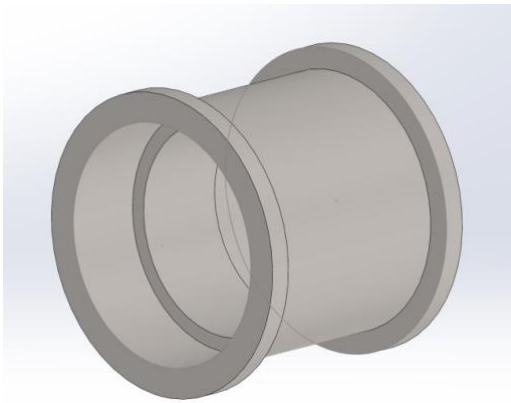
Utkast 2

Komponenten man kan se under her, legger til rette for bruk av sfæriske rullelager og glidelager for støttesøyler. Det må monteres komponenter for opplagring av lagrene (Se figur 33 & 34). Det anbefales å sette på en skrapelist som fjerner støv og andre fremmedlegemer, slik at det ikke setter seg i lagrene og på føringene. Dette bidrar til god HMS.

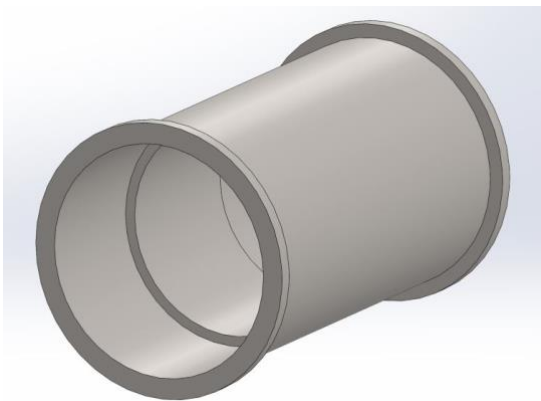


Figur 32: Opplagring, utkast 2

Her ser man komponenten som skal holde de sfæriske lagrene. Denne sveises fast til bjelken for opplagring, Det skal krympes på sfæriske rullelager inn i denne komponenten. Et lager på hver side. Lagrene som er anbefalt er 24030 CC/W33 fra SKF



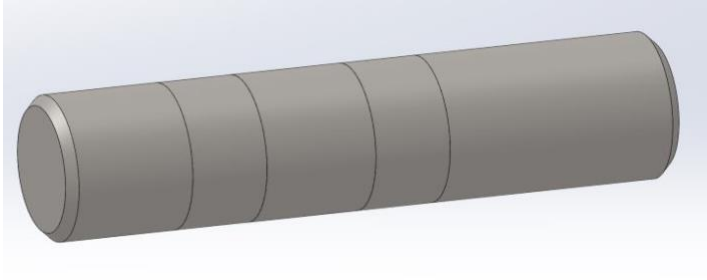
Figur 33: Lagerboss sfæriske rullelager, utkast 1



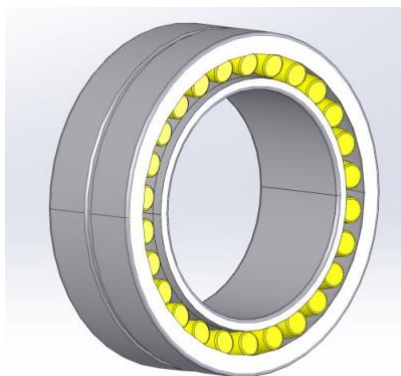
Figur 34: Lagerboss glidelager, utkast 1

Denne komponenten skal det monteres glidelager på. Disse glidelagrene skal være til støttesøylene til basen. Komponenten sveises fast til bjelken for opplagring. Det skal krympes på glidelager inn i denne komponenten. Ett lager på hver side og åtte totalt på jiggen. Lagrene som er anbefalt er PBM 150170100 M1G1 fra SKF

Akslingen skal ta opp alle belastningene fra kassen og gripemekanismen. De to feltene som er like store er plassering for de sfæriske lagrene. Dette på grunn av at de skal krympes på og trenger da en annen overflateruhet og annen dimensjon. Akslingen skal sveises fast til gripemekanismen. Diameter på akslingen er på 150 mm.

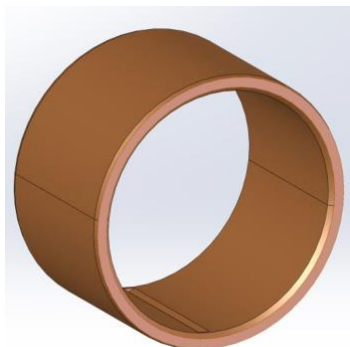


Figur 35: Aksling, utkast 1



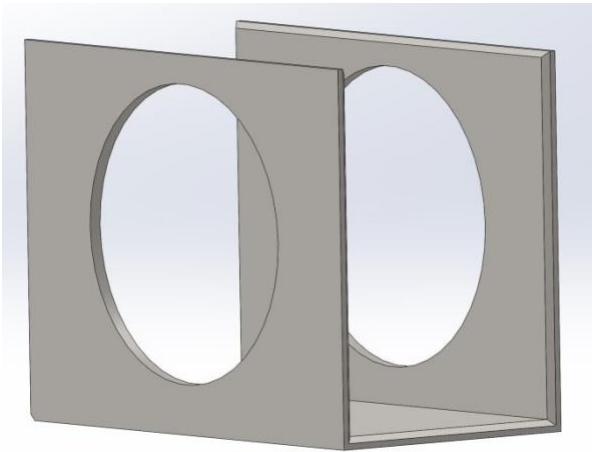
Dette er det sfæriske lageret, disse skal festes på akslingen og lagerboss for sfæriske lager (se figur 33). Lagrene tilrettelegger for at sammenstillingen kan roteres. På grunn av at de er sfæriske så kan lagrene håndtere både aksielle og radielle belastninger. De er hentet fra SKF.no og har artikkelnummeret er 24030 CC/W33. Se vedlegg 12 for databladet fra SKF

Figur 36: Sfæriske lager



Dette er glidelaget, det skal krympes på lagerboss for glidelager (se figur 34). Disse lagrene skal sikre at støttesøylene ikke har direkte kontakt med material med samme flytegrense. Ved å bruke disse så har man god kontroll på hvilke deler man må utføre vedlikehold på. Hvor glidelagrene har lavere flytegrense, og vil være komponenten som må skiftes. Dette er billigere enn å skifte hele støttesøylen. De er hentet fra SKF.no og har artikkelnummer PBM 150170100 M1G1. Se vedlegg 11 for datablad fra SKF

Figur 37: Glidelager

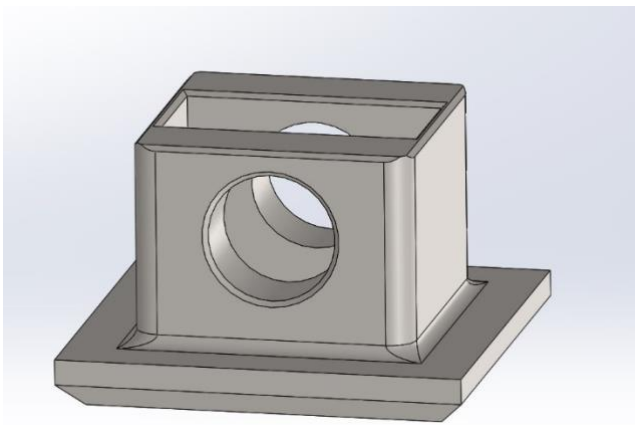


Figur 38: Avstiver, opplagring

Etter at komponentene ble satt sammen og det ble kjørt en simulering på jiggen, oppstod det spenningskonsentrasjoner. Dette ble korrigert ved å konstruere delen som er til venstre. Denne ligger innklemt mellom figur 32 og 33. Ved å bruke denne øker man tykkelsen på veggen som tar opp bøyemomentet som kommer fra løfteoperasjonen. Komponenten er sveist fast til opplagringen. Det er tilrettelagt for sveisefuger mot alle kontaktflatene mot opplagringen

4.2.5 Løftemekanisme

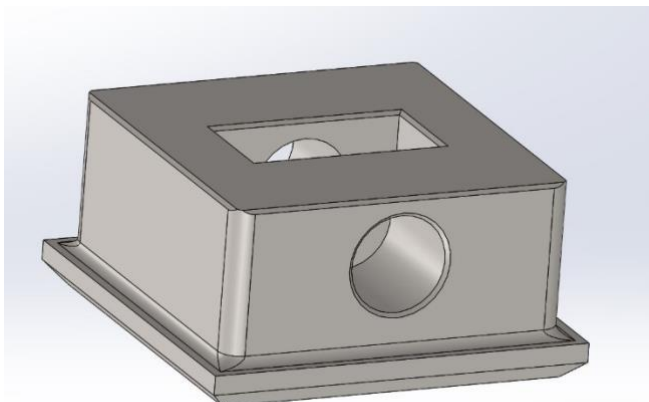
Utkast 1



Figur 39: Innfesting av løftesyliner, utkast 1

For å legge til rette for innfesting av løftesyliner, ble denne komponenten designet. Siden med 10x45 graders kanter skal sveises fast i avstiveren som tres rundet opplagring (se figur 38). Hullet på løftesylinerens plasseres inn i denne komponenten og låses av med en bolt. Denne bolten kan være med gjenger eller med låsespinner, sikrer da at bolten ikke sklir ut under løft.

Utkast 2



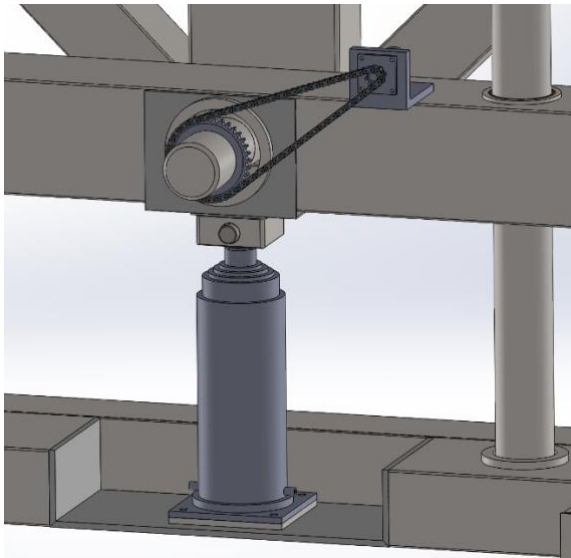
Figur 40: Innfesting av løftesyliner, utkast 2

Etter kjørte simuleringer ble det spenningskonsentrasjoner i innfestingen. Komponenten ble så korrigert og lagt på tykkere vegger. Fikk da spenninger på maks 335 MPa, som er under flytegrensen på 355MPa.

Det er lagt til rette for heving av kassen ved bruk av en teleskopsylinder, som vist i figur 41. Teleskopsylinderen kan maksimalt være 489 mm sammentrykket om katodekassen ligger på gulvet. Sylinderen festes til figur 40 med en bolt, denne kan låses med enten gjenger eller ved bruk av låsepinner som går gjennom bolten.

4.2.6 Roteringsmekanisme

Rotasjon av katodekassen foreslås og anbefales gjort av en hydraulisk motor og kjededrift. Dette ansees som en god løsning fordi det allerede er behov for hydraulisk drift for løft av kassen. Kjededrift gjør vedlikehold og demontering enklere, det stilles heller ikke spesielt høye krav til presisjon i forhold til bruk av tannhjul. For nødvendig moment og effekt på motor se vedlegg 9.

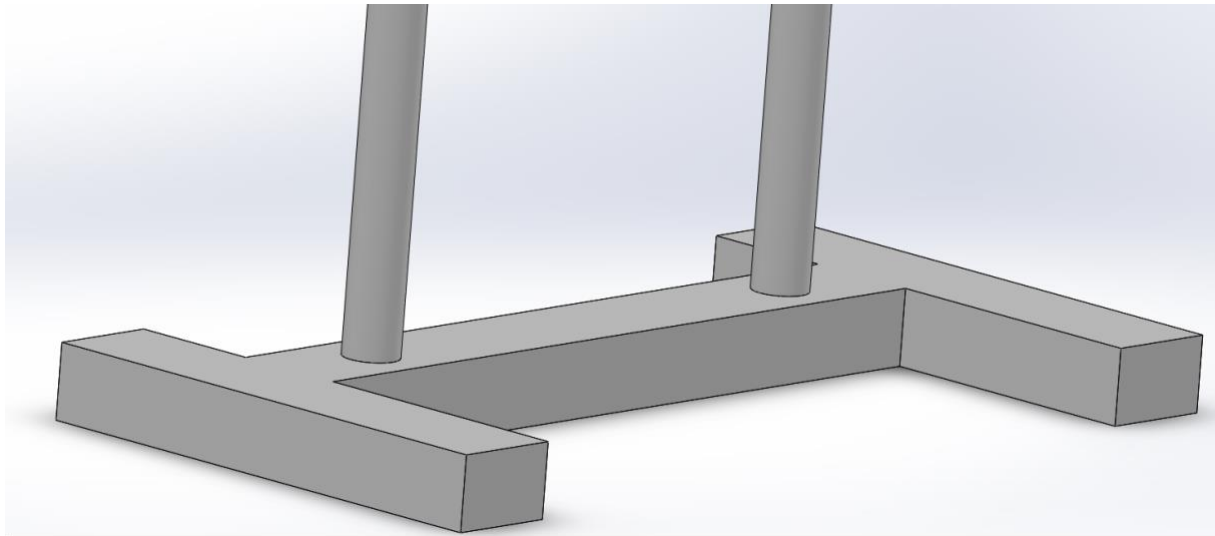


Figur 41: Illustrasjon kjededrift og løftesylinder

4.2.7 Base med føringer

Utkast 1

Utkast 1 fokuserer på å tåle all belastning med god margin. Derfor er det designet med en solid base der føringene er sveiset fast på toppen av basen, figur 42. Føringene er satt til 2800 mm.

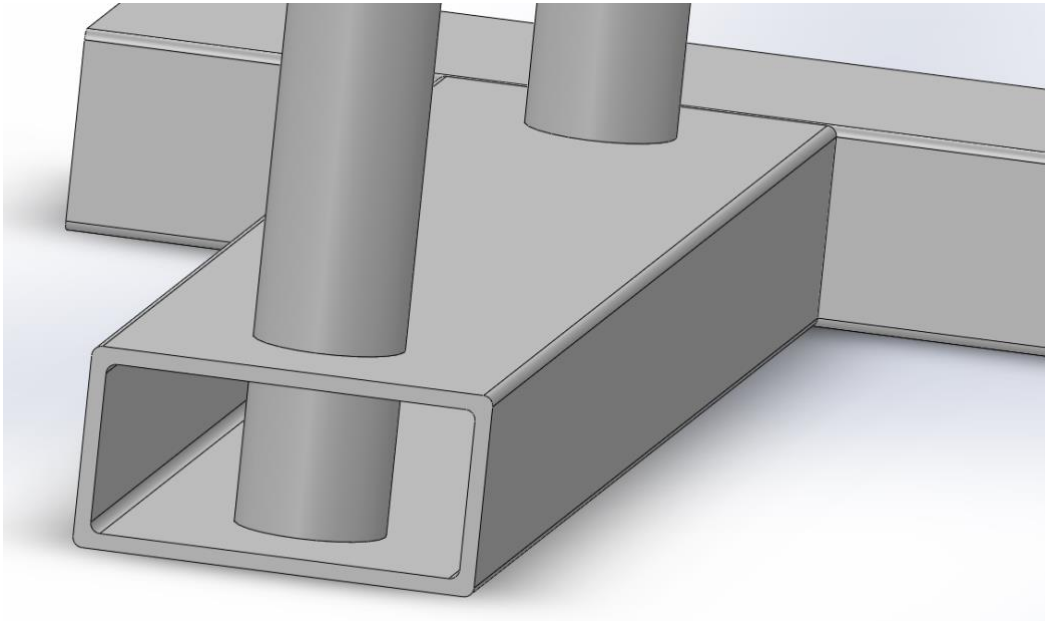


Figur 42: Solid base med føringer

Ulempen med denne type utforming er pris og vekt på basen. Pris fordi det er dyrt å produsere i en massiv del. Basen kan støpes, men det stiller krav til en stor støpeform og mer materiale enn nødvendig for en slik konstruksjon. Så mye materiale vil bli meget tungt uten å gi noen klar nytte til jiggen. Utformingen er god og vil fungere som en stødig base.

Utkast 2

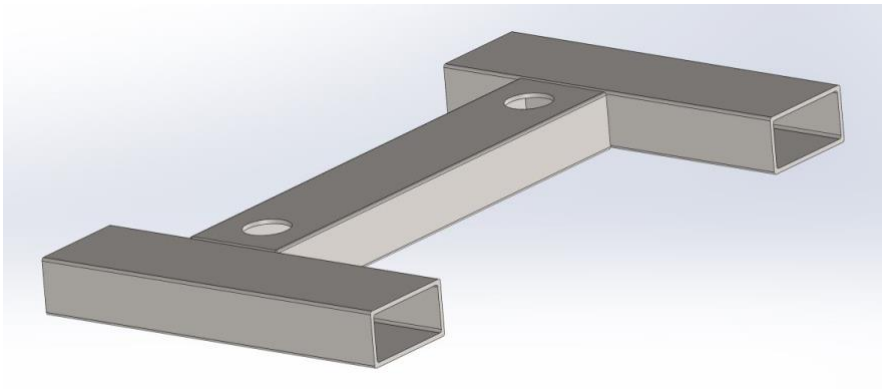
Utkast 2 bygger på utkast 1. Den benytter seg av en base laget med hulprofil med målene 400x200x16 mm. Dette ble gjort for å redusere tyngden på basen. Det er laget hull til støttesøylene. Det ble gjort for å øke stabiliteten til støttesøylene slik at de ikke bare var sveist fast på toppen av basen. Da det har blitt en ustabil forbindelse. Valget ble gjort fordi det ikke er realistisk at basen, som nå er i hulprofil, vil kunne tåle påkjenningene levert av støttesøylene som er sammenføyd med en enkel kantsveis på toppen av basen som i utkast 1. I dette utkastet vil føringene være sveiset i bunn og på toppen. Lengden på støttesøylene er økt til 3200 mm og sveises i underkant og overkant. Det er lagt til rette for dette ved at føringene har en kant på 45 grader. Dette er en god løsning. Både base og føring tåler belastningen godt.



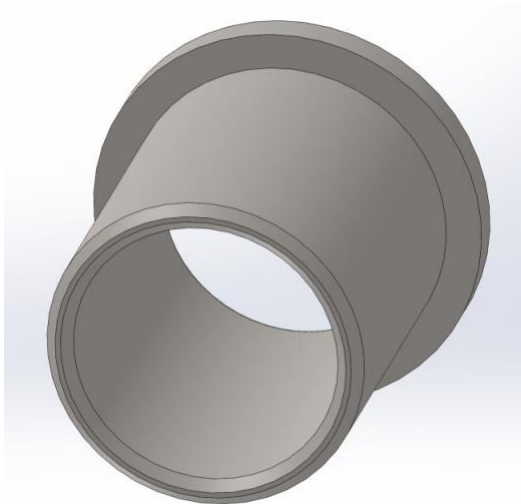
Figur 43: Base hulprofil utkast 1

Utkast 3

Utkast 3 bygger videre på utkast 2. Tanken bak dette utkastet var å legge på en føring med en flens som stikker opp over selve basen slik at stabiliteten økes til støttesøylene. Flensen som stikker over kanten gjør montering lettere og vil også være en gunstig sveisefuge.



Figur 44: Base hulprofil, utkast 2



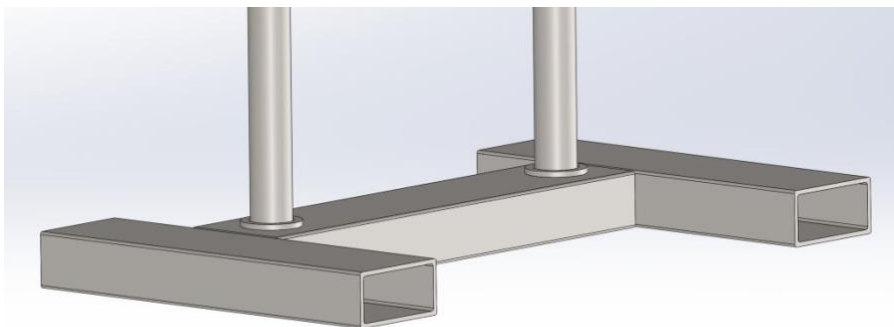
Figur 45: Føring til støttesøylene på basen

Støttesøylene vil oppleve større stabilitet fordi føringen har større kontaktflate enn ved hulprofil som har to kontaktpunkter. Kraftene vil fordeles bedre. Føringen har 6x45 graders vinkler i bunn og topp på innsiden og en på bunnen på utsiden, disse er sveisefuger. De på utsiden skal sveises fast til basen. De på innsiden skal sveises fast til støttesøylene.

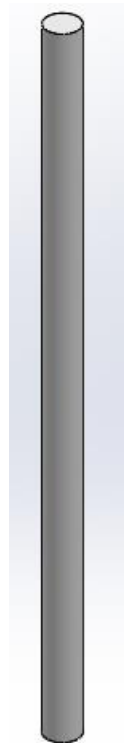
Støttesøylene som er brukt er de samme som i utkast 1 og 2. Lengden er økt noe, til 3200 mm, for å kompensere for at de er senket ned i basen, ved å senke støttesøylene ned tilsvarende bredden på hulprofilene så øker man stabiliteten. Man kan se på utkast 1, hvordan

søylene bare står på basen, deretter kun sveist fast i overgangen. Dette er en meget ustabil forbindelse, derfor er denne løsningen mer gunstig. Støttesøylen har en 6x45 graders vinkel i bunn, dette fordi man da oppnår en god sveisefuge til basen.

Basen vil være nesten lik den i utkast 2, bare med økt diameter på gjennom-boringen. Den økte diameteren er for å gi plass til føringen.

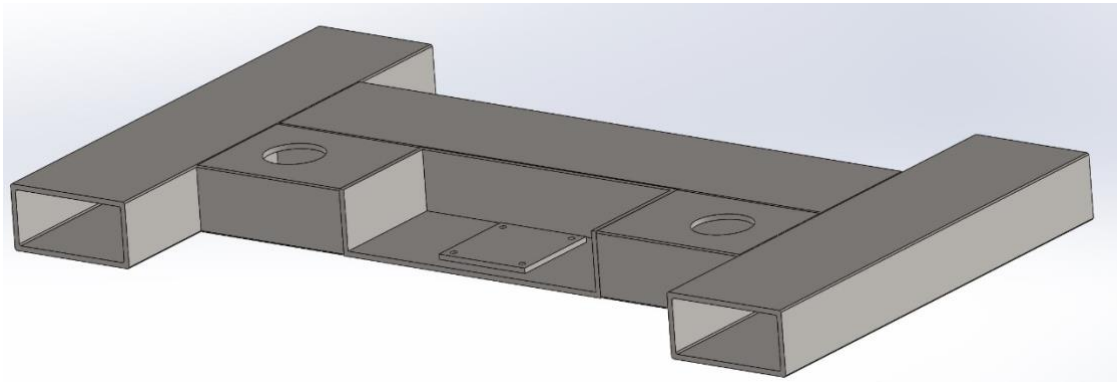


Figur 46: Sammenstilling av base, utkast 1



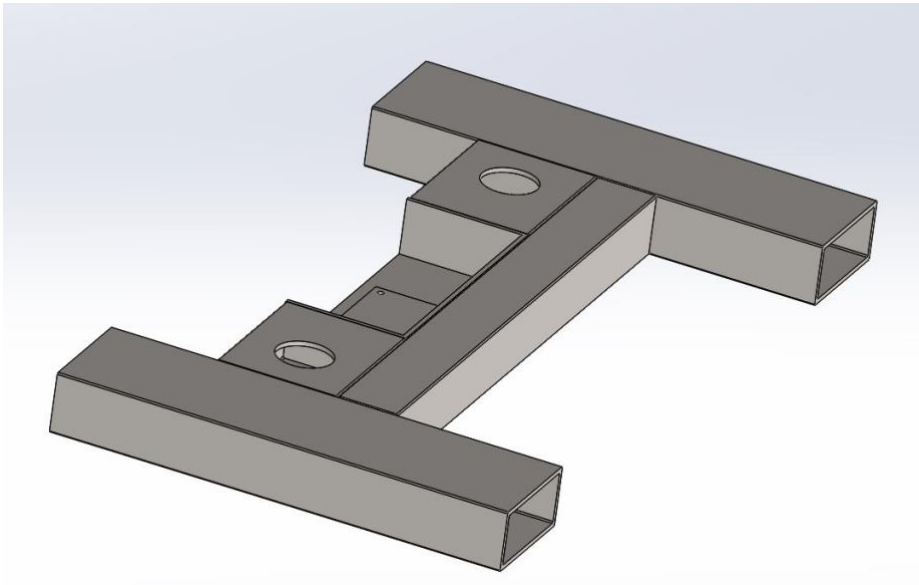
Figur 47: Støttesøyle

For å løfte kassen med hydraulikksylinder, er det nødvendig med en sylinder. En type sylinder som er lav ved utgangspunktet, men har en slaglengde på rundt tre meter. En slik type sylinder kalles teleskopsylinder. Denne basen er det lagt til rette for at sylinderen skal monteres i det nedfelte området. Der står det en plate med gjengete hull, her skal det skrues fast en plate som er sveist fast til bunnen av teleskopsylinderen. Ved å gjøre det på denne måten, så vil eventuelt vedlikehold av sylinderen være oppnåelig uten å skjære bort masse sveis fra basen. Teleskopsylinderen er festet på midten og på linje med støttesøylene slik at den løfter i sentrum av opplagringsbjelken (se figur 32).



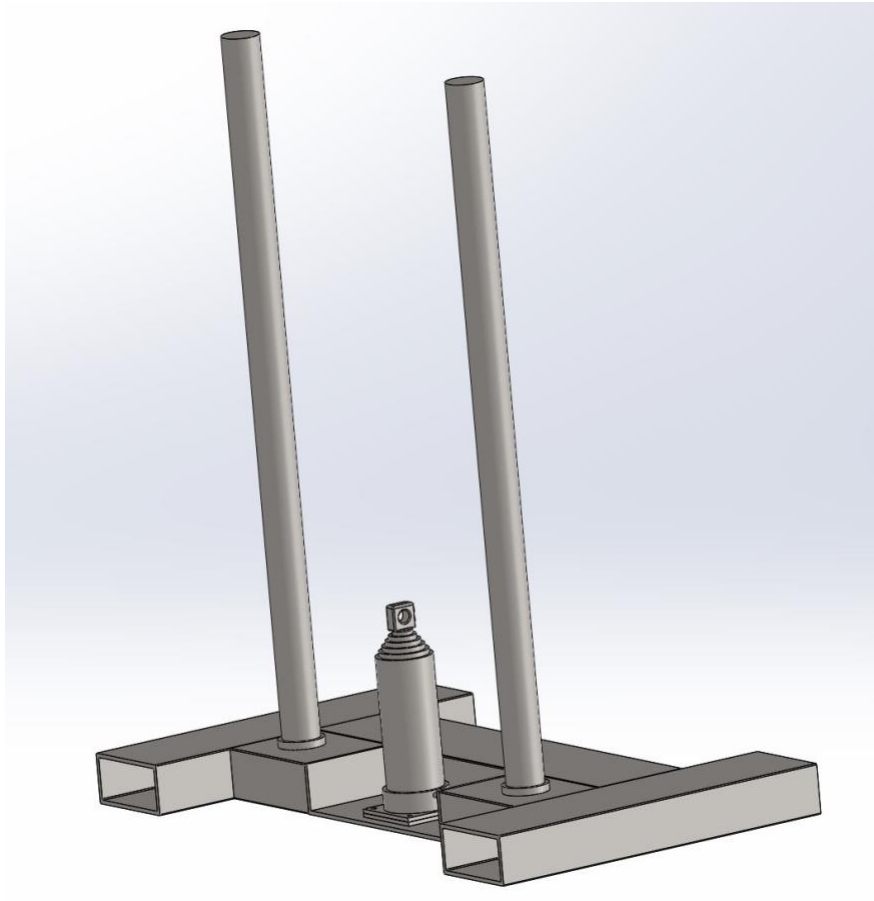
Figur 48: Base hulprofil, utkast 3

Denne basen er lik basen i utkast 3, men den har blitt korrigert i tverrbjelken. Denne bjelken var for stor da den kolliderte med kassen sine støttebjelker. Tverrbjelken ble da redusert fra 400x200 til 200x200 [mm].



Figur 49: Base hulprofil, utkast 4

Sammenstilling av base med støttesylindrene, deres støtteføringer og en teleskopsylinder som kun er for illustrasjon. Her ser man da hvordan teleskopsylinderen vil stå. Man trenger også en måte å feste sylinderen til opplagringsbjelken, dette er gjort mulig med komponenten som kan sees under figur 40. Sammenstilling av base med støtteføringer og støttesylindre. Denne basen har tverrbjelken fra figur 48.



Figur 50: Sammenstilling av base, utkast 2

4.3 Valgte konsept

Etter en vurdering av kriteriene satt i kapittel 3.2.3, ble disse utkastene valgt til å jobbes videre med:

Gripemekanisme – Utkast 3

(Se figur 21)

Innfesting mellom griper og arm – Utkast 3, Sveist innfesting

(Se figur 24)

Arm – Utkast 3, Arm med avstivere mellom aksselfeste og bjelke, 200x200x12.5mm dimensjon

(Se figur 29)

Innfesting av aksling – Utkast 2

(Se figur 32)

Løftemekanisme – Utkast 2, Innfesting av hydraulisk teleskopsylinder

(Se figur 40)

Roteringsmekanisme – Illustrasjon av konsept

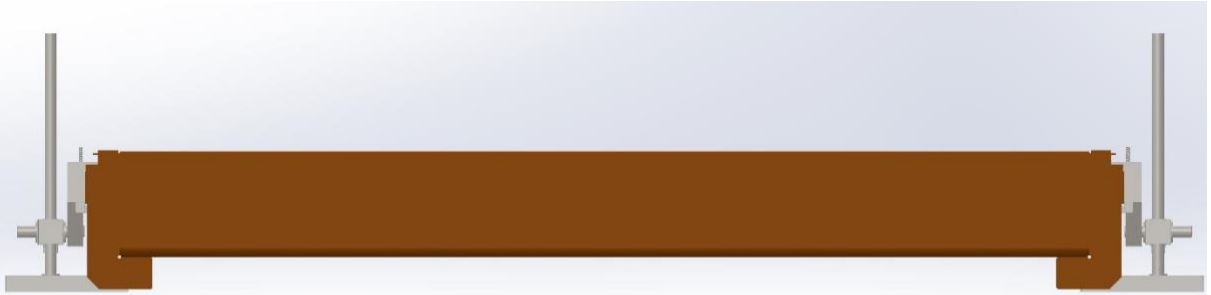
(Se figur 41)

Base med føringer – Utkast 3

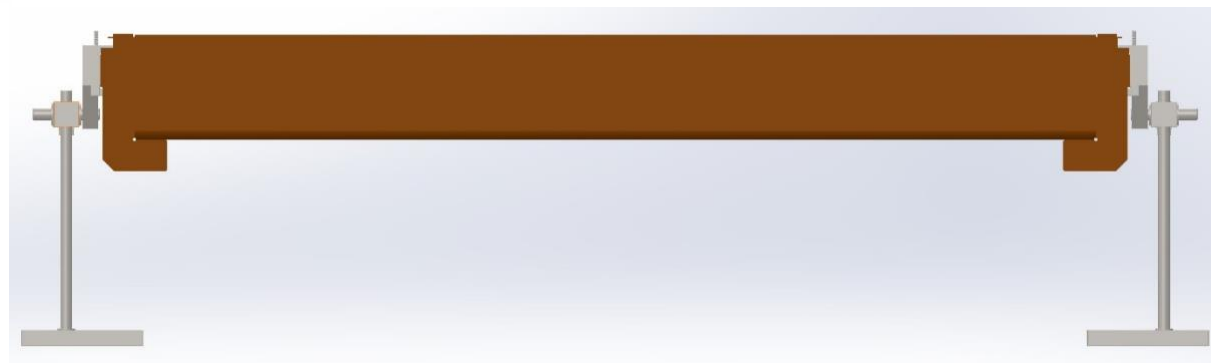
(Se figur 50)

4.4 Sammenstilling av snujigg med katodekasse

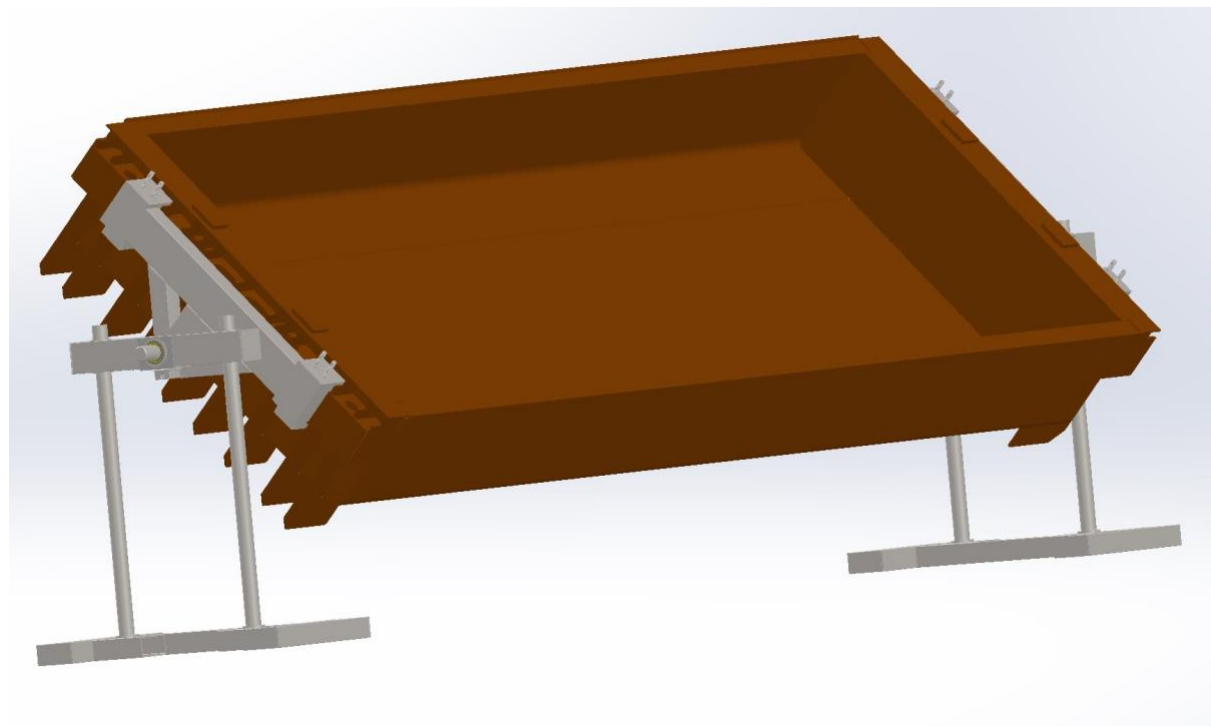
På bildene under kan man se sammenstillingsbilder av jiggen montert på kassen. Sammenstillingen har ikke montert sylinder for løft og motor for rotering (se figur 50 for eksempel på montasje av sylinder). Bildene viser hvordan konstruksjonen angivelig skal løfte og rotere katodekassen før den igjen senkes ved 180 grader.



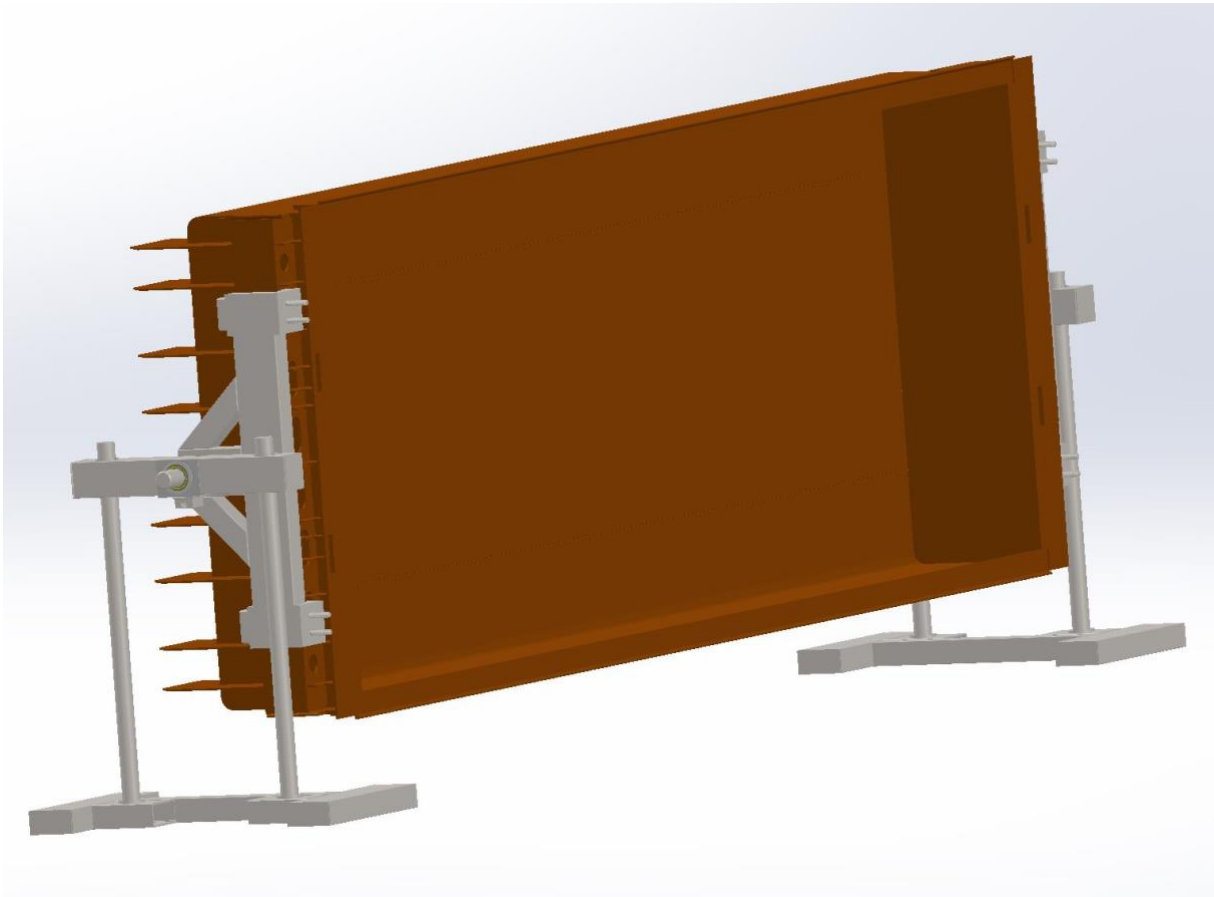
Figur 51: Sammenstilling med kasse, start posisjon



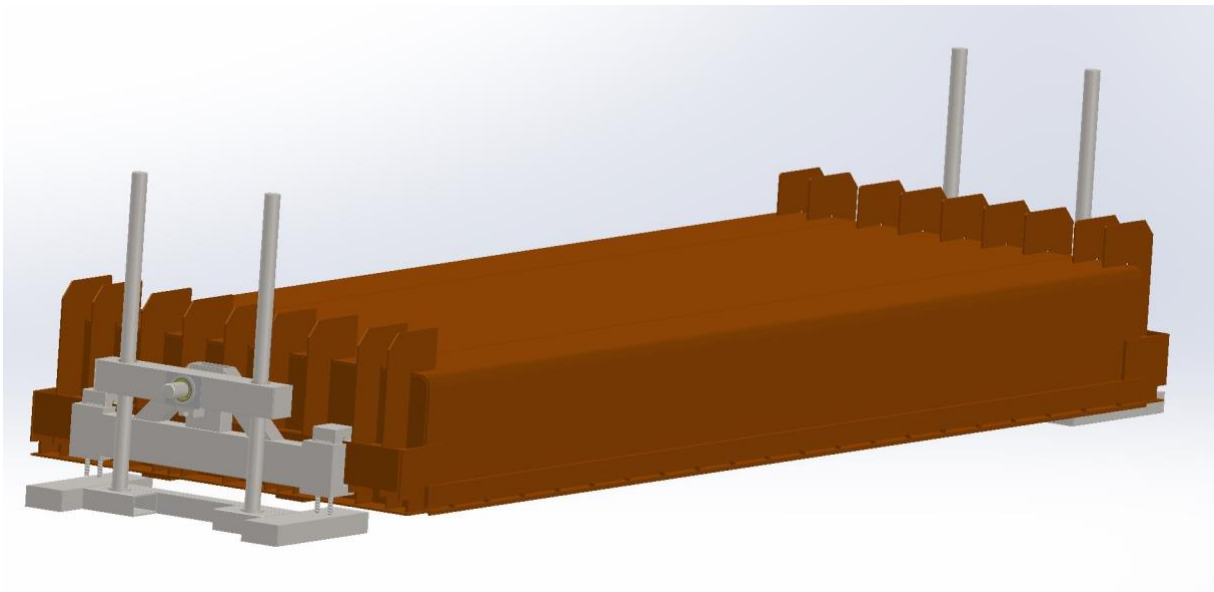
Figur 52: Sammenstilling med kasse, løftet



Figur 53: Sammenstilling med kasse, rotert 45 grader



Figur 54: Sammenstilling med kasse, rotert 90 grader



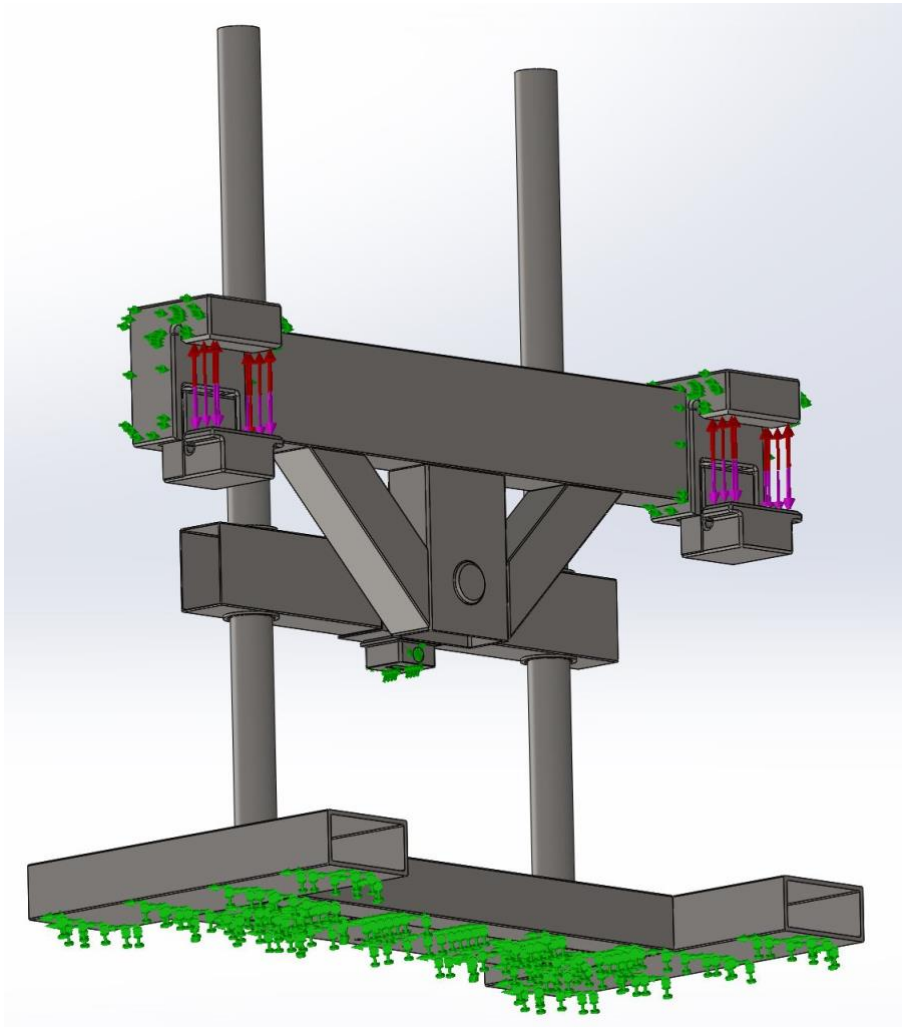
Figur 55: Sammenstilling med kasse, rotert 180 grader

5.Resultater

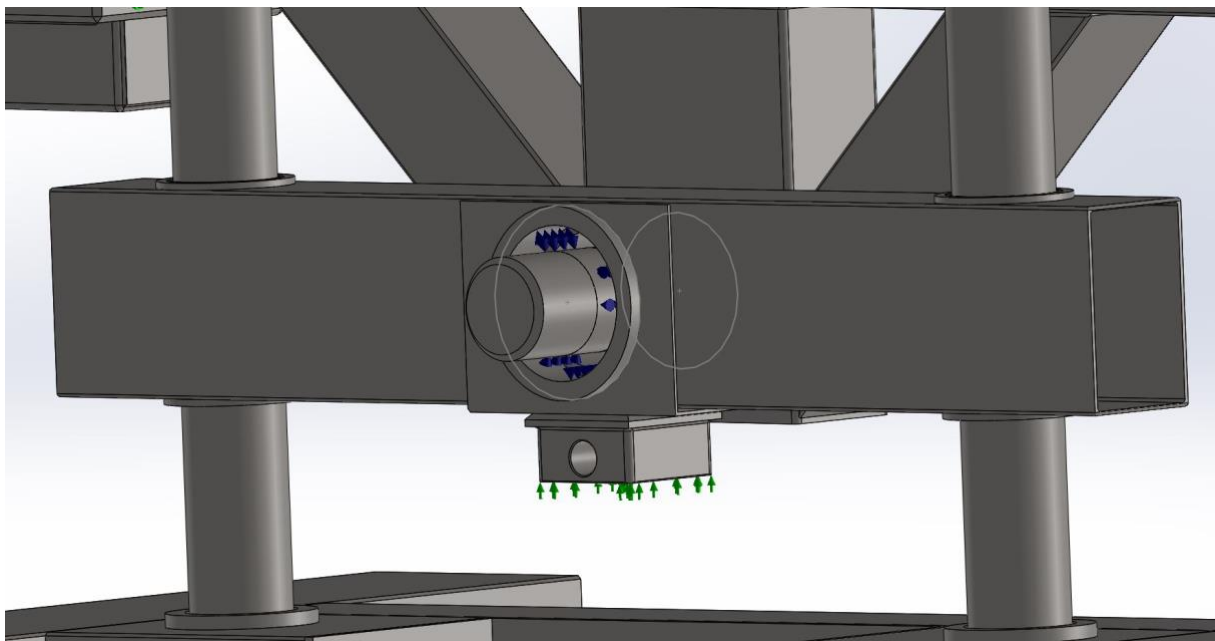
De simuleringene som er kjørt er gjort konservativt og det er statiske studier som er gjennomført. Kreftene som virker på jiggen er tyngden på kassen multiplisert med en lastfaktor lik 1,35 (se kapittel 3.1.1), og forspenning i gripemekanismen. De resultatene som legges frem her er resultater av både den komplette sammenstillingen, og gripemekanismen alene. Gripemekanismen har vært en prioritet under denne oppgaven, og har derfor separate simuleringer. Prosjektet ble startet med konstruering av griper, og det ble kjørt simulering før resten av løsningen ble designet. Resultatene som legges frem av griperen har ikke noen sammenheng med den komplette sammenstillingen, og resultatene er derfor ikke realistiske for sammenstillingen. Den viser derimot hvordan kreftene virker under de satte parameterne og hvor man kan oppnå spenningskonsentrasjoner.

For å kjøre simuleringer må det være noen parametere som er bestemt først. Noen eksempler på dette er kreftene som sammenstillingen opplever og fastholdinger. Fra figur 56 kan man se disse parameterne. De grønne pilene er fastholdinger, altså måten jiggen blir holdt fast på. Hvis man først ser på undersiden av basen er det fastholdinger i alle retninger. Det er gjort en antakelse at konstruksjonen ikke beveger seg på grunn av sin egen - og katodekassens tyngde under løfting. De grønne pilene som er festet på sylindrefeste, representerer at en teleskopsylinder holder jiggen i en konstant høyde. Den er fastholdt i hullene hvor det skal settes inn en bolt som forbinder en teleskopsylinder med jiggen. På hver sideflate av griperen er det også fastholdninger. Disse tillater ikke horisontalbevegelse av griperne. Dette er gjort på grunn av at i realiteten vil det være en jigg til på andre siden og katodekassen imellom dem. Dette gjør slik at griperne i seg selv blir avstivet mot horisontal bevegelse.

De røde pilene som er på gripeflatene er krefter som oppstår under forspenning av kassen. Det er verdt å merke seg at det skal være røde piler på begge sider av griperne, altså både overdel og underdel. På bildet under ser man derimot at pilene som peker nedover er rosa. De representerer tyngden fra kassen. Forspenningskreftene er regnet ut til å være 2,67 MPa eller 119,2 kN. Under dette trykket vil kassen bli holdt fast, og ikke bevege seg bort til sideavstiverne som er på kassen. Se vedlegg 8 for beregninger av forspenning. Når det gjelder de sfæriske rullelagrene som er mellom akslingen og opplagrings bjelke, er ikke disse med i simuleringen. For å gjøre simuleringen enklere er det satt et «contact set» som etterligner disse lagrene i denne forbindelsen (se figur 57). Lagrenes belastningskapasitet er mye større enn kreftene som oppstår og er da ikke relevante for disse resultatene. Se vedlegg 12 for kapasitet til lagrene. Glidelagrene som er mellom støttesøylene og lagerboss for glidelager er festet med en krympeforbindelse på lagerbossene. Dette må også bli angitt i programmet for å få mest mulig realistiske resultater.



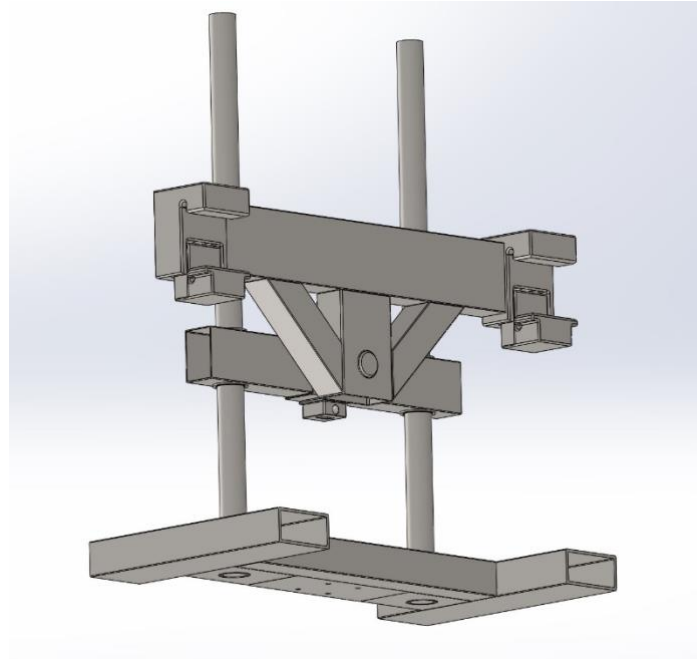
Figur 56: Fastholdninger og krefter



Figur 57: Opplagring lager

5.2 Beregning av valgte modeller

Startposisjon



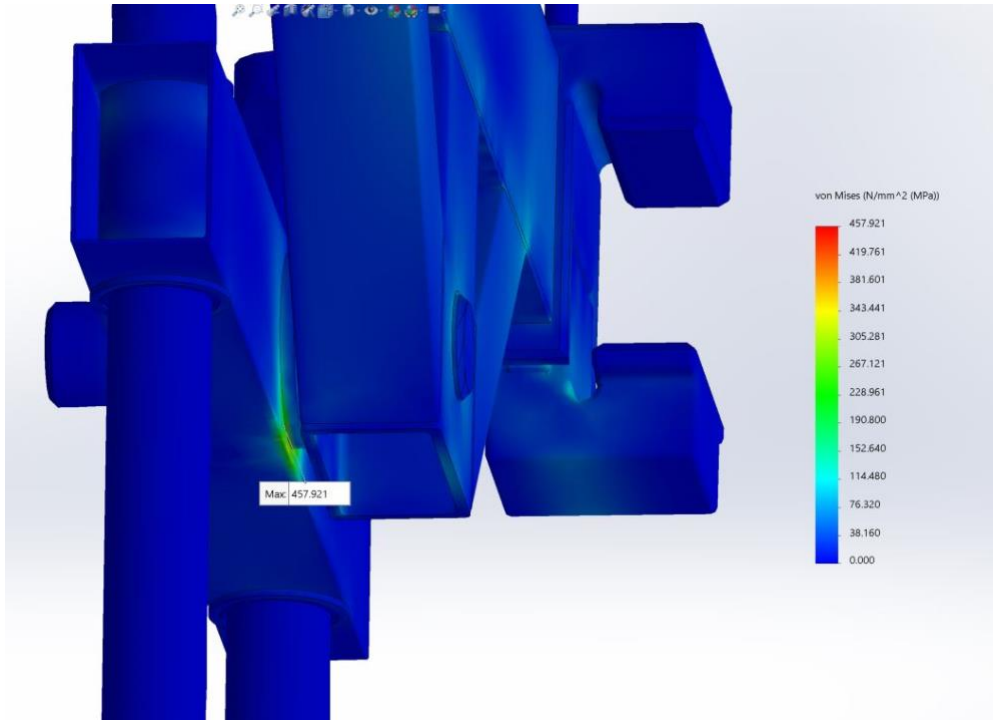
Figur 58: Sammenstilling, startposisjon

Den første simuleringen kjørt på sammenstillingen ga spenningskonsentrasjoner på 458 MPa (se figur 58). Dette er for høyt da flytegrensen er på 355 N/mm². Det måtte derfor legges til rette for noen korrigerende tiltak. Evaluerte hvorfor det oppstod så store krefter i disse punktene. Det viste seg da at lagerboss for opplagring av sfæriske lager (se figur 33) presset ned mot bjelken under løfting av kasse, det skapte et moment. Ved å øke tykkelsen på bjelken, altså opplagringen for lagerbossene (se figur 32), så vil man redusere spenningene som oppstår. Det korrigerende tiltaket som ble gjort var å designe en avstiver til opplagringen (Se figur 38). Resultatene etter det korrigerende tiltaket endte på 386 MPa (se figur 60). Maks spenning opptrer i samme posisjon som tidligere (se figur 59). Dette er over flytegrensen som er på 355 MPa.

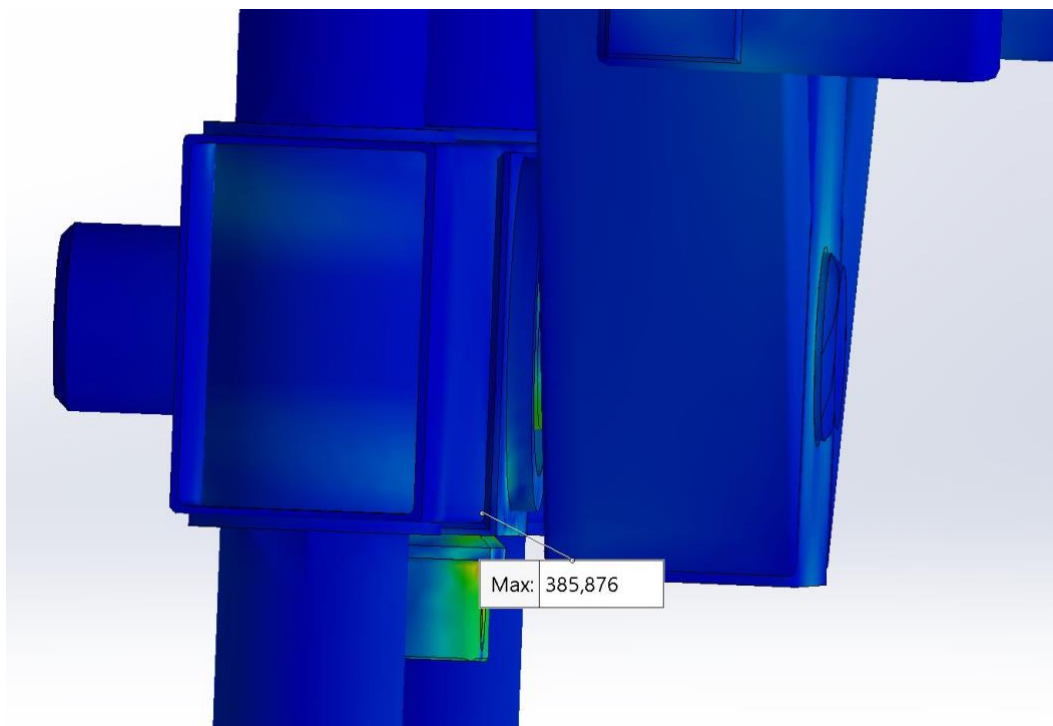
$$\sigma_j = 458\text{MPa} > \sigma_f = 355\text{MPa} \quad \text{IKKE OK!}$$

Ble så utført korrigerende tiltak

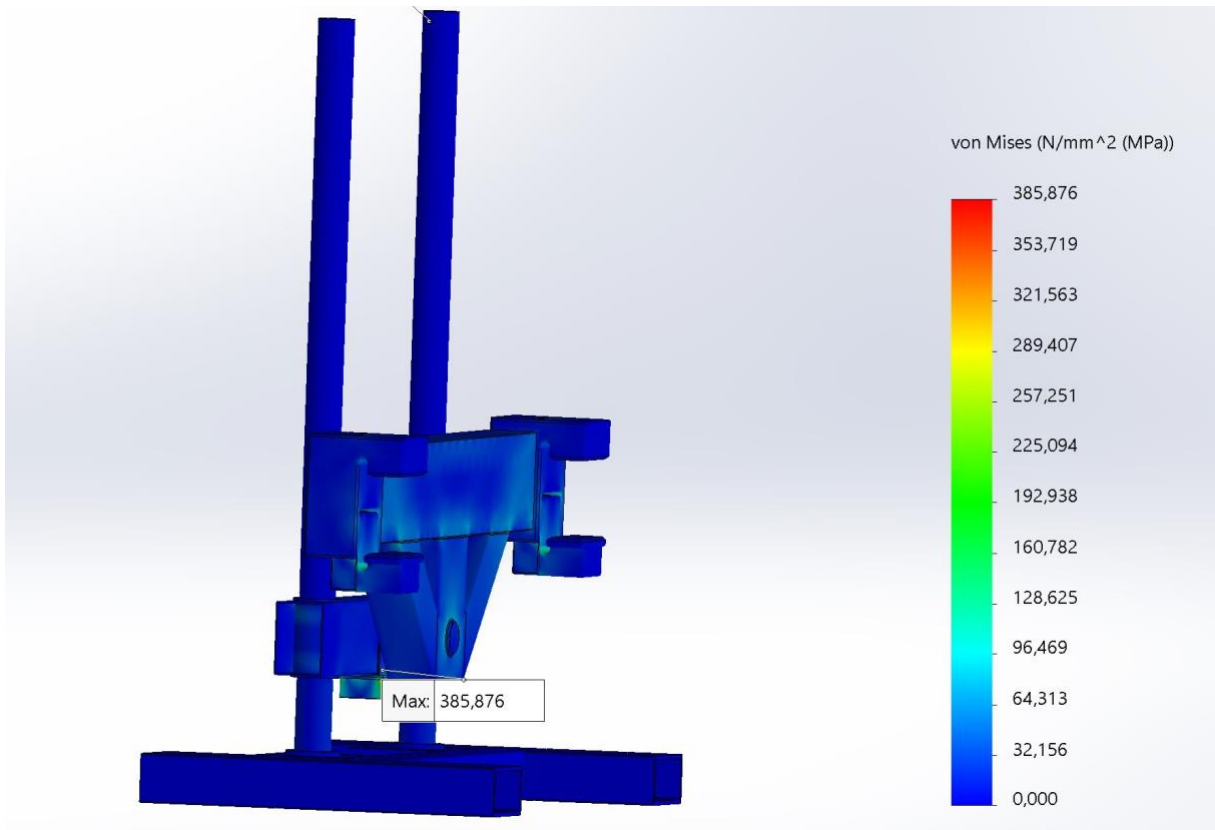
$$\sigma_j = 385\text{MPa} > \sigma_f = 355\text{MPa} \quad \text{IKKE OK!}$$



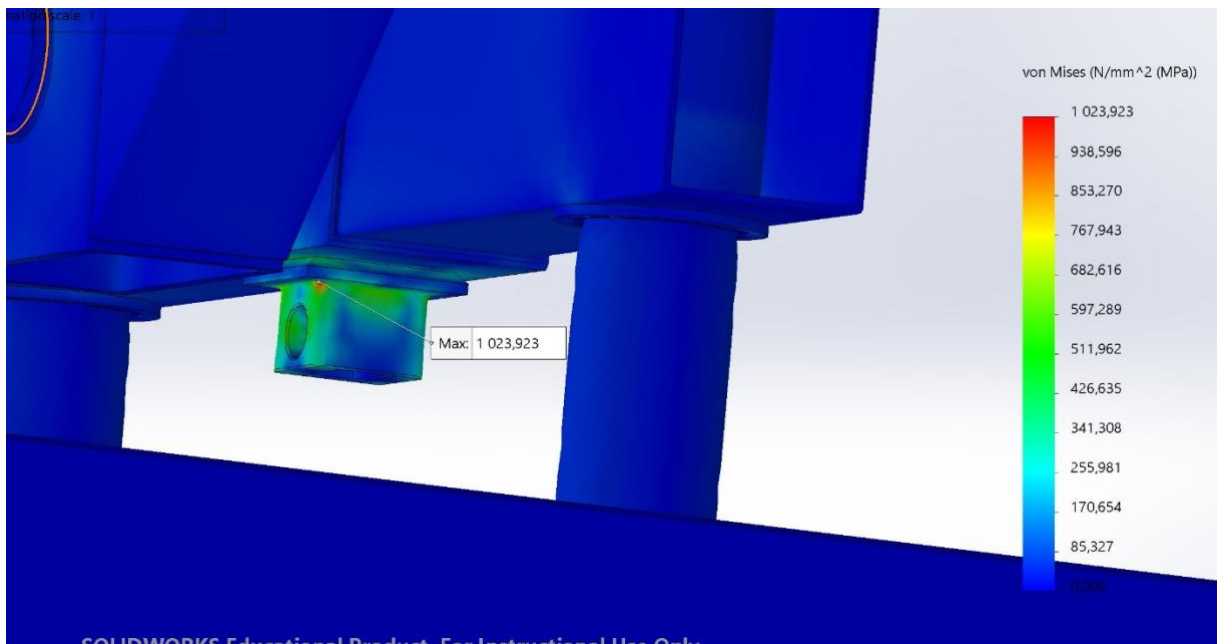
Figur 59: Simulering av sammenstilling 1



Figur 60: Simulering etter korrigerende tiltak

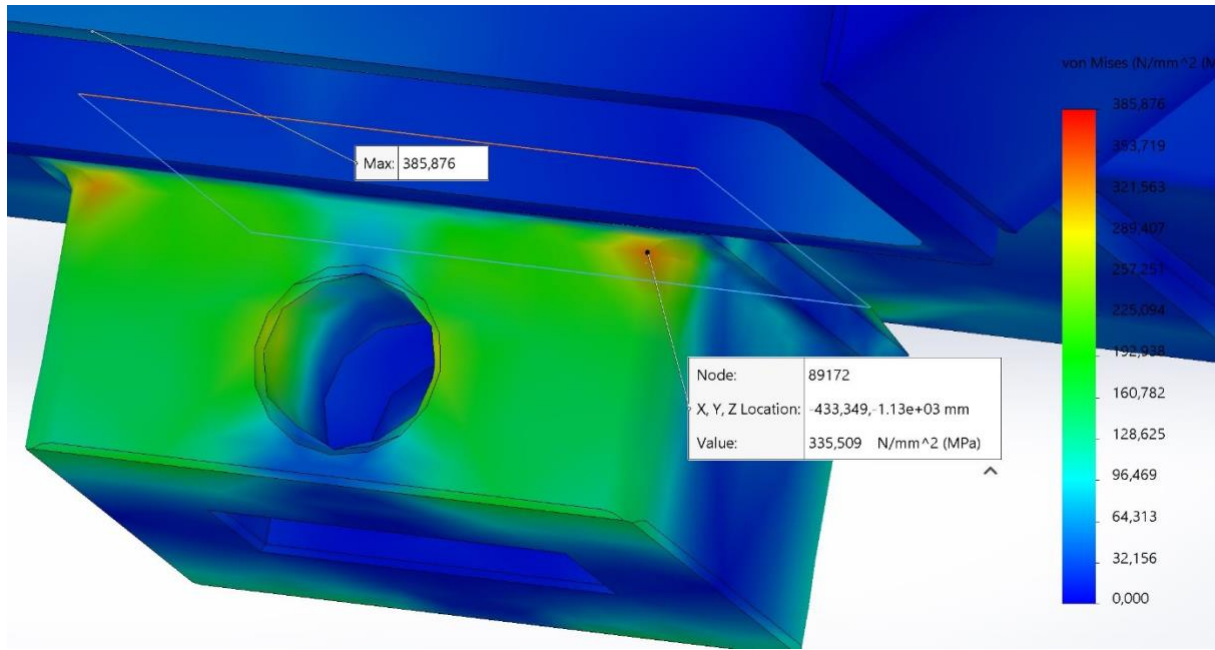


Figur 61: Simulering av sammenstilling 2



Figur 62: Sylinderfeste resultater 1

Etter første simulering ble det laget et feste for sylindere. Det ble da lagt til rette for fastholding på sylindrefestet. Dette ble gjort for å unngå at hele undersiden av opplagringsbjelke ble brukt som fastholdning. Resultatene etter at sylindrefeste (se figur 39) ble montert (se figur 62). Her var det også nødvendig med korrigerende tiltak (se figur 40). Sylindrefeste opplevde nå en maks verdi på 335,5 MPa (se figur 63).

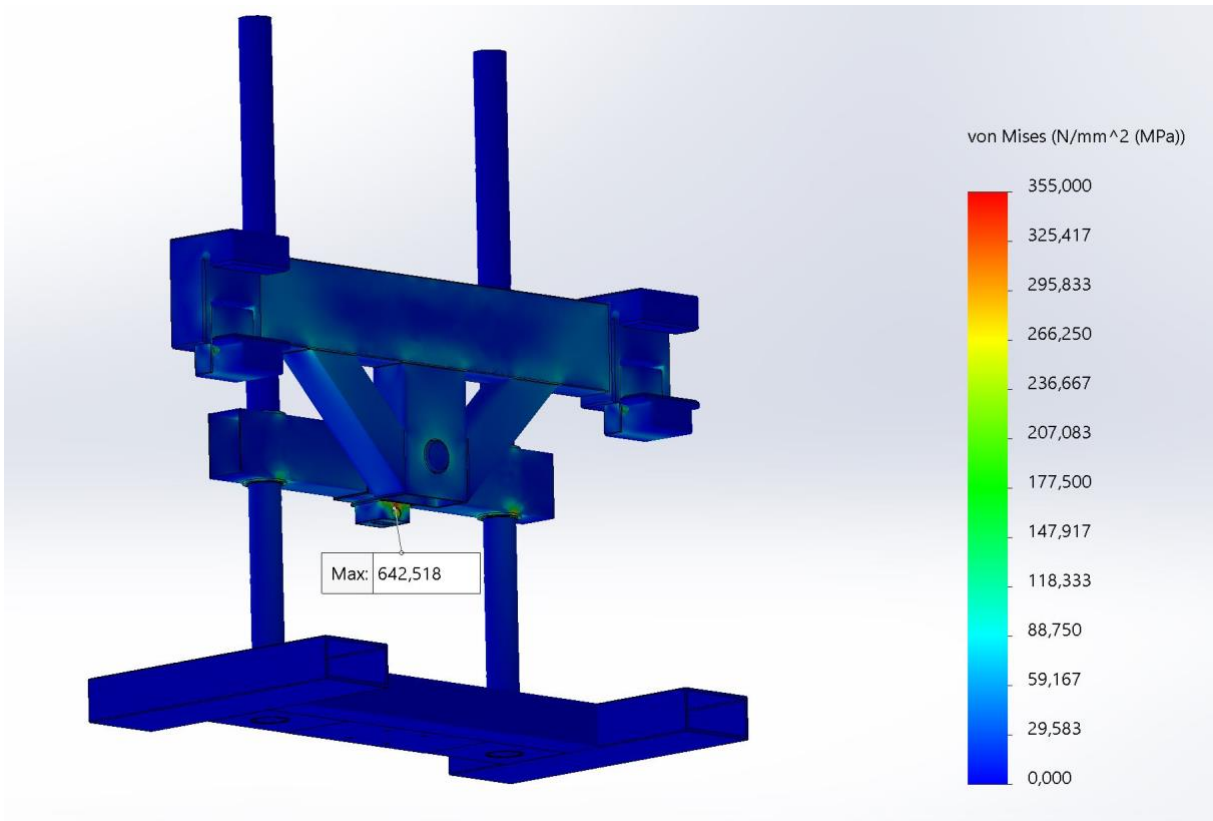


Figur 63: Sylindrefeste resultater 2

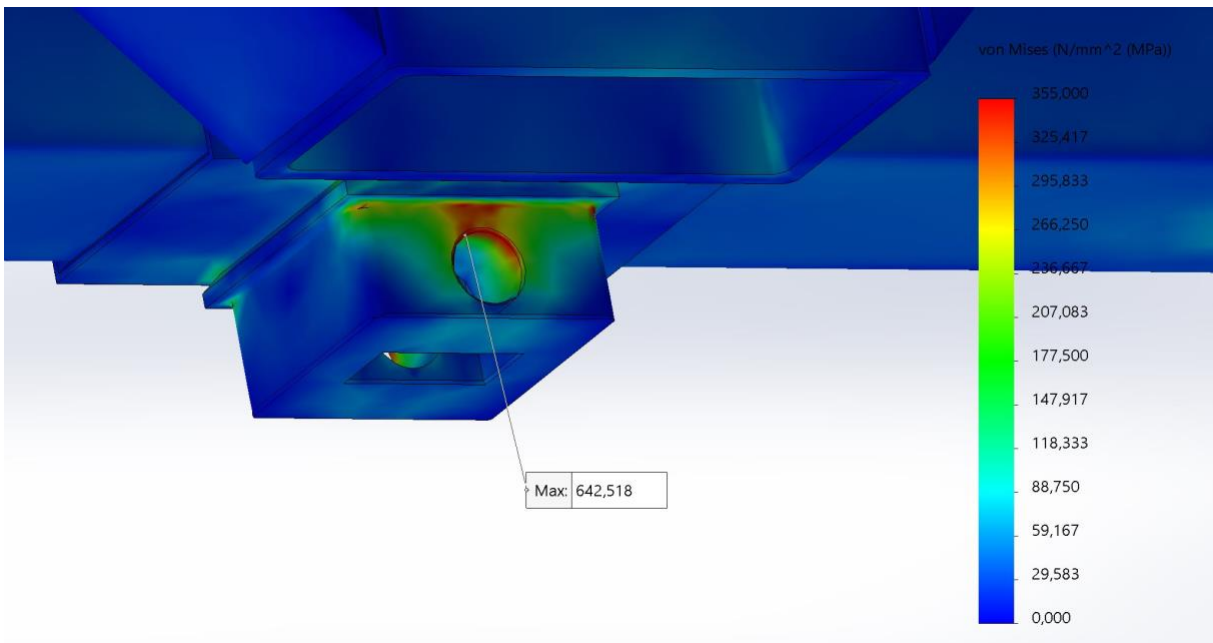
$$\sigma_j = 335 \text{ MPa} < \sigma_f = 355 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

Hele denne simuleringen ble i etterkant vurdert som feilaktig. Det ble funnet at det globale kontakt settet var satt til «bonded». Dette gjør at hele konstruksjonen blir sett som en del eller som en komponent som for eksempel er støpt i en form. Det ble så jobbet med å endre disse parameterne. For at simuleringen skulle være reell, ble det satt «bonded contact» mellom de delene som er sveist sammen. Dette kunne gjøres da sveisene er sett på som perfekt og kreftene distribueres godt gjennom disse. I kontaktflaten mellom de delene som ikke er sveist ble det satt «no penetration» som kontakt sett. Eneste unntaket var «boss for glidelager», der ble det brukt «shrink fit» mellom glidelagrene og tilhørende boss.

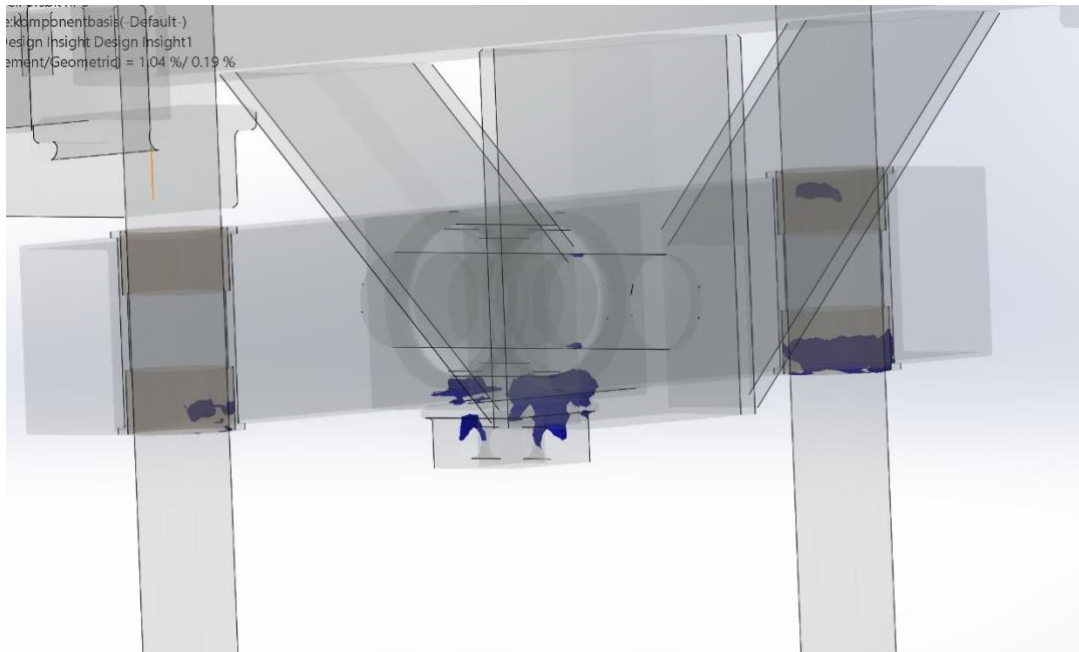
Etter at nye parametere ble stilt inn, med de samme kreftene fortsatt plassert der de hele tiden har vært, ble det kjørt en ny simulering av hele sammenstillingen. Fikk da spenninger på 642,5 MPa (se figur 64 og 65). Disse spenningene oppstår i sylindrefeste. Dette er forbindelsen som skal legges til rette for heve- og senkefunksjonen.



Figur 64: Simulering av sammenstilling 3

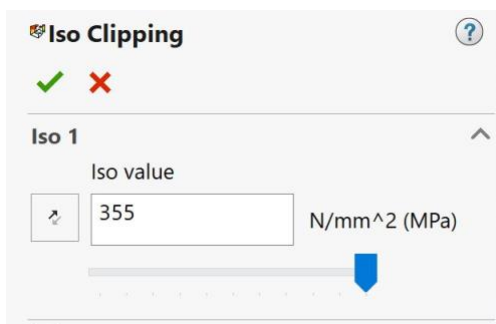


Figur 65: Sylinderfeste resultater 3



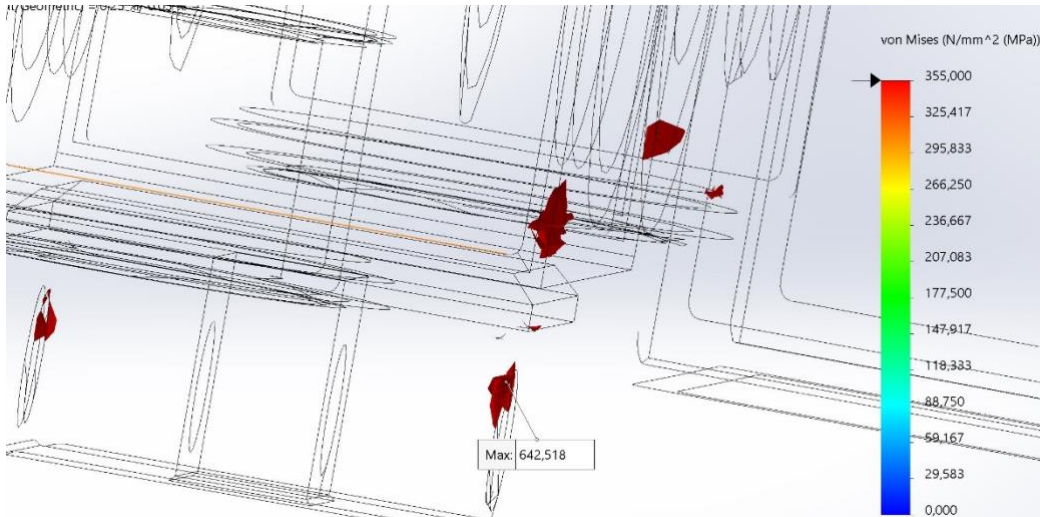
Figur 64: Design insight

Brukte så en funksjon som heter «design insight», denne lar deg lettere lokalisere hvilke områder og komponenter som opplever mest spenninger. Dette gjorde at komponentene som var markert her måtte undersøkes nærmere.

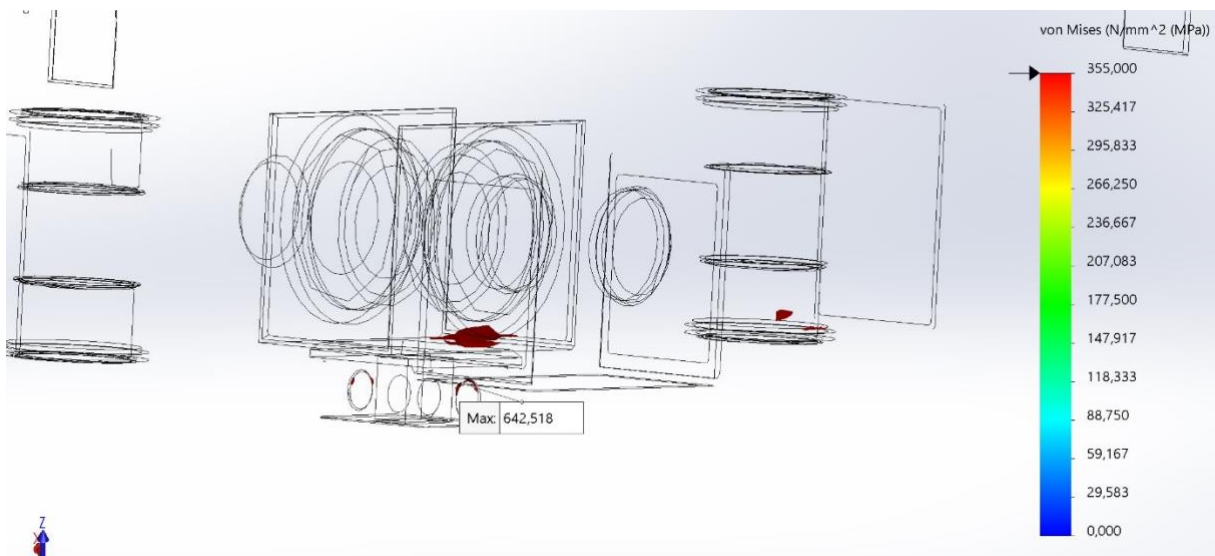


Figur 65: Iso Clipping

Funksjonen med navn «Iso Clipping» ble benyttet. Som man kan se på bildet figur 67, er grensen satt til 355 MPa. Dette er flytegrensen til materialet og alt over denne verdien skal markeres rødt (se figur 68 og 69).



Figur 66: Verdier over 355MPa, 2



Figur 67: Verdier over 355MPa, 1

| Summary | |
|---------|---------------------------------|
| | Value |
| Sum | 63764.707 N/mm ² (M) |
| Avg | 30.049 N/mm ² (M) |
| Max | 243.141 N/mm ² (M) |
| Min | 2.334 N/mm ² (M) |
| RMS | 42.076 N/mm ² (M) |

Figur 68: Krefter i boss til sfæriske lager

| Summary | |
|---------|-----------------------------------|
| | Value |
| Sum | 1007139.000 N/mm ² (M) |
| Avg | 37.232 N/mm ² (M) |
| Max | 532.888 N/mm ² (M) |
| Min | 0.220 N/mm ² (M) |
| RMS | 62.217 N/mm ² (M) |

Figur 69: Krefter i opplagringsbjelke

| Summary | |
|---------|----------------------------------|
| | Value |
| Sum | 662308.938 N/mm ² (M) |
| Avg | 93.296 N/mm ² (M) |
| Max | 380.326 N/mm ² (M) |
| Min | 2.615 N/mm ² (M) |
| RMS | 111.397 N/mm ² (M) |

Figur 70: Krefter i boss til glidelager

| Summary | |
|---------|---------------------------------|
| | Value |
| Sum | 65406.977 N/mm ² (M) |
| Avg | 56.047 N/mm ² (M) |
| Max | 245.704 N/mm ² (M) |
| Min | 0.011 N/mm ² (M) |
| RMS | 73.767 N/mm ² (M) |

Figur 71: Krefter i aksling

| Summary | | Value | |
|---------|------------|-----------------------|--|
| Sum | 241658.875 | N/mm ² (M) | |
| Avg | 73.097 | N/mm ² (M) | |
| Max | 242.415 | N/mm ² (M) | |
| Min | 20.218 | N/mm ² (M) | |
| RMS | 78.916 | N/mm ² (M) | |

Figur 72: Krefter i glidelager

| Summary | | Value | |
|---------|-------------|-----------------------|--|
| Sum | 1072141.375 | N/mm ² (M) | |
| Avg | 15.669 | N/mm ² (M) | |
| Max | 281.738 | N/mm ² (M) | |
| Min | 0.044 | N/mm ² (M) | |
| RMS | 23.439 | N/mm ² (M) | |

Figur 73: Krefter i overdel og underdel av griper

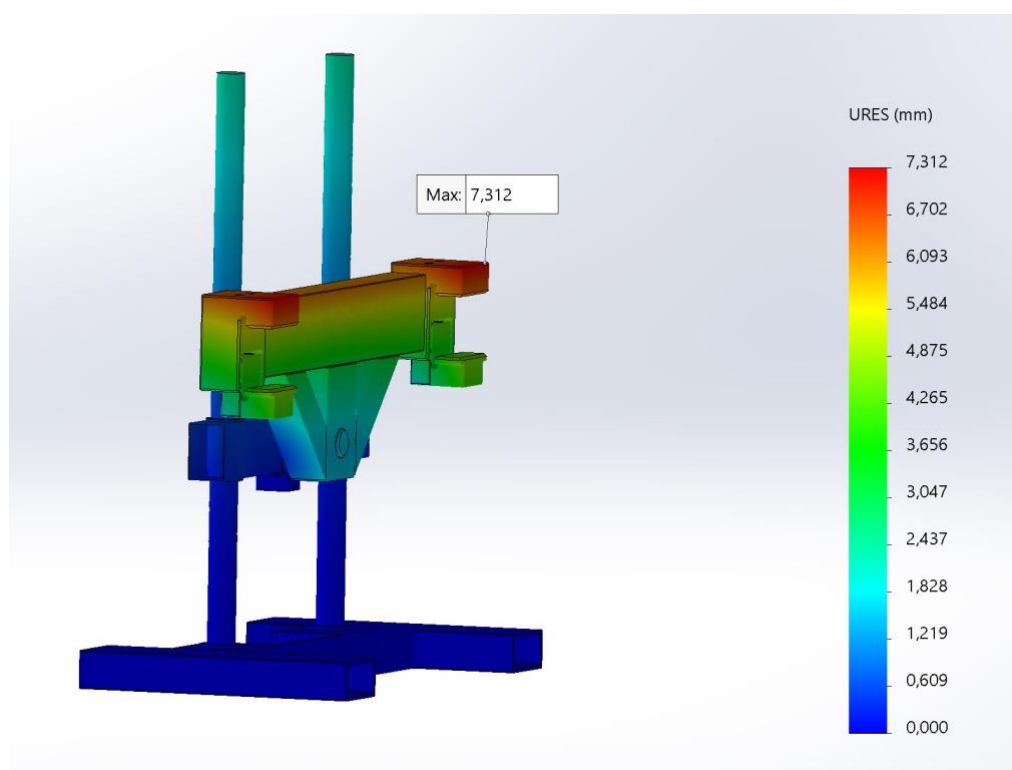
| Summary | | Value | |
|---------|------------|-----------------------|--|
| Sum | 263979.813 | N/mm ² (M) | |
| Avg | 70.772 | N/mm ² (M) | |
| Max | 642.518 | N/mm ² (M) | |
| Min | 1.271 | N/mm ² (M) | |
| RMS | 98.462 | N/mm ² (M) | |

Figur 74: Krefter i sylindrefeste

| Summary | | Value | |
|---------|------------|-----------------------|--|
| Sum | 145503.766 | N/mm ² (M) | |
| Avg | 44.565 | N/mm ² (M) | |
| Max | 431.718 | N/mm ² (M) | |
| Min | 0.935 | N/mm ² (M) | |
| RMS | 74.962 | N/mm ² (M) | |

Figur 75: Krefter i støtte

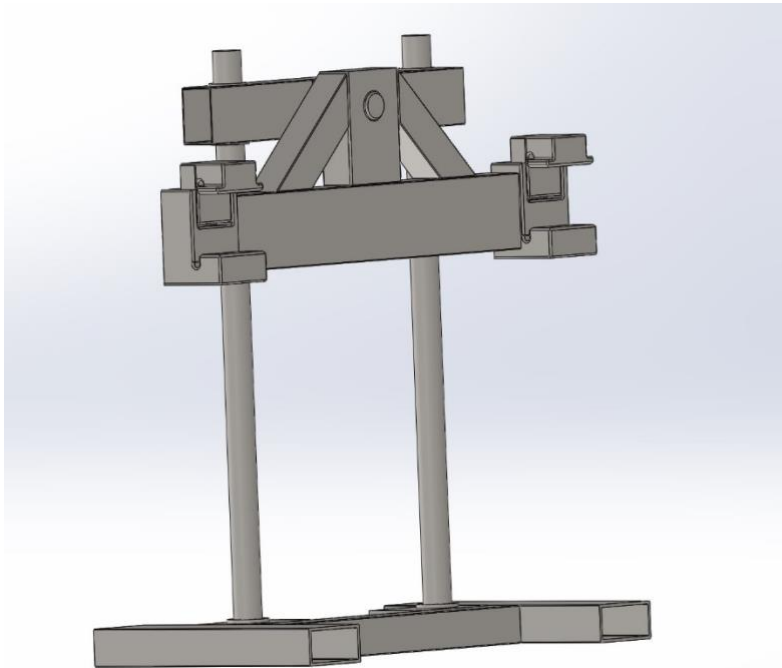
Fra figur 70 til og med 77 kan man tolke hvilke komponenter som må sjekkes hver for seg. Finner ut at det er åtte komponenter som skal evalueres litt nærmere. Når man studerer maks verdiene som oppstår i disse åtte komponentene, ser man at det er fire stykker som ligger over flytegrensen. De fire komponentene er som følger i opplagringsbjelken, støtten som går rundt opplagringsbjelken, sylindrefeste og lagerboss til glidelager. Alle disse fire komponentene har spenninger som overskrider flytegrensen på 355 MPa.



Figur 76: Sammenstilling, forskyvinger 1

Forskyvningen av komponentene i jiggeren har en maks verdi på 7,3 mm. Dette er øverst på griperen. Forskyvningen har ingen stor innvirkning på funksjonaliteten til konstruksjonen.

Rotert 180 grader

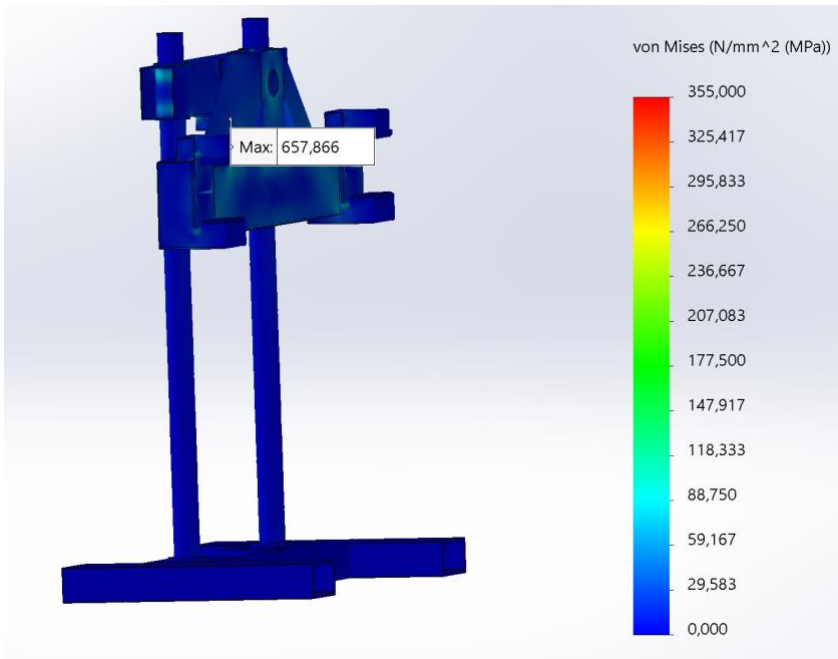


Figur 77: Sammenstilling, rotert 180 grader

Sammenstillingen viser i figur 79 at jiggeren har rotert katodekassen 180 grader. Det vil si at hele tyngden av kassen virker nå på overdelen av griperen. Forspenningen er fortsatt satt på begge griperne, så det er kun kassens tyngde som har blitt flyttet fra underdelen til overdelen av griperen. Alle fastholdningene er like.

Simuleringen viser spenninger på 658 MPa, dette er over flytegrensen. Når man bruker samme funksjon som ved den første simuleringen, finner man ut av noen av de samme komponentene har store spenningskonsentrasjoner. Den komponenten som ikke er påvirket i like stor grad er boss til glidelager. Her er det altså tre komponenter som overskrider flytegrensen, men de er de samme som ved første simulering. Altså, sylindrefeste, opplagring og støtte som går rundt opplagringen. Den komponenten med de største spenningene er sylindrefeste med 658 MPa.

$$\sigma_j = 658 \text{ MPa} > \sigma_f = 355 \text{ MPa}, \quad \text{IKKE OK!}$$



Figur 78: Simulering av sammenstilling rotert 180 grader

| Summary | | |
|---------|------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 808385.875 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 11.930 | N/mm ² (MI) |
| Max | 170.520 | N/mm ² (MI) |
| Min | 0.030 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 16.273 | N/mm ² (MI) |

Figur 79: Krefter i overdel og underdel av griper, rotert 180 grader

| Summary | | |
|---------|------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 175587.969 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 44.073 | N/mm ² (MI) |
| Max | 457.120 | N/mm ² (MI) |
| Min | 0.998 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 76.369 | N/mm ² (MI) |

Figur 80: Krefter i støtte, rotert 180 grader

| Summary | | |
|---------|------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 278332.563 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 77.660 | N/mm ² (MI) |
| Max | 657.866 | N/mm ² (MI) |
| Min | 1.114 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 108.484 | N/mm ² (MI) |

Figur 81: Krefter i sylindrefeste, rotert 180 grader

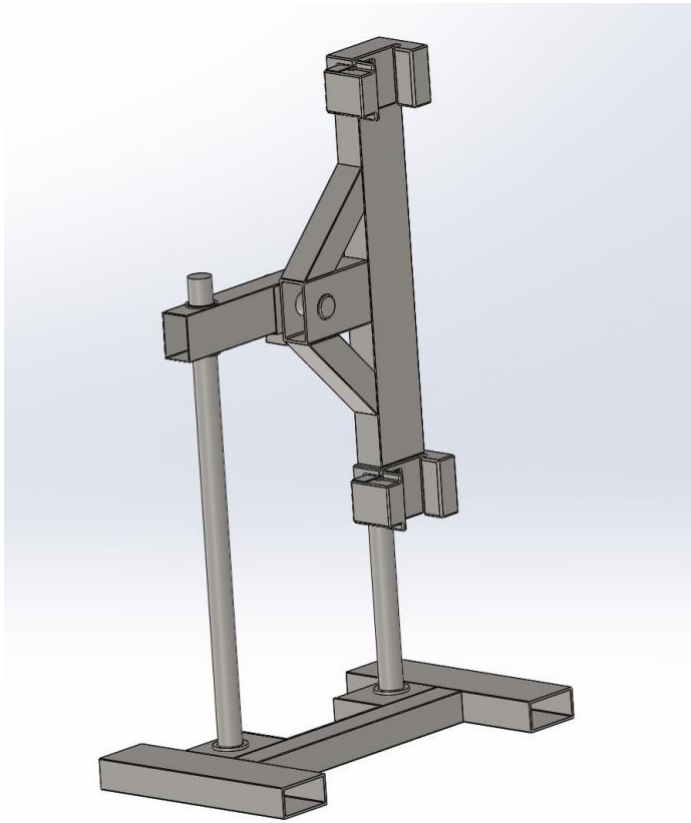
| Summary | | |
|---------|------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 807147.188 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 29.555 | N/mm ² (MI) |
| Max | 485.310 | N/mm ² (MI) |
| Min | 0.289 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 56.876 | N/mm ² (MI) |

Figur 82: Krefter i opplagring, rotert 180 grader

| Summary | | |
|---------|------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 126063.344 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 26.971 | N/mm ² (MI) |
| Max | 296.541 | N/mm ² (MI) |
| Min | 1.476 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 42.837 | N/mm ² (MI) |

Figur 83: Krefter i boss til sfæriske lager, rotert 180 grader

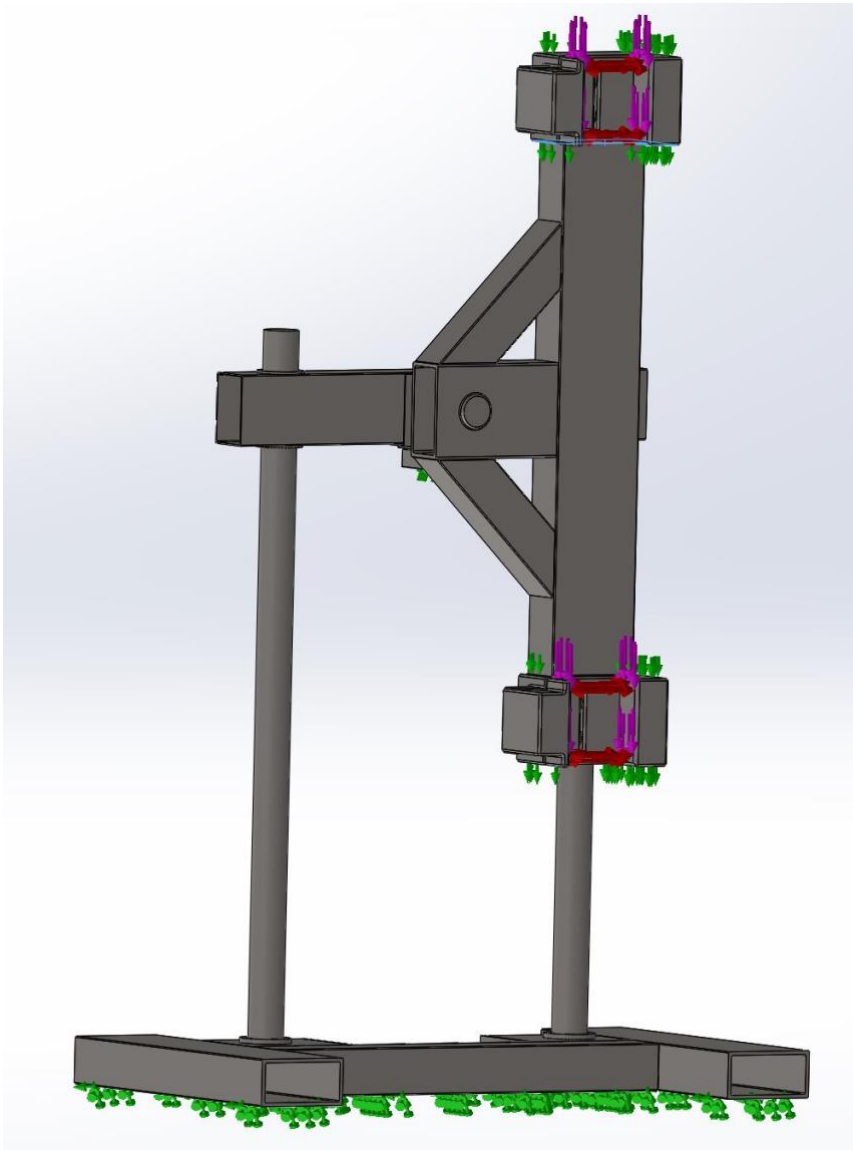
Rotert 90 grader



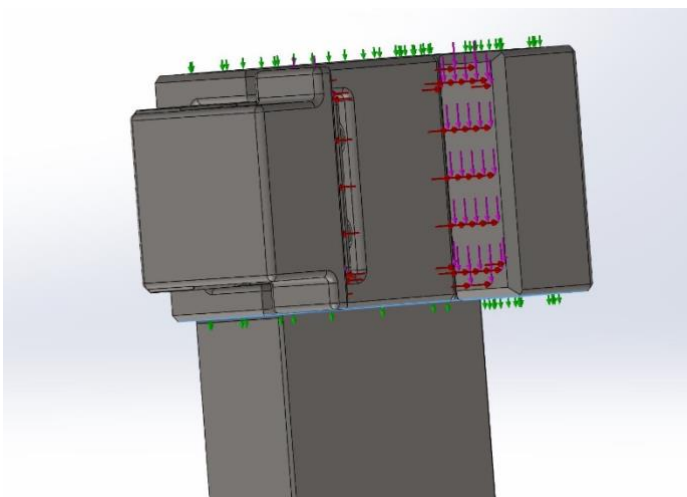
Figur 84: Sammenstilling, rotert 90 grader

Sammenstillingen avbildet på figur 86 viser jiggeren rotert 90 grader. Det som er viktig å bemerke seg er at akslingen som står for rotasjonen, er plassert tilnærmet i senter av massesenteret til katodekassen. Ved å gjøre det slik så unngår man unødvendige moment. Her er fastholdningene fortsatt uendret, men kreftene er derimot noe endret. Forspenningen er lik og plassert på begge deler av griperen, tyngden av kassen som til nå har påvirket enten overdelen eller underdelen, virker nå på begge to med like stor kraft. Altså 60 000 N hver. Kraftene som oppstår på grunn av tyngden på kassen peker heller ikke vinkelrett på overflatene til griperne men de peker nedover (se figur 87 og 88). For å unngå at det oppstår et moment fra griperne og til senter av akslingen ble forsøkt å sette kreftene i «remote load». Dette skal legge til rette for at kreftene kan flyttes inn i massesenteret. Det er satt et koordinatsystem i senter av akslingen som står for rotasjon. Det er fra framsiden av akslingen og inn til massesenteret en avstand på 115mm.

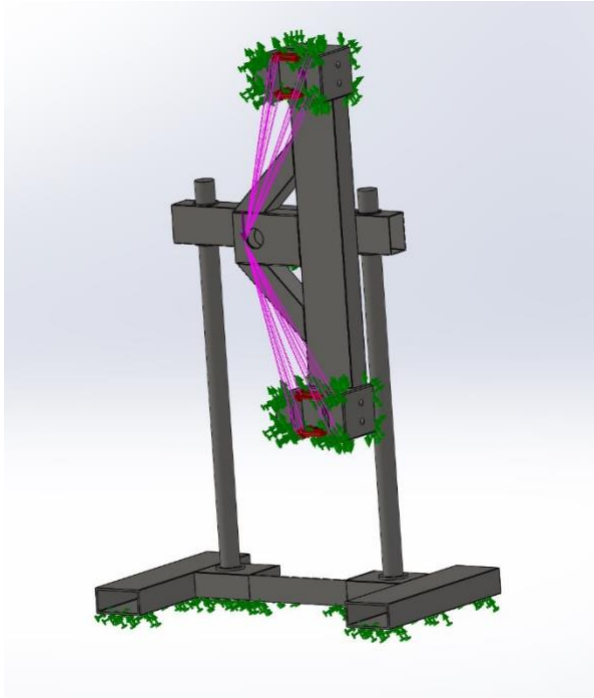
Fra figur 91 til 95 kan man se resultatene fra simuleringen, man kan også se hvordan «remote load» er plassert i figur 89, punktet skal representere massesenteret til katodekassen. Von Mises spenningene som oppstår er på 2130 MPa. Dette er ikke ok da flytegrensen er 355 MPa.



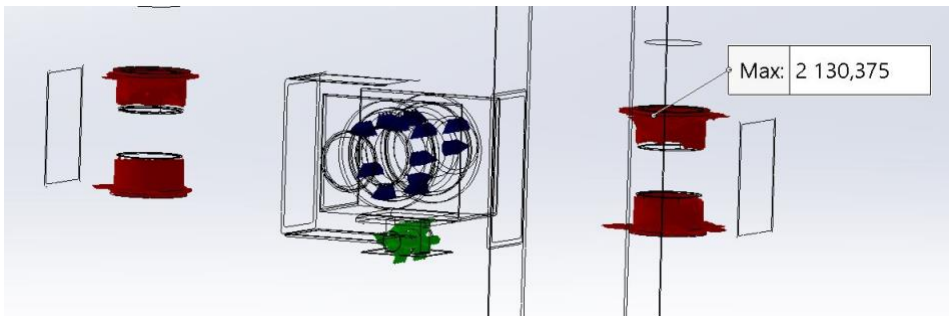
Figur 85: Fastholdninger, rotert 90 grader



Figur 86: Fastholdinger, rotert 90 grader, 2



Figur 87: Simulering av sammenstilling, rotert 90 grader



Figur 88: Verdier over 355MPa, 3

Områdene som opplever spenninger over flytegrensen er markert rødt i bildet ovenfor. Her kan man se at det er kun lagerbossene til glidelagrene, glidelagrene og opplagringsbjelken som opplever store belastninger. Dette kan betraktes nærmere ved å se på figurene under. Her ser man at det ikke er spenninger i akslingen som skal rotere jiggen. Det er da noe som ikke stemmer med denne simuleringen, fordi denne akslingen og lagerboss for sfæriske lager som ved tidligere simuleringer har hatt store spenninger. Disse spenningene har oppstått på grunn av at akslingen skal bære vekten av katodekassen og deler av jiggen. De resultatene som oppstår her på akslingen er maks 1,4 MPa. Så her er det noen parametere som ikke er riktig ved denne simuleringen.

| Summary | | |
|---------|----------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 6945.124 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 1.535 | N/mm ² (MI) |
| Max | 6.787 | N/mm ² (MI) |
| Min | 0.094 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 1.790 | N/mm ² (MI) |

Figur 89: Krefter i boss til sfæriske lager, rotert 90 grader

| Summary | | |
|---------|------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 355900.313 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 108.078 | N/mm ² (MI) |
| Max | 1805.943 | N/mm ² (MI) |
| Min | 4.410 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 165.331 | N/mm ² (MI) |

Figur 90: Krefter i glidelager, rotert 90 grader

| Summary | | |
|---------|---------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 230.498 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 0.196 | N/mm ² (MI) |
| Max | 1.398 | N/mm ² (MI) |
| Min | 0.000 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 0.290 | N/mm ² (MI) |

Figur 91: Krefter i aksling, rotert 90 grader

| Summary | | |
|---------|-------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 3203769.750 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 114.942 | N/mm ² (MI) |
| Max | 1795.400 | N/mm ² (MI) |
| Min | 0.253 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 222.751 | N/mm ² (MI) |

Figur 92: Krefter i opplagring, rotert 90 grader

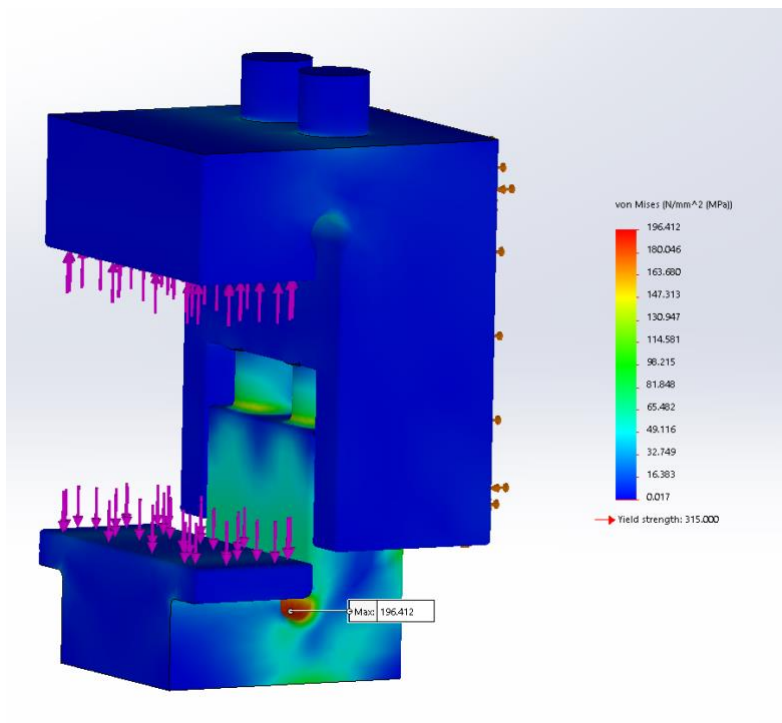
| Summary | | |
|---------|-------------|------------------------|
| | Value | |
| Sum | 2964099.250 | N/mm ² (MI) |
| Avg | 413.230 | N/mm ² (MI) |
| Max | 2130.375 | N/mm ² (MI) |
| Min | 11.267 | N/mm ² (MI) |
| RMS | 491.727 | N/mm ² (MI) |

Figur 93: Krefter i glidelager, rotert 90 grader

Griper

I begynnelsen av oppgaven var fokuset rettet mot gripemekanisme for å holde fast kassen. Det ble konstruert flere forskjellige utkast, men hvor ett utmerket seg til slutt (se kapittel 4).

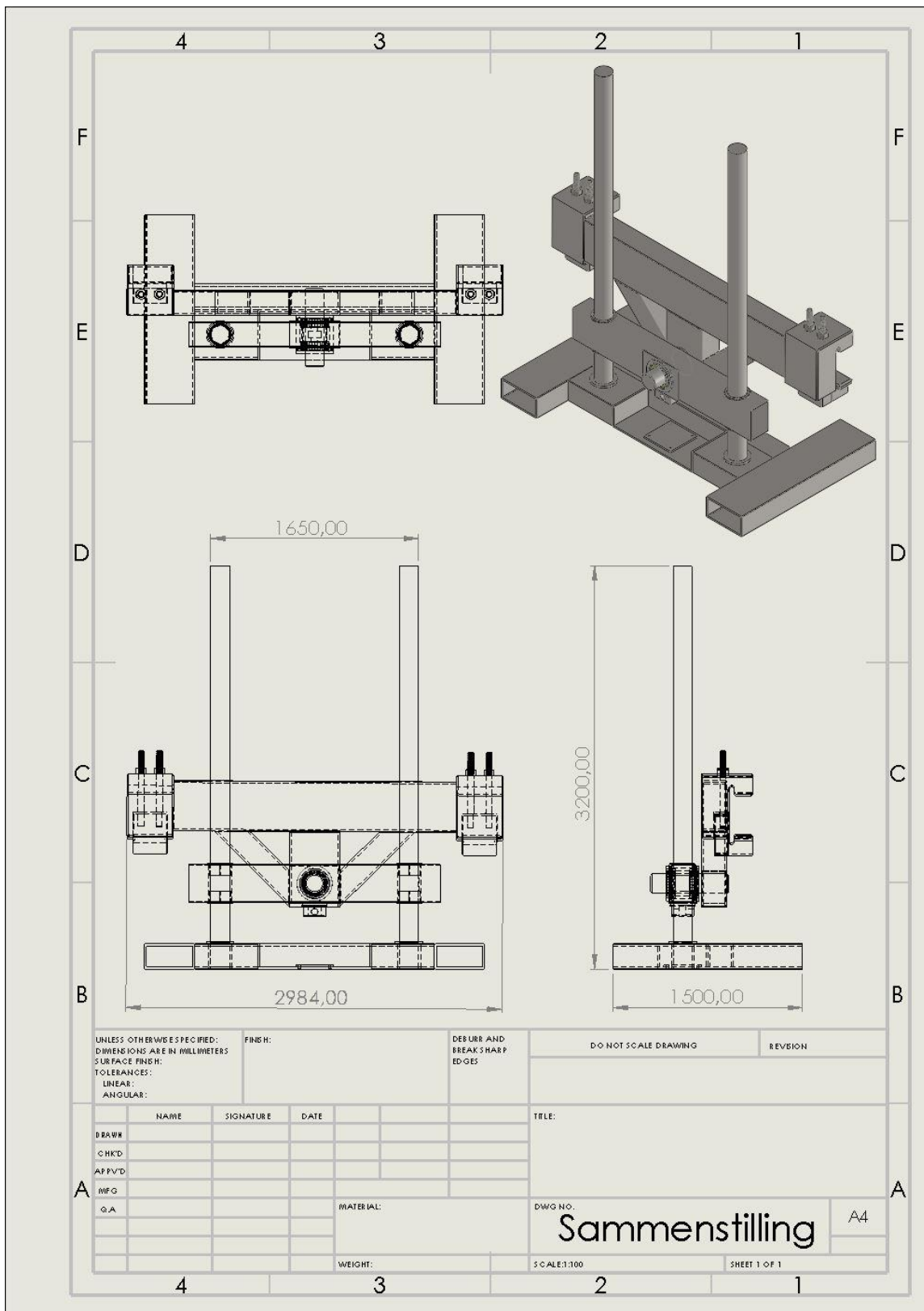
Under kan man se ett av de utkastene med en simulering, dette la til rette for at gripemekanismen var sterk nok til å håndtere de spenningen som oppstår under løft av katodekassen. Her er det satt forspenning på 119,2 kN på begge flatene og tyngden på kassen er satt til 240 kN som kun virker på den nedre delen av griperen. 240 kN tilsvarer en sikkerhetsfaktor rundt 1.5, som igjen tilsvarer en vekt på 54 000 kg. Her er verdien under flytegrensen



Figur 94: Simulering på griper

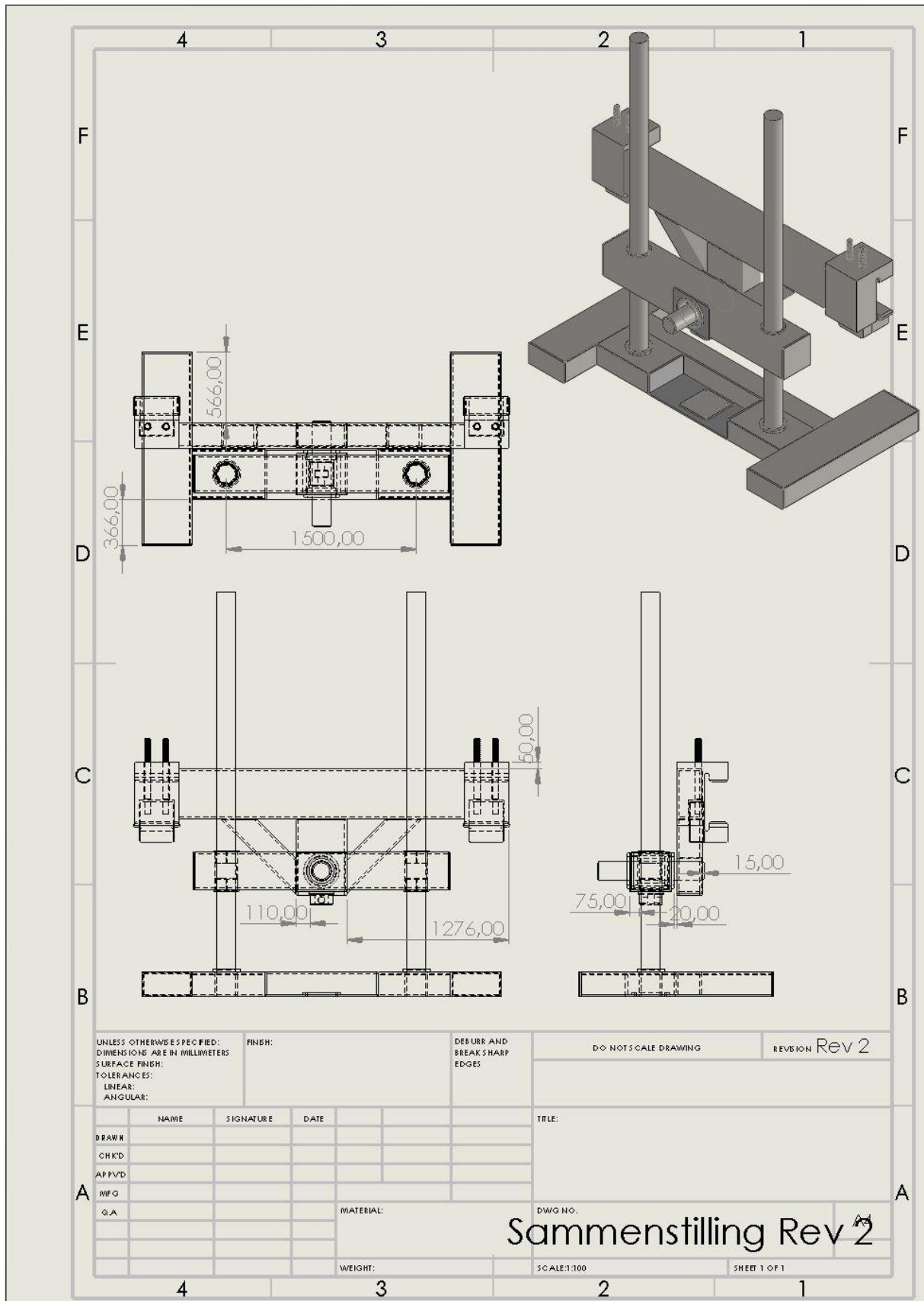
$$\sigma_j = 196 \text{ MPa} < \sigma_f = 355 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

5.3 Sammenstillingstegning



Figur 95: Sammenstillingstegning

På figur 98 kan man se den nye sammenstillingstegningen etter korrigerende tiltak for å redusere spenningene i enkeltkomponentene opplistet under resultatene i kapittel 5.



Figur 96: Sammenstillingstegning Rev 2

Komponentene som trengs for å konstruere denne jigger er listet under her. I en «Bill of material» - liste.

| ITEM NO. | PART NUMBER | DESCRIPTION | QTY. |
|----------|-----------------------------|--|------|
| 1 | Bunnplate | Tilhører base | 1 |
| 2 | Bakplate | Tilhører base | 1 |
| 3 | Feste til sylinder | Tilhører base | 1 |
| 4 | Sideplater | Tilhører base | 1 |
| 5 | Sideplate 2 | Tilhører base | 1 |
| 6 | Opplagring støtteføringer | Tilhører base | 2 |
| 7 | mellomstøtte | Tilhører base | 1 |
| 8 | ben 1500mm | Tilhører base | 2 |
| 9 | Hylse for støttesøyler | Tilhører base | 2 |
| 10 | Støttesylinder | Tilhører base | 2 |
| 11 | Lokk 400x200 | Tilhører base&aksling boss | 4 |
| 12 | Opplagring 300x300 | Tilhører opplagring | 1 |
| 13 | Boss til glidelager | Tilhører opplagring | 2 |
| 14 | Boss til Sfæriske lager | Tilhører opplagring | 1 |
| 15 | Støtte underside | Tilhører opplagring | 1 |
| 16 | Støtte side 2 | Tilhører opplagring | 1 |
| 17 | støtte side | Tilhører opplagring | 1 |
| 18 | PBM_150170100_M1G1 | Glidelager | 4 |
| 19 | Aksling for opplagring | Aksel for rotasjon og opplagring | 1 |
| 20 | Lokk 300x300 | tilhører opplagring | 2 |
| 21 | Aksling boss | Tilhører griper | 1 |
| 22 | bjelke 2252mm 400x200x16 | Tilhører griper | 1 |
| 23 | avstiver 200x200x16mm | Tilhører griper | 2 |
| 24 | Overdel | Tilhører griper | 2 |
| 25 | Underdel | Tilhører griper | 2 |
| 26 | Klipeskrue | Tilhører griper | 4 |
| 27 | Sylinderfeste | Tilhører opplagring | 1 |
| 28 | _24030_CC_W33_ir_4 | Deler til sfæriske lager, kommer med lageret | 2 |
| 29 | _24030_CC_W33_or_6 | Deler til sfæriske lager, kommer med lageret | 2 |
| 30 | _24030_CC_W33_R1_8 | Deler til sfæriske lager, kommer med lageret | 52 |
| 31 | _24030_CC_W33_R2_10 | Deler til sfæriske lager, kommer med lageret | 52 |

Figur 97: Bill Of Material

6.Drøfting/diskusjon

Gjennom denne prosessen har vi i stor grad benyttet simuleringer i SolidWorks, for å få bekreftet / avkreftet at den aktuelle delen tåler belastningene. Dette med forutsetning at vi har gitt programmet gode rammebetingelser, hvor spesielt fastholdninger og kontakt-sett er viktig for å få realistiske resultater. Det ble først kjørt simuleringer på gripemekanisme, arm og aksling, før simulering av hele sammenstillingen. Årsaken til dette var at det blir enklere og vesentlig raskere å simulere få deler om gangen, og dermed effektivisere prosessen.

Balansen til løftejiggen er basert på at man skal rotere om massesenteret til katodekassen med griperarmen innfestet. Dette fører til god støtte parallelt med kassens kortside, da det er 1420 mm fra akslingens senter til hver side.

Når katodekassen løftes vil det primært være en vertikal belastning som opptrer i senter av gripepunktene. Fra gripepunktene er det en avstand til akslingen, på grunn av dette oppstår det et bøyemoment som vil forsøke å velte jiggen inn mot kassen. Derimot vil katodekassen igjen stanse denne bevegelsen da den i liten grad deformeres. Dette kan i ytterste konsekvens gjøre at basen til løftejiggen sklir bakover og på den måten forårsake velt. Beregninger for dette er ikke gjennomført siden dette er svært usannsynlig, da det hviler en stor vekt på basen som gjør at den motvirkende friksjonskraften stor. Basens ben er nå maksimal lengde mot kassen, da de ikke kan stikke lengre inn under katodekassen grunnet plassmangel. Det vil uansett være en smal sak å ha en innfestning mot gulv ved hjelp av for eksempel bolter, da basen fint kan prepareres for dette. Hull i gulvet må i så tilfelle bores opp med stor nøyaktighet.

Innretning for å løfte jiggen og katodekassen anbefales å være hydraulisk løftesyylinder. Dette er ferdige produkter som settes inn i et hydraulikksystem, og eneste kriterier er at sylindere kan løfte 25 tonn, 3 meter opp i været. Når det gjelder hydraulisk motor for rotasjon av kassen, er det ikke prioritert noen omfattende beregninger for motor. Maksimalt moment påført aksling er 51 Nm ved 200 mm avvik mellom massesenter og senter av aksling. Dette er noe mange hydrauliske motorer presterer. Motorene er som regel konstruert for å rotere raskt, mens kassen bør roteres svært sakte. En utveksling er dermed nødvendig for å holde hastigheten nede, man trenger dermed ingen dyr eller spesielt sterk hydraulikkmotor for denne prosessen. En illustrasjon av hvor sylindere og motor foreslås plassert, kan sees på figur 41. Beregning av minstekrav for motor er vedlagt i vedlegg 9.

I løpet av tidsperioden ble forflytning av kassen vurdert mot flere muligheter da en av de var ved bruk av hjul, disse skulle da være fjærbelastet og bli sammentrykt når jiggen griper fast i katodekassen. Det kunne blitt en utfordring med dette da hjulene vill løftet jiggen med engang griperen har sluppet taket av katodekassen. Det ble også vurdert å bruke gaffeltruck til å løfte jiggen, da må det festes på noen hulprofiler som er tilpasset gaflene til truck. Det ble i etterkant vurdert å flytte jiggen med løfteører, disse skal for eksempel monteres på toppen av støttesøylene. Dette ble satt til veien videre, kapittel 7.1.

Styrker:

Ved gjentatte simuleringer med forskjellige innfestninger, har det fremkommet jevnt gode resultater på de fleste komponentene i sammenstillingen. Dette gjør at vi er trygge på at disse delene vil holde godt i virkeligheten, både håndberegninger og simuleringer er gjennomført med konservative antakelser som også øker sikkerheten.

Ved rotasjon er det valgt sette rotasjonsløsningen på den ene av de to løftejiggene, den andre delen har med andre ord kun løftesyliner som aktiv komponent. En torsjonsspenning i kassen vil dermed oppstå, men da kassen er oppunder 13 meter lang, vil denne være relativt liten i forhold til spenningen som oppstår i rotasjonsaksling. Dette sørger dermed for at det ikke er behov for noen kontroll av rotasjonshastighet, siden det kun er en pådriver. Løftesyliner bør derimot kjøres med samme hastighet, noe som lar seg gjøre ved at samme pumpe driver begge sylindere i parallellkobling. Forhåndsregler må dermed tas for å beskytte systemet mot eventuell sveis- og plasmasprut som kan treffe slanger. Selve hydraulikksystemet er ikke noe vi tar for oss i denne oppgaven, og må dermed designes i etterkant.

Svakheter:

Enkelt deler og punkter i sammenstillingen har relativt høye spenningskonsentrasjoner. Dette gjelder særlig i kontaktflaten mellom begge sfæriske lagrene og lagerboss i den horisontale bjelken. I tillegg er det høye spenningskonsentrasjoner og jevnt over svært høy belastning i sylindrefestet mellom bjelke og løftesyliner.

Årsaker til at resultatene gir så høye spenningsverdier kan være flere. Først og fremst er det svært høye krefter og momenter som virker på disse punktene. Arealet disse belastningene virker på kan for eksempel gjøres større, da må imidlertid designet på flere deler sannsynligvis omgjøres. I tillegg kan alle skarpe hjørner så langt det lar seg gjøre, omgjøres til så store radier som mulig, som vil ha god effekt mot spenningskonsentrasjoner. Annen mulig årsak er feil rammebetingelser vi har lagt inn, spesielt ved bruk av feil innfestninger og kontakt-sett. Ved bruk av feil rammebetingelser vil resultatene dermed også bli avvikende, hvor man ofte får høye spenningsverdier på grunn av dette.

Parameter for forspenningen er også noe usikkert, kraften som virker på nedre gripepunkt er forspenning + fordelt vekt av kassen. Her er forspenningen kun en strekkspenning som virker mellom øvre og nedre del. Det er usikkert om dette tolkes som belastning videre gjennom arm og aksling, eller som en strekkraft lokalt. Dersom forspenningskraften virker gjennom hele systemet, vil dette gi vesentlig høyere spenningsresultater enn i realiteten.

Videre bør dermed disse innstillingene og forutsetningene vurderes, da det er veldig omfattende simuleringer og mange hensyn som skal tas, kan det også vurderes å begrense simuleringene til å kun gjelde enkelte deler hver for seg.

7. Konklusjon

Produktutvikling som metode gir tydelige retningslinjer for utvikling av et produkt. Ut ifra disse retningslinjene etablerte vi klare vurderingskriterier for å evaluere hver komponent av snu-jiggen. Disse kriteriene ga grunnlaget for sammenstillingen og var med på å kvalitetssikre hvert steg i rapporten. Hovedmålet vårt med denne rapporten var å utforme en festeordning av katodekassen. Det ble brukt forholdsvis mye tid på å utvikle festeordningen, noe som kan ha ført til at andre komponenter ble nedprioritert og dette bidro til det endelige resultatet.

De resultatene vi presenterer i kapittel 4, oppsummert i kapittel 5, gir grunnlag for å konkludere med at sammenstillingens grenseverdier, satt i SolidWorks, ikke er gode nok. Det endte opp med et resultat som ikke samsvarer med virkeligheten. Denne konklusjonen mener vi er logisk fordi simuleringen for de enkelte delene har produsert gode resultater hele veien, det virker derfor lite sannsynlig at sammenstillingen skal ligge så langt utenfor flytegrensen til materialet. Basert på dette kan vi si at redesign av snu-jiggen ikke vil være nødvendig, men heller jobbe videre med å optimalisere sammenstillingen og rammebetingelsene foreslått i rapporten.

Konklusjonen vår blir derfor at løsningene presentert i denne rapporten er gode, selv om ikke sammenstillingen ga ønskede resultater. Mot slutten av prosjektperioden har gruppen jobbet med å optimalisere snu-jiggen og et arbeid ble gjort for å kunne presentere et resultat som gjenspeiler det vi fant for de individuelle delene. I løpet av denne tidsperioden ble det utviklet en sammenstilling som vi fikk resultater på, denne hadde verdier som oversteg flytegrensen og oppfyller da ikke kriteriene satt i kapittel 3.2.3. Det ble da gjort noen korrigerende tiltak på berørte komponenter og en ny sammenstilling ble satt sammen. På grunn av den begrensede tiden tilgjengelig mangler det da simuleringer på den nye sammenstillingen av komponenter som er korrigert. Optimalisering og ny simulering av snu-jiggen blir derfor en jobb som må gjenopptas på et senere tidspunkt.

7.1 Veien videre

Gjenstående arbeid for optimalisering av snujiggen er:

- Utvikle en fullstendig HMS plan, slik beskrevet i kapittel 2.3.2.
- Optimalisering av snu-jiggen
- Finne korrekt løftesyylinder for katodekassen
 - Maksimal høyde på sylinder sammentrukket er 489 mm dersom katodekassen står på gulvet.
- Korrekt roteringsmotor, helst med utveskling til større tannhjul
 - Ut ifra beregningene gjort i vedlegg 9
 - Beregninger for kile på aksel-kjedehjul forbindelsen og finne kjedehjul og kjede
- Finne løfteører som tåler belastningen av jiggen
- Identifisere hvor mange grader jiggen har rotert og mulighet for låsing i gitt vinkel
- Forsikre seg om at lagrene vi anbefaler er tilstrekkelig dimensjonert
- Utregning for krympeforbindelser må utføres
- Beregninger for hydraulikk og eventuelt strøm må gjennomføres

8.Referanser

Arbeidstilsynet, 2018. *Maskindirektiv – Forskrift om maskiner – bruk av maskiner*. [Internett]
Available at: https://www.nek.no/wp-content/uploads/2018/10/Bj%C3%B8rn-Lerstad-arbeidstilsynet-NEK_seminar_10102018.pdf
[Funnet 13 05 19].

Arbeidstilsynet, u.d. *Internkontroll*. [Internett]
Available at: <https://www.arbeidstilsynet.no/hms/internkontroll/>
[Funnet 20 Mars 2019].

Bedford, A. & Fowler, W., 2005. *Engineering Mechanics Dynamics*. SI Edition red.
Singapore: Pearson.

Dahlvig, G. & Christensen, S., 1984. *Konstruksjonselementer*. I: Oslo: Yrkesopplæring.

Dørum, A., 2007. *Maskindeler 1: LO244M*. Trondheim: Tapir.

Hartvigsen, H., Lorentsen, R., Michelsen, K. & Seljevoll, S., 2006. *Verksted Håndboka*. I:
Oslo: Gyldendal undervisning.

Hibbeler, R., Yap, K. B. & Fan, S., 2012. *Mechanics for engineers*. 13th red. Singapore:
Pearson Education South Asia.

Johannessen, J., 2002. *Tekniske tabeller*. I: s.l.:Cappelens Forlag A/S.

Johansen, H., 2007. *Lettvekt Design*. I: s.l.:s.n.

Larsen, P. K., 2010. *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*. Trondheim: Tapir Akademisk
Forlag.

Norsk Standard, 2015. *Eurokode 3: NS-EN 1993-1-1:2005+AI:2014+NA:2015*. s.l.:s.n.

Norsk Standard, 2016. *Eurokode: NS-EN 1990:2002+AI:2005+NA:2016*. s.l.:s.n.

Storvik AS, u.d. *Om Storvik*. [Internett]
Available at: <http://www.storvik.no/om-storvik/>
[Funnet 09 Mai 2019].

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D., 2012. *Product Design and Development*. 5. utgave red.
s.l.:Mc Graw Hill Education.

9.Vedlegg

1. Forprosjekt
2. Samarbeidsavtale
3. Timeliste
4. Plakat
5. Populærvitenskapelig artikkel
6. Belastningen på katodekassen
7. Tiltrekning av skruer
8. Forspenning
9. Moment for rotasjon av katodekassen
10. Moment og skjærkraft
11. Glidelager
12. Sfæriske lager
13. Arbeidstegninger Rev 1
14. Arbeidstegninger Rev 2
15. Kostnadsestimat

Vedlegg 1

Forprosjekt

Forprosjektet

| | |
|---|--|
| Tittel (norsk og engelsk): Snumekanisme Pivot mechanism | Prosjektnr. MTP-K-2019-01 |
| Forfattere: Bjørnar Bjerkestrand Trond Wessel Reehorst Ole Christian Graven Strømsvåg | Dato: 12.02.19 |
| | Gradering: Åpen |
| Studium Maskiningeniør | |
| Studieretning Konstruksjonsteknikk | |
| Veileder internt Anna Olsen | |
| Oppdragsgiver Storvik AS | |
| Oppdragsgivers kontaktperson Pål Nordvik | |
| Sammendrag (norsk og engelsk) Konstruere en snumekanisme, som det skal utføres styrkeberegninger på. Den skal kunne løfte og rotere kassen 180 grader for vedlikehold. Kassen må løftes opp minimum tre meter før rotering. Construct a pivot mechanism for which we shall perform strength and toughness calculations. The mechanism should be able to lift up the box and rotate it 180 degrees for maintenance. The box must be lifted up to a minimum of three meters before rotation | |
| Stikkord: Snumekanisme, løftefunksjon, Styrkeberegninger, Simuleringsprogram, HMS, Produktutvikling | Keywords: Pivot mechanism, lifting mechanism, strength and toughness calculations, simulations, HSE, product development |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|-----|--------------------------------|---|
| 1. | Mål og rammer | 3 |
| 1.1 | Orientering | 3 |
| 1.2 | Problemstilling | 3 |
| 1.3 | Prosjektbeskrivelse | 3 |
| 1.4 | Effektmål | 4 |
| 1.5 | Resultatmål | 4 |
| 1.6 | Rammer | 4 |
| 2. | Organisering | 4 |
| 3. | Gjennomføring | 4 |
| 3.1 | Hovedaktiviteter. | 4 |
| 3.2 | Milepæler. | 6 |
| 4. | Oppfølging og kvalitetssikring | 6 |
| 4.1 | Kvalitetssikring | 6 |
| 4.2 | Rapportering | 6 |
| 5. | Risikovurdering | 6 |
| 5.1 | Mål | 6 |
| 5.2 | Risikofaktor | 7 |
| 5.3 | Tiltak | 8 |
| 6. | Vedlegg | 8 |
| 6.1 | Tidsplan | 8 |
| 6.2 | Adresseliste | 9 |
| 6.3 | Avtaledokument. | 9 |

1. Mål og rammer

1.1 Orientering

Målet med denne rapporten er å undersøke hvilke problemer det kan være ved å lage en sammensetting av en snumekanisme. Vårt mål er å designe denne snumekanismen slik at den skal kunne løfte og rotere. Storvik AS ga oss denne problemstillingen gjennom Ole Christian som er tidligere ansatt ved bedriften som CNC-maskinarbeider. Av utfordringer knyttet til dette prosjektet, er dimensjonene på kassene noe vi må ta hensyn til, da de er ca. 5 x 1.8 x 12.9 meter, og veier ca. 36 tonn. Vi valgte da denne oppgaven fordi den var mest givende for oss og det var den som omhandlet mye utvikling og beregning av konstruksjoner. Noe som passet utmerket med vår studieretning.

1.2 Problemstilling

Vi skal designe en snumekanisme som skal brukes til vedlikehold av en type støpekasse som Storvik AS innehar. De funksjonene vi ønsker å ta med er løft, og rotasjon. Den skal kunne løfte kassen slik at kassen får god klaring mot bakken og roteres rundt, slik at det kan bli foretatt vedlikehold. Vi regner med at snumekanismen må kunne løfte kassen opp 3 m og roteres 270 grader.

For at vi skal kunne svare grundig på denne problemstillingen må vi opparbeide oss mer kunnskap om styrkeberegning av komponenter og produktutvikling. Dette innebærer å jobbe med Solidworks og beregning av krefter. Dette vil bidra til å løse en meget relevant problemstilling for oss som maskiningeniørstudenter.

1.3 Prosjektbeskrivelse

Storvik AS jobber blant annet med vedlikehold av støpekasser og trengte en anordning for å utføre vedlikehold på de. Dette for å øke effektiviteten på vedlikeholdsarbeidet. Storvik AS ønsker at denne anordningen skal kunne løfte og rotere disse kassene.

Snuing av de største kassene har ikke vært mulig slik det er i dag, mens vedlikehold av mindre kasser har vært mulig ved hjelp av kran. Hvor da kjettinger festes til den ene siden og løfter opp slik at kassen tipper over. Dette medfører store slag idet kassene går over vippepunktet, og dette utgjør da en risiko for både kassene, krana og personell i nærheten.

Vi har derfor fått i oppgave å utvikle en mekanisme som skal løfte kassene opp i været, og rotere de 180 grader, for så å sette den ned igjen. Og i tillegg kunne sette kassene på sidene - 90 grader. Storvik presiserte at første prioritet er selve innretningen som holder kassen, og muliggjør rotasjon. Ikke selve rotasjonsmekanismen, da de har mulighet til å bruke kran for selve roteringen. Første prioritet er derfor innspennings mekanisme, men vil så langt det er mulig også jobbe for å implementere en rotasjonsmekanisme.

1.4 Effektmål

Formålet for gruppen er:

- Opparbeide erfaring med gruppeprosjekter og rapportskrivning
- Å bruke den teorien vi har lært gjennom utdanningen
- Lære mer om styrkeberegning av komponenter og produktutvikling
- Lære mer om bruk av simuleringsprogram (Solidworks)
- Løse et reelt problem som er representativt for en stilling som maskiningeniør

1.5 Resultatmål

Målet for gruppen er:

- Lage et prosjekt som tilfredsstiller de målene gruppen har satt seg
- Få muligheten til å utforme et produkt fra start til vi gir fra oss denne problemstillingen

Underveis i denne oppgaven håper vi å lære mer om en praktisk tilnærming til utformingen av et produkt, samarbeid i gruppe og muligheten til å se et produkt fra start til slutt. Slutten defineres som når vi gir fra oss problemstillingen til Storvik AS, uansett fremgang mot et endelig produkt. Vi har størst fokus på utforming og løsninger og ikke så stort fokus på det endelige produserte produktet.

1.6 Rammer

- Behov for en pc som har god kapasitet for å drive Solidworks, med installert Solidworks programvare, her kan det være nok at vi bruker egne pc-er.
- Vi ser for oss at det kan bli litt reising til Sunndalsøra for å ha møte med bedriften. Noe som vil medføre bruk av egne biler/leiebil eller buss

2. Organisering

Bachelorgruppen består av Bjørnar Bjerkestrand, Trond Wessel Reehorst og Ole Christian Graven Strømsvåg. Veileder fra Storvik AS er Pål Nordvik og veileder fra NTNU er førstelektor Anna Olsen.

Vi kommer til å ha veiledningstime med Anna Olsen annen hver uke frem mot innlevering av Bacheloroppgaven. Ved behov kan det være aktuelt å ha møte oftere.

3. Gjennomføring

3.1 Hovedaktiviteter.

Alle medlemmene i denne gruppa skal være like mye innblandet i hvert punkt, men det kan fordeles enkeltoppgaver fortløpende innenfor de forskjellige temaene.

•Forprosjekt

Vi skal levere forprosjektet innen 15.februar, denne skal beskrive vår fremgangsmåte og mål fremover med bacheloroppgaven. Vi kan da lettere følge med underveis om vi har nådd de forskjellige målene og kriteriene satt.

•Litteratur

Vi har som plan å bruke de to første uke til å finne litteratur og formler vi skal anvende i oppgaven. Generelt skal Standarden NS-EN 1090 brukes og for beregninger skal vi benytte NS-EN 1993

•Lage forskjellige utkast

Har som mål å lage hele mekanismen, men etter ønske fra bedriften så starter vi med innspenningen av kassen, altså gripe mekanismen som skal holde selve kassen før den blir løftet og rotert. Før vi kronologisk beveger oss videre, komponent for komponent. Hvor alle i gruppa skal legge frem sine ideer. Hvert gruppemedlem skal komme med egne utkast, gruppemedlemmene skal ikke fortelle sine ideer til hverandre før man har tegnet/notert ned sitt utkast. Dette er en metodikk vi lærte under forelesning om gruppedynamikk, hvor da andres ideer ikke skal blokkere din tenkemåte.

•Styrkeberegning av utkast

Utføre manuelle styrkeberegninger av de forskjellige komponent sammensetningene. For å finne de løsningene som gir best resultat.

•Simulering av utkastene

Tegne utkastene inn i et simuleringsprogram, for så å simulere de forskjellige utkastene. Får da se hvilket utkast som passer best til de belastningene som vil oppstå under løfting og rotasjon av kassen. Sjekker da også at våre styrkeberegninger stemmer overens med hvilke resultater vi får i simuleringsprogrammet.

•Tegninger av sluttprodukt

Bedriften ønsker at det skal leveres komplette tegninger av de resultatene vi har oppnådd. Dette vil leveres som tegninger fra simuleringsprogrammet.

•Rapportskriving

Rapportskriving gjøres i fellesskap i slutten av prosessen, da vi skriver notater gjennom hele produktutviklingsprosessen. Vil her fordele diverse oppgaver for så å gå over disse sammen i etterkant.

3.2 Milepæler.

Opplisting av kritiske datoer.

- 15.02.19 - Forprosjektet skal leveres
- 01.03.19 - Innsamling av litteratur
- 06.03.19 - Førsteutkast til gripemekanisme
- 10.04.19 - Frist for tittel på oppgaven
- 01.05.19 - Ferdig med beregninger og produktutvikling
- 20.05.19 - Innlevering av Bacheloroppgaven.

4. Oppfølging og kvalitetssikring

4.1 Kvalitetssikring

Hvordan sikre kvaliteten på alle arbeidene

Ved kvalitetssikring av alle arbeidene under denne oppgaven, kommer gruppen til å forsikre seg om at den litteraturen som blir benyttet er pålitelig. Dette ved å være kritisk til hvilken litteratur som blir benyttet og få verifisert denne opp mot veilederne. Gruppen kommer også til å ha møter med begge veilederne for å bekrefte at arbeidet som blir gjort er innenfor de gitte mål og ønsker.

4.2 Rapportering

Til hvem og hvor ofte

Gruppen skal levere inn statusrapport annen hver uke til Anna og vi skal rapportere til veilederen i bedriften når vi har noe av betydning å legge frem. Er da mulig å kjøre til Sunndalsøra for å ha et møte med dem og presentere våre resultater.

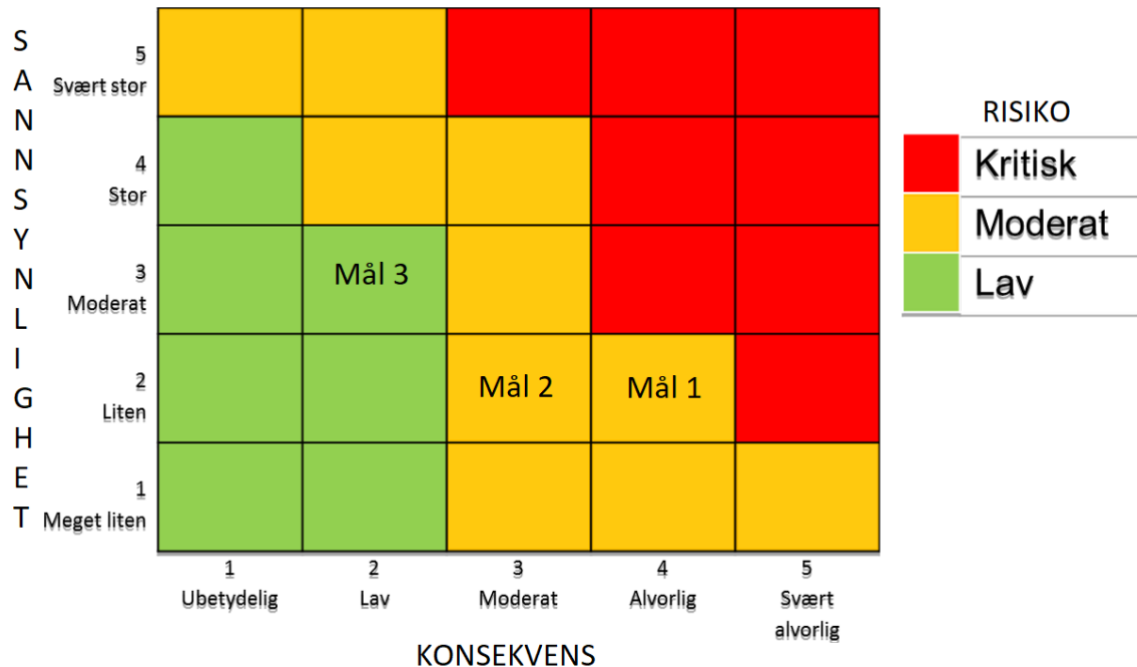
5. Risikovurdering

5.1 Mål

- 1: Gjennomføre milepæler som er obligatorisk for faget, herunder Forprosjekt, dokumentasjon av arbeidsprosessen, innlevering av rapport.
- 2: Gjennomføre oppgaven som planlagt med fastsatte tidsfrister for interne milepæler (se Gantt skjema)
- 3: Gjennomføre oppgaven vi har fått på en særdeles god måte, med et eksemplarisk resultat

5.2 Risikofaktor

- Mål 1: Vurderes til alvorlig konsekvens, liten sannsynlighet, totalt moderat risiko. Dette fordi konsekvensen av å ikke levere i tide for innlevering av rapport tilsier at hele utdannelsen utsettes, oppgaven kan i beste fall gjøres på nytt. Sannsynligheten er lav da vi alle har gått inn for å gjøre en solid innsats her.
- Mål 2: Vurderes til moderat konsekvens, liten sannsynlighet, totalt moderat risiko. Dette fordi konsekvensen av at vi ikke møter interne tidsfrister kan bidra til at hele prosessen tar lengre tid enn antatt, som igjen kan føre til et dårligere resultat, eller at innleveringen av rapport ikke fullføres til fastsatt tid. Sannsynligheten er lav da vi alle har gått inn for å gjøre en solid innsats.
- Mål 3: Vurderes til lav konsekvens, moderat sannsynlighet, totalt lav risiko. Dette fordi konsekvensen av et ikke suverent resultat av oppgaven ikke kan forventes, og er dermed ikke forskjellen på en ansettelse eller ikke ansettelse i etterkant. Moderat sannsynlighet fordi man aldri kan forutse om våre løsninger er de beste, det er en god del usikkerheter forbundet med et slikt prosjekt og produktutvikling.



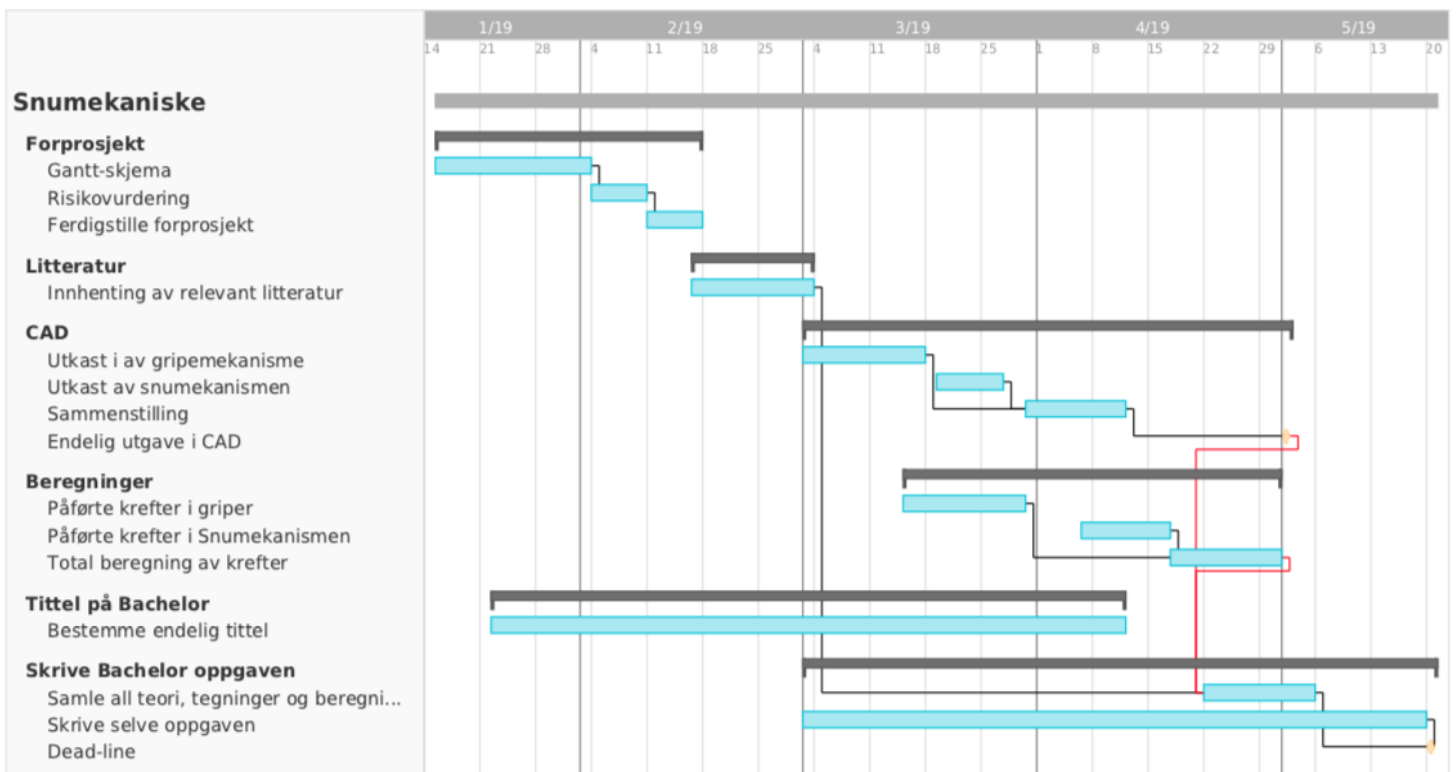
5.3 Tiltak

Tiltakene vi må gjøre for å klare å redusere risikoen er:

- Sørge for å følge opp aktiviteter slik at de gjennomføres innen avtalt tid, da det lett kan oppstå situasjoner hvor det oppstår problemer man ikke var klar over.
- Jobbe sammen for å løse krevende oppgaver
- Evaluere effektiviteten og relevansen av aktivitetene vi gjør fortløpende
- Ved eventuelle konflikter eller uenigheter sørge for en rask løsning, for så heller å ta med uenigheter og potensielle andre løsninger i rapport.

6. Vedlegg

6.1 Tidsplan



6.2 Adresseliste

Ole Christian Graven Strømsvåg
Student
977 27 838
ole.stromsvag@outlook.com
Elvegata 18, 7012, Trondheim

Trond Wessel Reehorst
Student
993 15 574
trondwr0910@gmail.com
Sandgata 2, 7012, Trondheim

Bjørnar Bjerkestrand
Student
940 54 222
bjerkestrand.bjornar@gmail.com
Ingemann Torps vei 15 B, 7040, Trondheim

Anna Olsen
Førstelektor
Institutt for maskinteknikk og produksjon
Fakultet for ingeniørvitenskap
NTNU
NO-7491 Trondheim
Norge
Tel: +47 73412532
Mob: +47 98245032

Pål Nordvik
Senior Mechanical Engineer/M.Sc.
Storvik AS
901 39 250
paal.nordvik@storvik.no
Industrivegen 13, 6600, Sunndalsøra

6.3 Avtaledokument.

Vedlegg 2

Samarbeidsavtale

STANDARDAVTALE

om utføring av bacheloroppgave/prosjektoppgave (oppgave) i samarbeid med bedrift/ekstern virksomhet (bedrift).

Avtalen er ufravikelig for studentoppgaver ved NTNU som utføres i samarbeid med bedrift.

Partene har ansvar for å klarere eventuelle immaterielle rettigheter som tredjeperson (som ikke er part i avtalen) kan ha til prosjektbakgrunn før bruk i forbindelse med utførelse av oppgaven.

Avtale mellom

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| Student: Bjørnar Bjerkstrand | født: 20.06.1991 |
| Student: Ole Christian G. Strømsvåg | født: 28.12.1995 |
| Student: Trond Wessel Reehorst | født: 09.10.1989 |

Veileder ved NTNU: Anna Olsen

Bedrift/ekstern virksomhet: Storvik AS

og

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Institutt for maskinteknikk og produksjon, v/instituttleder

om bruk og utnyttelse av resultater fra bacheloroppgave/prosjektoppgave.

1. Utførelse av oppgave

Studenten skal utføre

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| Bacheloroppgave | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Prosjektoppgave | <input type="checkbox"/> |

(sett kryss)

i samarbeid med

Storvik AS

bedrift/ekstern virksomhet

startdato – sluttdato

Opgavens arbeidstittel er:

Snurmekanisme for SU4-kasse

Ansvarlig veileder ved NTNU har det overordnede faglige ansvaret for utforming og godkjenning av prosjektbeskrivelse og studentens læring.

2. Bedriftens plikter

Bedriften skal stille med en kontaktperson som har nødvendig veiledningskompetanse og gi studenten tilstrekkelig veiledning i samarbeid med veileder ved NTNU. Bedriftens kontaktperson er:

Pål Nordvik

Formålet med oppgaven er studentarbeid. Oppgaven utføres som ledd i studiet, og studenten skal ikke motta lønn eller lignende godtgjørelse fra bedriften. Bedriften skal dekke utgifter knyttet til utførelse av oppgaven:

3. Partenes rettigheter

a) Studenten

Studenten har opphavsrett til oppgaven. Alle immaterielle rettigheter til resultater av oppgaven skapt av studenten alene gjennom oppgavearbeidet, eies av studenten med de reservasjoner som følger av punktene b) og c) nedenfor.

Studenten har rett til å inngå egen avtale med NTNU om publisering av sin oppgave i NTNUs institusjonelle arkiv på internett. Studenten har også rett til å publisere oppgaven eller deler av den i andre sammenhenger dersom det ikke i denne avtalen er avtalt begrensninger i adgangen til å publisere, jf punkt 4.

b) Bedriften

Der oppgaven bygger på, eller videreutvikler materiale og/eller metoder (prosjektbakgrunn) som eies av bedriften, eies prosjektbakgrunnen fortsatt av bedriften. Eventuell utnyttelse av videreutviklingen, som inkluderer prosjektbakgrunnen, forutsetter at det inngås egen avtale om dette mellom student og bedrift.

Bedriften skal ha rett til å benytte resultatene av oppgaven i egen virksomhet dersom utnyttelsen faller innenfor bedriftens virksomhetsområde. Dette skal fortolkes i samsvar med begrepetts innhold i Arbeidstakeroppfinnelsesloven¹ § 4. Retten er ikke-eksklusiv.

Bruk av resultatet av oppgaven utenfor bedriften sitt virksomhetsområde, jfr. avsnittet ovenfor, forutsetter at det inngås egen avtale mellom studenten og bedriften. Avtale mellom bedrift og student om rettigheter til oppgaveresultater som er skapt av studenten, skal inngås skriftlig og er ikke gyldig inngått før NTNU har mottatt skriftlig gjenpart av avtalen.

Dersom verdien av bruken av resultatene av oppgaven er betydelig, dvs. overstiger NOK 100.000 (kommentert i veiledningen² til avtalen), er studenten berettiget til et rimelig vederlag. Arbeidstakeroppfinnelsesloven § 7 gis anvendelse på vederlagsberegningen. Denne vederlagsretten gjelder også for ikke-patenterbare resultater. Fristbestemmelsene i § 7 gis tilsvarende anvendelse.

c) NTNU

De innleverte eksemplarer/filer av oppgaven med vedlegg, som er nødvendig for sensur og arkivering ved NTNU, tilhører NTNU. NTNU får en vederlagsfri bruksrett til resultatene av oppgaven, inkludert vedlegg til denne, og kan benytte dette til undervisnings- og forskningsformål med de eventuelle begrensninger som fremgår i punkt 4.

4. Utsatt offentliggjøring

Hovedregelen er at studentoppgaver skal være offentlige. I særlige tilfeller kan partene bli enig om at hele eller deler av oppgaven skal være undergitt utsatt offentliggjøring i maksimalt 3 år, dvs. ikke tilgjengelig for andre enn student og bedrift i denne perioden.

Opgaven skal være undergitt utsatt offentliggjøring i

| | |
|--------|--|
| ett år | |
| to år | |
| tre år | |

(sett kryss bak antall år hvis dette punktet er aktuelt)

Behovet for utsatt offentliggjøring er begrunnet ut fra følgende:

¹ Lov av 17. april 1970 om retten til oppfinnelser som er gjort av arbeidstakere
<http://www.lovdatab.no/all/hl-19700417-021.html>

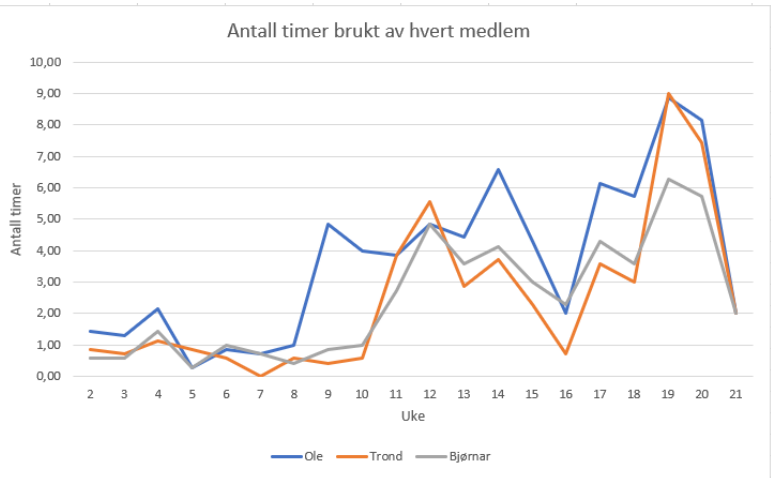
² Veiledning til NTNUs standardavtale om masteroppgave/prosjektoppgave i samarbeid med bedrift
<http://www.ntnu.no/studier/standardavtaler>

Vedlegg 3

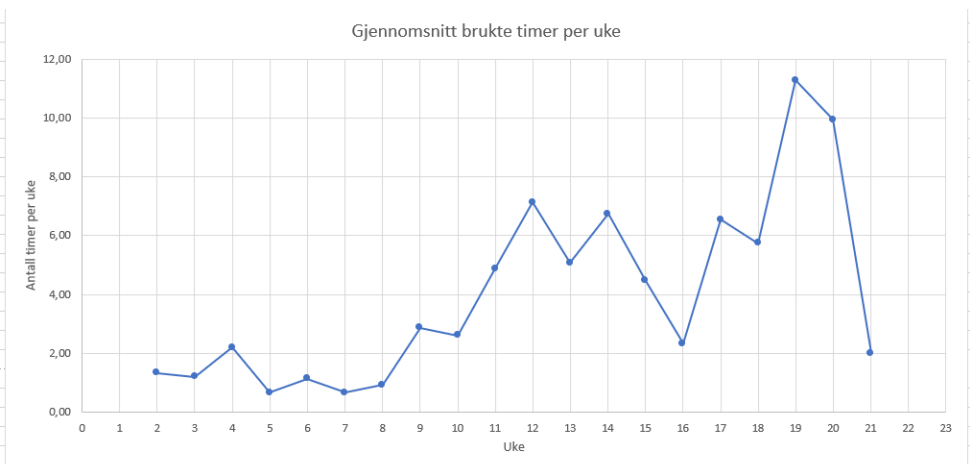
Timeliste

Totalt antall brukte timer: 1199

| Uker | Timer brukt | | |
|------|-------------|-------|---------|
| | Ole | Trond | Bjørnar |
| 2 | 1,43 | 0,86 | 0,57 |
| 3 | 1,29 | 0,71 | 0,57 |
| 4 | 2,14 | 1,14 | 1,43 |
| 5 | 0,29 | 0,86 | 0,29 |
| 6 | 0,86 | 0,57 | 1,00 |
| 7 | 0,71 | 0,00 | 0,71 |
| 8 | 1,00 | 0,57 | 0,43 |
| 9 | 4,86 | 0,43 | 0,86 |
| 10 | 4,00 | 0,57 | 1,00 |
| 11 | 3,86 | 3,86 | 2,71 |
| 12 | 4,86 | 5,57 | 4,86 |
| 13 | 4,43 | 2,86 | 3,57 |
| 14 | 6,57 | 3,71 | 4,14 |
| 15 | 4,29 | 2,29 | 3,00 |
| 16 | 2,00 | 0,71 | 2,29 |
| 17 | 6,14 | 3,57 | 4,29 |
| 18 | 5,71 | 3,00 | 3,57 |
| 19 | 8,86 | 9,00 | 6,29 |
| 20 | 8,14 | 7,43 | 5,71 |
| 21 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |



| Uke | Antall timer |
|-----|--------------|
| 2 | 1,33 |
| 3 | 1,20 |
| 4 | 2,20 |
| 5 | 0,67 |
| 6 | 1,13 |
| 7 | 0,67 |
| 8 | 0,93 |
| 9 | 2,87 |
| 10 | 2,60 |
| 11 | 4,87 |
| 12 | 7,13 |
| 13 | 5,07 |
| 14 | 6,73 |
| 15 | 4,47 |
| 16 | 2,33 |
| 17 | 6,53 |
| 18 | 5,73 |
| 19 | 11,27 |
| 20 | 9,93 |
| 21 | 2,00 |



Vedlegg 4

Plakat

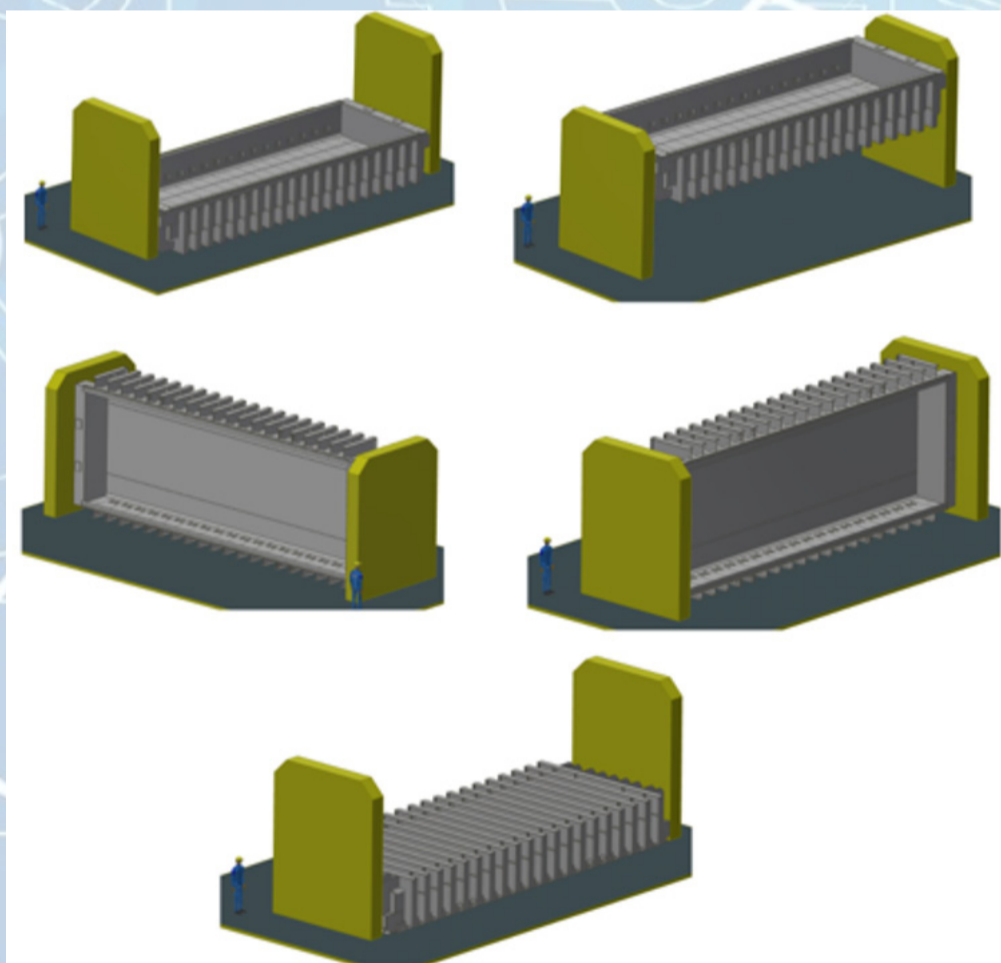
Bacheloroppgave - Snumekanisme

Dette er oss:

Vi er tre ingeniørstudenter som går retningen konstruksjonsteknikk ved NTNU Trondheim.

Først til venstre har vi Bjørnar Bjerkestrand (27) fra Kristiansund, så har vi Trond Reehorst (29) fra Oslo og til slutt har vi Ole Christian Strømsvåg (23) fra Sunndal.

Vår oppgave skrives for Storvik AS, i Sunndal, Møre og Romsdal.



Vår oppgave:

Vi har fått i oppgave å konstruere og utvikle en snumekanisme som kan løfte og rotere store kasser, brukt i aluminiumsproduksjon. Mekanismen vi designer skal kunne løfte kassen, sette den på høykant (begge sider) og i tillegg snu den opp ned.

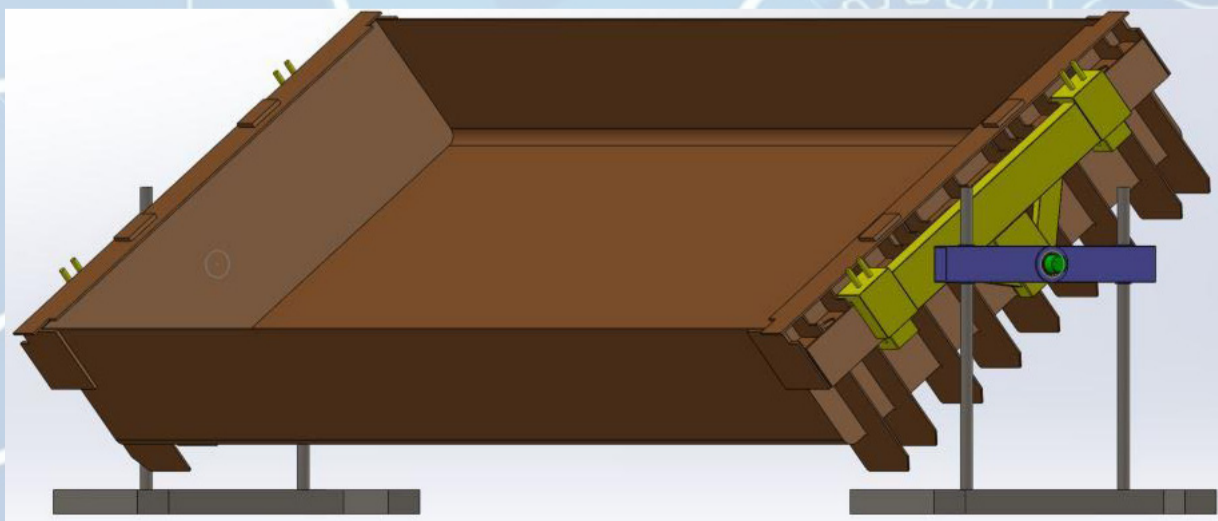
Dette vil forenkle vedlikehold av kassene ved at man kan snu dem opp ned, noe som ikke har vært mulig på noe tidligere tidspunkt.

Utfordringen med oppgaven vil være de store dimensjonene vi skal konstruere for.

Målene til kassen:

Bredde - 5 meter
Høyde - 1,8 meter
Lengde - 13,9 meter

Masse - 36 Tonn



Vedlegg 5

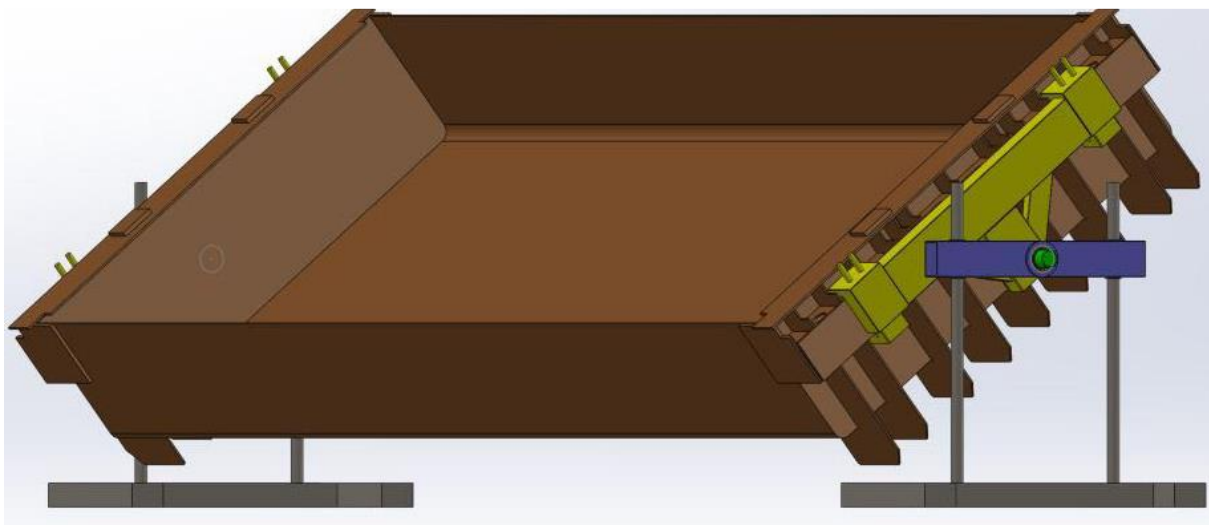
Populærvitenskapelig Artikkel

Hvordan snu en kasse på 36 tonn?

Ole Christian Graven Strømsvåg, Bjørnar Bjerkestrand og Trond Wessel Reehorst - Opprettet 11.05.19

Storvik AS vedlikeholder katodekasser brukt i aluminiumsproduksjon. Disse er utsatt for slitasje og dermed har behov for hyppig vedlikehold. I dag har Storvik AS ingen effektiv metode for å drive vedlikehold på katodekassene. Fremstillingen av aluminium skjer gjennom elektrolyse av mineralet kryolitt.

Oppgaven har vært å utvikle en snu-jigg som kan effektivisere vedlikeholdsarbeidet ved å løfte og rotere katodekassene. Rapporten tar for seg utviklingen og problemer tilknyttet denne.



Figur 1: Snu-jigg montert på katodekassen

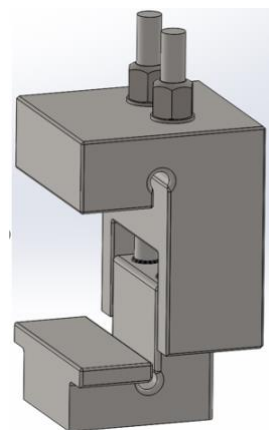
Planlegging, utvikling og gjennomføring

Vi startet ved å isolere utfordringene tilknyttet snu-jiggen og det ble tidlig tydelig at produktutvikling kom til å være den største del av oppgaven. Det var naturlig å starte med design av gripemekanismen først, da denne delen ville stille krav til utformingen av de andre delene av jiggen.

Tydelige vurderingskriterier var avgjørende for å kunne vurdere kvaliteten på utkastene og sikre gode resultater videre i evalueringsprosessen. Noen av kriteriene vi vurderte ut ifra er spenningsverdier, produksjonsvennlighet og design. Med kriteriene som utgangspunkt, laget vi fem utkast til gripemekanismens utforming og videreutviklet de for å designe en god sammenstilling av jiggen.

Denne prosessen for utvikling av et produkt kalles produktutviklingsmetode. Nærmere forklart betyr dette at du har klare retningslinjer for utvikling av et produkt, som er:

1. Etablere behov
2. Planlegge hvordan problemet skal løses



Figur 2: Griper for å holde kassen

3. Være åpen for at et problem kan løses på flere måter
4. Utvikle alternative løsninger
5. Evaluere disse
6. Ta en avgjørelse for hvilken løsning som er best for ditt produkt
7. Formidle resultatet

Det mest tidskrevende i utviklingen var generering av utkast til de forskjellige delene. Utkastene måtte fylle behovet til produktet samtidig oppfylle vurderingskriteriene. Dette måtte gjøres for alle delene i snu-jiggen.

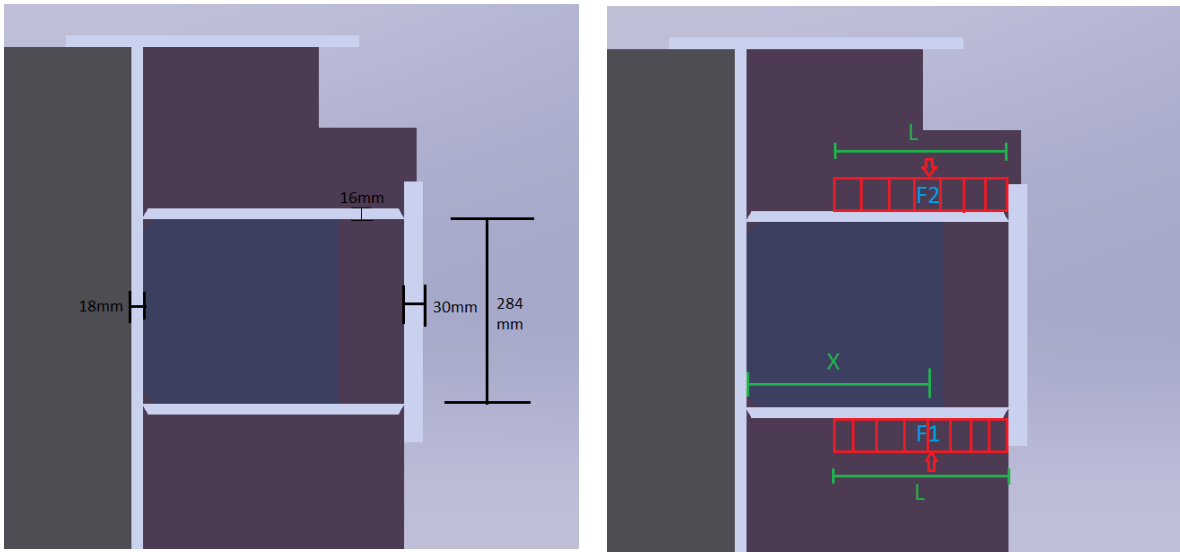
Resultatet fyller, til en viss grad, de kriteriene som ble satt. Vi får gode resultater på de individuelle delene som tåler belastningene fra katodekassen under løft og rotasjon.

Sammenstillingen derimot opplever noen få kritiske spenningskonsentrasjoner, noe som fører til at sammenstillingen totalt sett ikke tilfredsstillende kravene som er satt. Disse spenningene forplanter seg gjennom snu-jiggen på en ugunstig måte og skaper svake punkter. Arbeidet videre blir å optimalisere konstruksjonen slik at den innfrir alle krav. Dette kan gjøres på flere måter, vi har foreslått å se på grenseverdiene satt i simuleringsprogrammet SolidWorks eller endre design på delene. Grenseverdiene forteller simuleringsprogrammet hvilke rammer det skal forholde seg til og dersom disse er satt feil har det stor innvirkning på resultatet. Dette er noe som må vurderes på et senere tidspunkt.

Vedlegg 6

Belastninger på katodekassen

Belastninger på kassen:



$$\text{Vekt kasse: } 1.35 \cdot 36000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 476766 \text{ N}$$

Punktet det gripes om er 382mm bredt, «bjelken» som er oppbygd av sammensveisede plater er 284mm i høyde, godstykkelsen varierer, og er 16, 18 og 30mm tykke (se illustrasjon over).



$$\sigma_B = \frac{\left(f_{\text{forspenning}} + \frac{f_{\text{vekt kasse}}}{4 \text{ løftepunkter}} \right) \cdot x}{W_x}$$

$$= \frac{\left(f_{\text{forspenning}} + \frac{f_{\text{vekt}}}{4} \right) \cdot x}{\frac{B \cdot H^2 - b \cdot h^2}{6}}$$

$$\rightarrow \sigma_b = \frac{\left(119192 \text{ N} + \frac{1.35 \cdot 36000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4 \text{ punkter}} \right) \cdot 292 \text{ mm}}{\frac{(382 \cdot 316)^2 - (350 \cdot 284^2)}{6}} = \frac{69607836 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1652565 \text{ mm}^3}$$

$$= 42.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nedbøyning ved belastning:

$$\text{Nedbøyning: } f = \frac{\frac{F_{\text{kasse}}}{n \text{ løftepunkter}} \cdot x^3}{3 \cdot E \cdot I_x}$$

$$E_{S335J0} = 206 \cdot 10^3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

I Betraktes som hul firkant bjelke:

$$I_x = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12}$$
$$= \frac{(382) \cdot (316)^3 - 350 \cdot 284^3}{12} = 336384256 \text{ mm}^4$$

$$f = \frac{\frac{1.35 \cdot 36000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4} \cdot (292 \text{ mm})^3}{3 \cdot 206000 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 336384256 \text{ mm}^4} = 0.014 \text{ mm}$$

Under maksimal belastning vil bjelken bøye seg 0.014mm.

Vedlegg 7

Tiltrekning av skruer

Tiltrekkingsmoment skruer i gripemekanisme:

Forspenningskraft er 119.2 kN totalt, 60 kN pr skrue (2 skruer)

$$T = F_a \cdot \tan(\epsilon_1 + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2} + \mu' \cdot F_a \cdot \frac{N + d_h}{4}$$

Hvor μ = friksjonskoeffisient mellom mutter og underlag

N = nøkkelvidde

d_h = diameter skruehull

d_m = midlere diameter til skruen

α = stigningsvinkel 30°

$\mu' = 0.35$

$$\tan \epsilon_1 = \frac{\mu}{\sin 30} = \frac{0.35}{\sin 30} = 0.7$$

Data for M48 skrue:

P (gjengestigning) = 5mm

$N = 73.1\text{mm}$

$d_h = 49\text{mm}$

$$d_m = d_2 = d - 0.64953 \cdot P = 48\text{mm} - 0.64953 \cdot 5\text{mm} = 44.752\text{mm}$$

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_m} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{5}{\pi \cdot 44.752}\right) = 2.037^\circ$$

$$T = F_a \cdot \tan(\epsilon_1 + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2} + \mu' \cdot F_a \cdot \frac{N + d_h}{4}$$

$$= 60000\text{N} \cdot \tan(0.7 + 2.037) \cdot \frac{44.752\text{mm}}{2} + 0.35 \cdot 60000\text{N} \cdot \frac{(73.1 + 49)\text{mm}}{4}$$

$$= 64173\text{ Nmm} + 641025\text{ Nmm} = 705198\text{ Nmm} = 705\text{ Nm}$$

Dette gjelder pr skrue, som det er 2 av på hver gripedel.

Vedlegg 8

Forspenning

Forspenning:

Forspenning for å unngå at kassen sklir i 90° posisjon:

$$\begin{aligned} R_{frikisjon} &= \mu \cdot N_{\text{Forspenning totalt}} \text{ (glidfriksjon)} \\ \rightarrow N_{\text{vekt av kasse}} &< \mu \cdot N_{\text{forspenning pr punkt}} \cdot \text{antall punkter} \\ \rightarrow N_{\text{forspenning pr punkt}} &> \frac{N_{\text{vekt}}}{\mu \cdot \text{antall punkter}} \end{aligned}$$

Antar 8 gripepunkter (4 pr arm /side), $\mu = 0.5$ (Standard NS-EN 1090-2:2018)

Antar her at forspenningen fordeler seg jevnt på «fast» og bevegelig del.

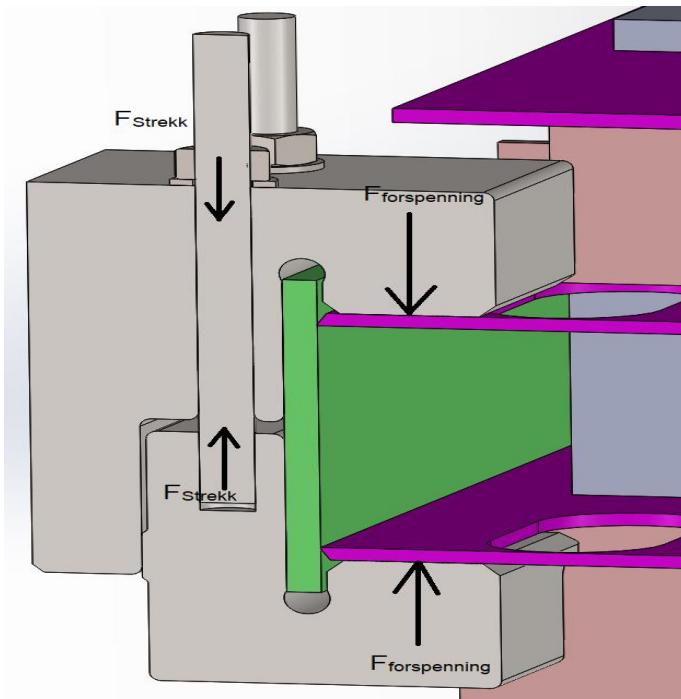
Sikkerhetsfaktor: 1.35 (materialfaktor)

$$N_{\text{forspenning pr punkt}} > \frac{1.35 \cdot 36 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.5 \cdot 8 \text{ punkter}} = \frac{476766 \text{ N}}{0.5 \cdot 8} = 119192 \text{ N}$$

Det er videre informert fra Storvik at fullstendig forspenning for å hindre at kassen sklir ikke er nødvendig. Vi ønsker likevel å ha med denne beregningen videre.

Maksimal belastning vertikalt blir forspenning + vekt av kassen delt på 4 løftepunkter:

$$119192 \text{ N} + \frac{1.35 \cdot 36000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4} = 238283 \text{ N}$$



Krefter som virker på kontaktpunktene i gripemekanismen

$\alpha [0, 180^\circ]$

$F_f [N]:$ 119000
 $M_{\text{kasse}} [kg]$ 48600

$$F_x = F_{\text{forspenning}} + G_x = F_f + \text{ABS}(M/4 * g * \cos \alpha)$$

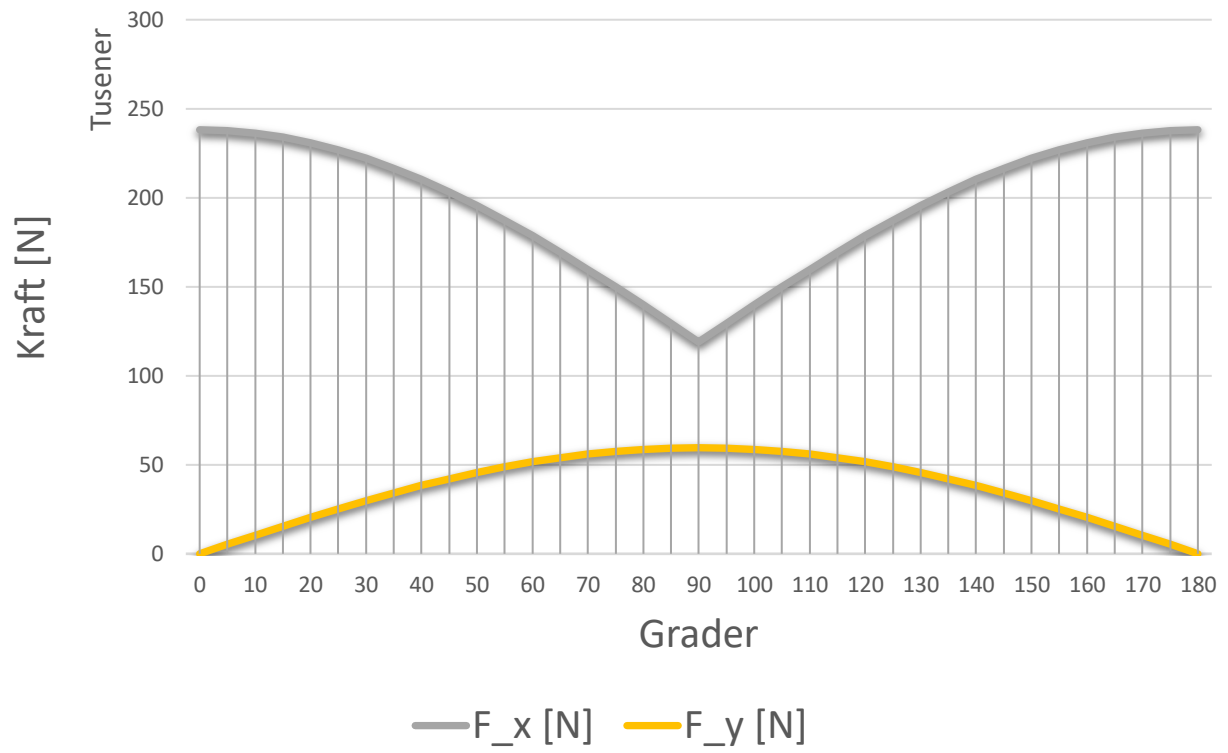
$$F_y = \text{ABS}(F_{\text{forspenning}} + G_y = F_f - M/8 * g * \sin \alpha)$$

Underdelens belastninger blir da følgende:

| α [grader] : | α [rad] : | F_x [N] | F_y [N] |
|---------------------|------------------|-----------|-----------|
| 0 | 0 | 238192 | 0 |
| 5 | 0,087 | 237738 | 5194 |
| 10 | 0,175 | 236381 | 10349 |
| 15 | 0,262 | 234130 | 15425 |
| 20 | 0,349 | 231003 | 20383 |
| 25 | 0,436 | 227024 | 25186 |
| 30 | 0,524 | 222223 | 29798 |
| 35 | 0,611 | 216636 | 34183 |
| 40 | 0,698 | 210306 | 38307 |
| 45 | 0,785 | 203281 | 42141 |
| 50 | 0,873 | 195615 | 45653 |
| 55 | 0,960 | 187365 | 48818 |
| 60 | 1,047 | 178596 | 51611 |
| 65 | 1,134 | 169373 | 54012 |
| 70 | 1,222 | 159766 | 56002 |
| 75 | 1,309 | 149849 | 57565 |
| 80 | 1,396 | 139697 | 58690 |
| 85 | 1,484 | 129388 | 59369 |
| 90 | 1,571 | 119000 | 59596 |
| 95 | 1,658 | 129388 | 59369 |
| 100 | 1,745 | 139697 | 58690 |
| 105 | 1,833 | 149849 | 57565 |
| 110 | 1,920 | 159766 | 56002 |
| 115 | 2,007 | 169373 | 54012 |
| 120 | 2,094 | 178596 | 51611 |
| 125 | 2,182 | 187365 | 48818 |
| 130 | 2,269 | 195615 | 45653 |
| 135 | 2,356 | 203281 | 42141 |
| 140 | 2,443 | 210306 | 38307 |
| 145 | 2,531 | 216636 | 34183 |
| 150 | 2,618 | 222223 | 29798 |
| 155 | 2,705 | 227024 | 25186 |
| 160 | 2,793 | 231003 | 20383 |
| 165 | 2,880 | 234130 | 15425 |
| 170 | 2,967 | 236381 | 10349 |
| 175 | 3,054 | 237738 | 5194 |
| 180 | 3,142 | 238192 | 0 |

Har satt inn ABS() for å ikke få negative svar. Dette for å vise kreftene som virker på den griperen som er nederst hele veien

Underdelens belastninger



Vedlegg 9

Moment for rotasjon av katodekasse

Moment for rotasjon av arm med kasse

Kasse:

$$L = 4976\text{mm}$$

$$V = 4316722372.38 \text{ mm}^3 \text{ (hentet fra solidworks fil)}$$

$$= \frac{4316722372.38 \text{ mm}^3}{1000 \frac{\text{mm}^3}{\text{cm}^3} \cdot 1000 \frac{\text{cm}^3}{\text{dm}^3} \cdot 1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}} \approx 4.3167 \text{ m}^3$$

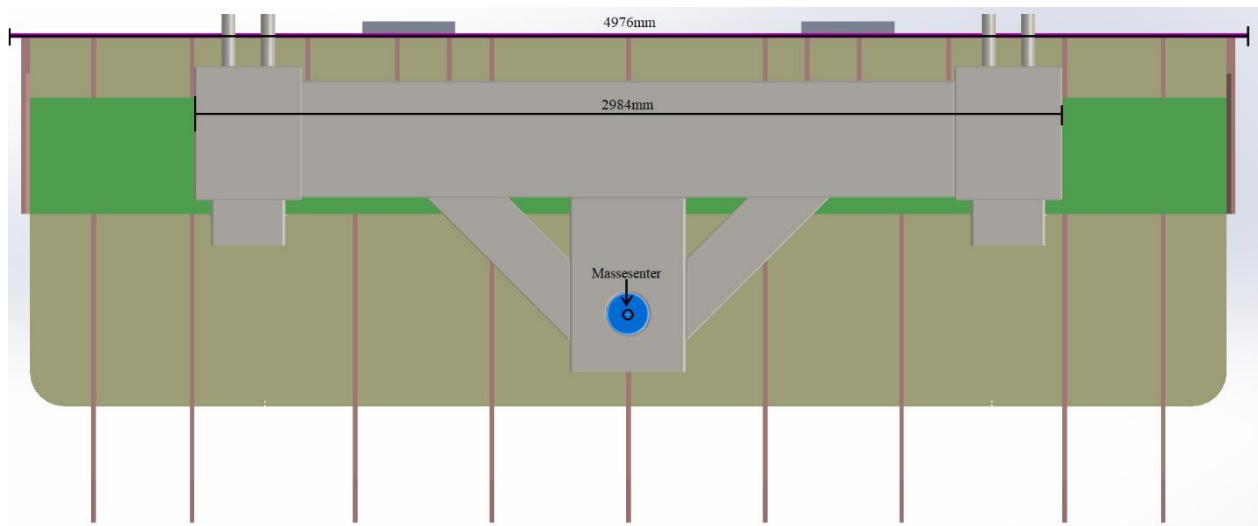
$$\rho_{S355} \approx 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow m_{\text{kasse}} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4.3167 \text{ m}^3 \approx 33670 \text{ kg}$$

Vi benytter likevel $m = 36000\text{kg}$

Arm:

$$L = 2984\text{mm}$$

$$m = 1487\text{kg}$$



$$I = \frac{1}{12} m \cdot (H^2 + L^2) + m \cdot d^2 = \frac{1}{12} (36000 + 1487)\text{kg} \cdot ((4.976\text{m})^2 + (1.8\text{m})^2) + (36000 + 1467)\text{kg} \cdot (0.679\text{m})^2 = 87472 + 17274 = 104746\text{kgm}^2$$

Setter som utgangspunkt at kassen skal roteres 180° på 60 sekunder.

$$\theta = 180^\circ = \pi \text{ radianer}, t = 60\text{s} \rightarrow \bar{\omega} = \frac{\pi - 0}{60 - 0} = \frac{\pi}{60} [\text{s}^{-1}]$$

Den kinetiske energien i rotasjonen er:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 104746 \text{ kgm}^2 \cdot \left(\frac{\pi}{60}\right)^2 = 144 \text{ J}$$
$$E_k = W = M \cdot \theta \rightarrow M = \frac{K_{rot}}{\theta} = \frac{144 \text{ J}}{\pi} = 46 \text{ Nm}$$

Antar at vi bommer på massesenter med armens aksling med 50mm:

$$I_{50mm \text{ bom}} = \frac{1}{12} m \cdot (H^2 + L^2) + m \cdot (d + 0.05)^2 = 107384 \text{ kgm}^2$$
$$M_{maks} = \frac{\frac{1}{2} I \omega^2}{\theta} = \frac{107384 \cdot \left(\frac{\pi}{60}\right)^2}{2\pi} = 47 \text{ Nm}$$

Ved bom på 100mm:

$$I_{100mm \text{ bom}} = \frac{1}{12} (36000 + 1467) \text{ kg} \cdot ((4.976 \text{ m})^2 + (1.8 \text{ m})^2) + (36000 + 1467) \text{ kg} \cdot (0.679 \text{ m} + 0.1 \text{ m})^2 = 110209 \text{ kgm}^2$$
$$M_{maks} = \frac{\frac{1}{2} \cdot I \omega^2}{\theta} = \frac{110209 \cdot \left(\frac{\pi}{60}\right)^2}{2\pi} = 48 \text{ Nm}$$

Ved bom på 200mm:

$$I_{200mm \text{ bom}} = \frac{1}{12} \cdot (36000 + 1467) \text{ kg} \cdot (4.976^2 + 1.8^2) \text{ m}^2 + (36000 + 1467) \text{ kg} \cdot (0.679 \text{ m} + 0.2 \text{ m})^2 = 116421 \text{ kgm}^2$$
$$M_{maks} = \frac{116421 \cdot \left(\frac{\pi}{60}\right)^2}{2\pi} = 51 \text{ Nm}$$

Da det maksimale momentet ved en betydelig bom på massesenteret er 51 Nm, og det ikke er noe problem å finne en hydraulisk motor som yter dette dreiemomentet, er det ikke behov for noen giring eller utveksling. Akslingen som er innfestet i rotasjonsarmen, er 150mm, noe som er betydelig større enn de ≈ 19 mm på funnet motor. En eventuell utveksling vil derimot sørge for at rotasjonen går saktere, noe som er en god fordel, da en hydraulisk motor stort sett er konstruert for å rotere raskt.

Effekt som skal til for å utføre dette:

$$P = M \cdot \omega = 51 \text{ Nm} \cdot \frac{\pi}{60} \text{ s}^{-1} = 2.7 \text{ W}$$

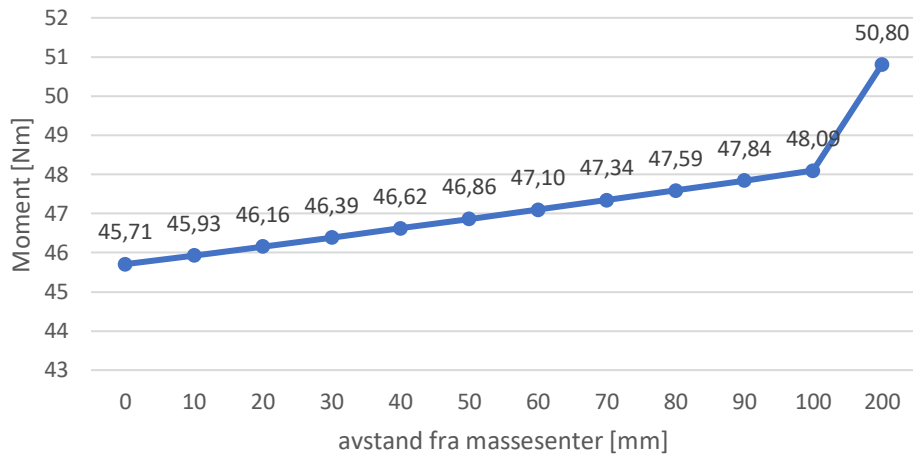
Data

| | | |
|---|-------------------------------|----------------------|
| ρ_{S355} | 7800,00 kg/m ³ | |
| Volum (fra Solidworks) | 4316722372,38 mm ³ | 4,317 m ³ |
| Masse (runder opp) | 33670,43 kg | 36000 kg |
| L_arm | 2984,00 mm | |
| m_arm | 1487,00 kg | |
| H_kasse | 4,98 m ² | |
| L_kasse | 1,80 m ² | |
| d_avstand rotasjonspunkt til midt av kassen | 0,00 mm | (som utgangspunkt) |
| I | 104754,51 [kgm ²] | |
| K_rotasjon | 143,60 J | |
| K_moment | 45,71 Nm | |
| d_drivende: | 50 mm | |
| Med giring | ω (rot. Hastighet) | pi/60 |
| Moment_drivende | 130 Nm | Eksempel på motor |

| K_moment [Nm] | Avvik fra senter [mm] | I_for avvik fra senter [kg*m ²] |
|---------------|-----------------------|---|
| 45,71 | 0 | 104754,5 |
| 45,93 | 10 | 105267,3 |
| 46,16 | 20 | 105787,7 |
| 46,39 | 30 | 106315,5 |
| 46,62 | 40 | 106850,8 |
| 46,86 | 50 | 107393,6 |
| 47,10 | 60 | 107943,9 |
| 47,34 | 70 | 108501,7 |
| 47,59 | 80 | 109067,0 |
| 47,84 | 90 | 109639,8 |
| 48,09 | 100 | 110220,1 |
| 50,80 | 200 | 116435,5 |

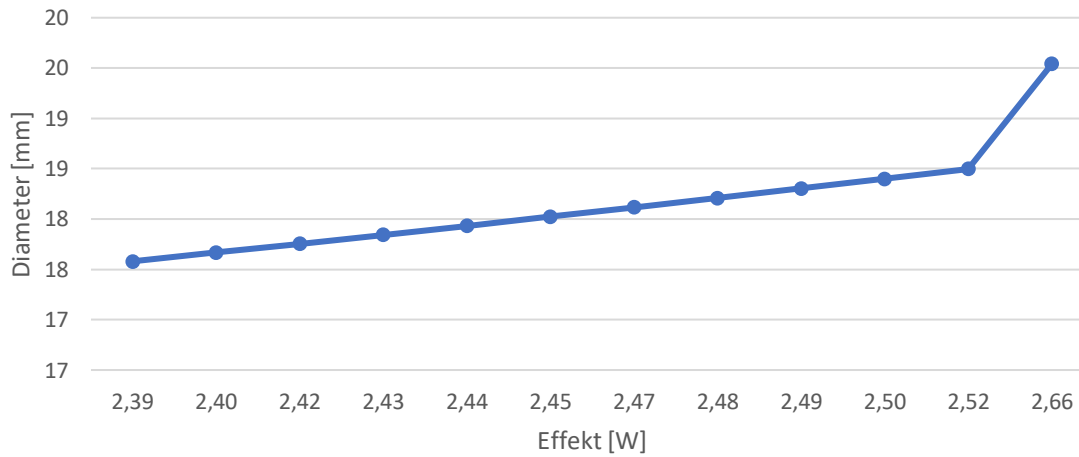
| K_rotasjon [J] | Utvexling | Effekt [W] | D_drevet [mm] |
|----------------|-----------|------------|---------------|
| 143,60 | 0,35 | 2,39 | 17,58 |
| 144,30 | 0,35 | 2,40 | 17,67 |
| 145,01 | 0,36 | 2,42 | 17,75 |
| 145,73 | 0,36 | 2,43 | 17,84 |
| 146,47 | 0,36 | 2,44 | 17,93 |
| 147,21 | 0,36 | 2,45 | 18,02 |
| 147,97 | 0,36 | 2,47 | 18,12 |
| 148,73 | 0,36 | 2,48 | 18,21 |
| 149,51 | 0,37 | 2,49 | 18,30 |
| 150,29 | 0,37 | 2,50 | 18,40 |
| 151,09 | 0,37 | 2,52 | 18,50 |
| 159,61 | 0,39 | 2,66 | 19,54 |

Moment som oppstår med avvik fra massesenter



Ser at det er et lineært forhold mellom disse grafene.

Diameter for drevet tannhjul



Vedlegg 10

Moment og skjærkraft

Skjærkraft og moment påført aksling fra arm:

$$R_1 = F_{griper} - \frac{F_{vekt\ kasse}}{2} \cdot x/100$$

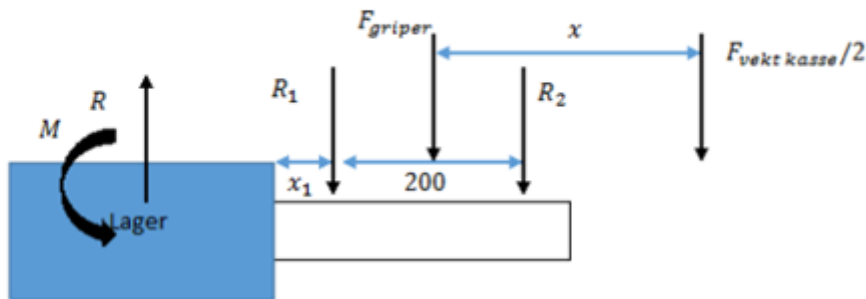
$$R_2 = F_{griper} + \frac{F_{vekt\ kasse}}{2} \cdot x/100$$

Reaksjoner i lageret blir da:

$$R = R_1 + R_2$$

$$M = R_1 x_1 + R_2 (200 + x_1)$$

Da dimensjonerer dere aksling mot bøyespenninger fra M og viser at kapasiteten mot skjærspenninger fra F holder også.



$$R_1(\text{venstre del av } F_{fordelt\ kraft}) = F_{griper} - \frac{F_{vekt\ av\ kasse}}{2} \cdot \frac{x}{100}$$

$$= \frac{1.35 \cdot 1400\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} - \frac{1.35 \cdot 36000\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot \frac{203}{100} = -474647\text{ N}$$

$$R_2(\text{høyre del av } F_{fordelt\ kraft}) = F_{griper} + \frac{F_{vekt\ krasse}}{2} \cdot \frac{203}{100}$$

$$= \frac{1.35 \cdot 1400\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} + \frac{1.35 \cdot 36000\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot \frac{203\text{mm}}{100\text{mm}} = 493188\text{ N}$$

$$M_{lager} = R_1 \cdot x_1 + R_2 \cdot (200 + x_1)$$

Antar $x_1 = 20\text{mm}$, $\sigma_{\max} = 355\text{ N/mm}^2$

$$M = -474647\text{N} \cdot 20\text{mm} + 493188\text{N} \cdot (200 + 20)\text{mm} = 99008407\text{ Nmm}$$

$$\sigma_{Max} = \frac{M}{W_x} = \frac{M}{\frac{\pi}{32} \cdot D_{aksling}^3} \rightarrow D_{aksling}^3 = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \sigma_{Max}}$$

$$\rightarrow D_{aksling} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 99008407 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 141.7 \text{ mm}$$

Ved $X_1 = 50\text{mm}$:

$$M = -530819 \cdot 50\text{mm} + 537686 \cdot (200 + 50)\text{mm} = 99564635 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{Max} = \frac{M}{W_x} = \frac{M}{\frac{\pi}{32} \cdot D_{aksling}^3} \rightarrow D^3 = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \sigma_{Max}}$$

$$\rightarrow D_{aksling} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 99564635 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 141.9 \text{ mm}$$

$$\tau_{skjær} = 0.6 \cdot \sigma_{Max} = \frac{F}{A} = \frac{R_2}{\frac{\pi}{4} \cdot D_{aksling}^2} = \frac{4 \cdot 493188}{\pi \cdot (150\text{mm})^2} = 27.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \tau_{skjær}$$

$$\rightarrow \frac{\sigma_{Max} \cdot 0.6}{\tau_{skjær}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 0.6}{27.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \approx 7.63 \rightarrow \text{OK!}$$

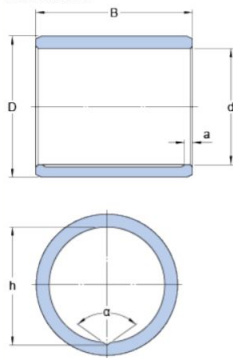
Da 141mm aksling ikke er noen standard dimensjon, går vi for $D_{aksling} = 150\text{mm}$, og er dermed godt innenfor kravene med en sikkerhetsfaktor på 1.35

Vedlegg 11

Glidelager

PBM 150170100 M1G1

Dimensions



| | | |
|----------|-----|----|
| d | 150 | mm |
| D | 170 | mm |
| B | 100 | mm |
| a | 5 | mm |
| h | 152 | mm |
| α | 124 | ° |

Recommended fits

| | |
|-------------------|----|
| Tolerance shaft | e7 |
| Tolerance housing | H7 |

Calculation data

| | | | |
|------------------------------|-------|------|-------------------|
| Specific dynamic load factor | K | 25 | N/mm ² |
| Specific static load factor | K_0 | 45 | N/mm ² |
| Permissible sliding velocity | v | min. | 0 m/s |
| Permissible sliding velocity | v | max. | 0.5 m/s |
| Coefficient of friction | μ | min. | 0.08 |
| Coefficient of friction | μ | max. | 0.15 |

Mass

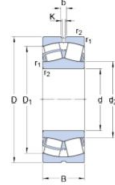
| | | |
|--------------|-----|----|
| Mass bushing | 4.4 | kg |
|--------------|-----|----|

Vedlegg 12

Sfæriske lager

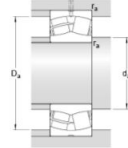
24030 CC/W33
 Popular item
 SKF Explorer

Dimensions



| | | |
|------------------|----------|----|
| d | 150 | mm |
| D | 225 | mm |
| B | 75 | mm |
| d ₂ | ≈ 165 | mm |
| D ₁ | ≈ 197 | mm |
| b | 6 | mm |
| K | 3 | mm |
| r _{1,2} | min. 2.1 | mm |

Abutment dimensions



| | | |
|----------------|----------|----|
| d _a | min. 161 | mm |
| D _a | max. 214 | mm |
| r _a | max. 2 | mm |

Calculation data

| | | | |
|---------------------------|----------------|------|-------|
| Basic dynamic load rating | C | 680 | kN |
| Basic static load rating | C ₀ | 1040 | kN |
| Fatigue load limit | P _u | 100 | kN |
| Reference speed | | 1800 | r/min |
| Limiting speed | | 2600 | r/min |
| Calculation factor | e | 0.3 | |
| Calculation factor | Y ₁ | 2.3 | |
| Calculation factor | Y ₂ | 3.4 | |
| Calculation factor | Y ₀ | 2.2 | |

Mass

| | | |
|--------------|------|----|
| Mass bearing | 10.5 | kg |
|--------------|------|----|

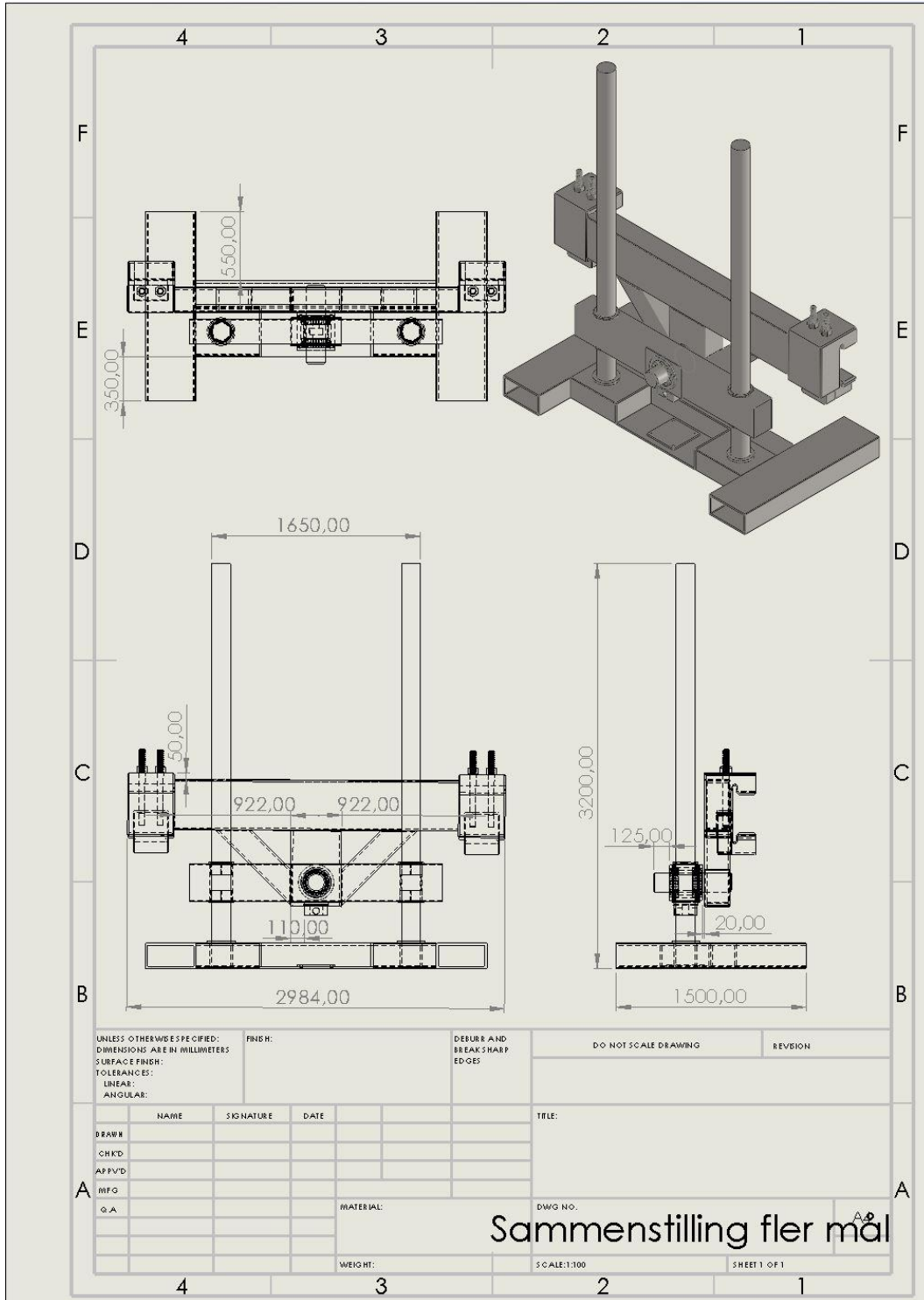
Vedlegg 13

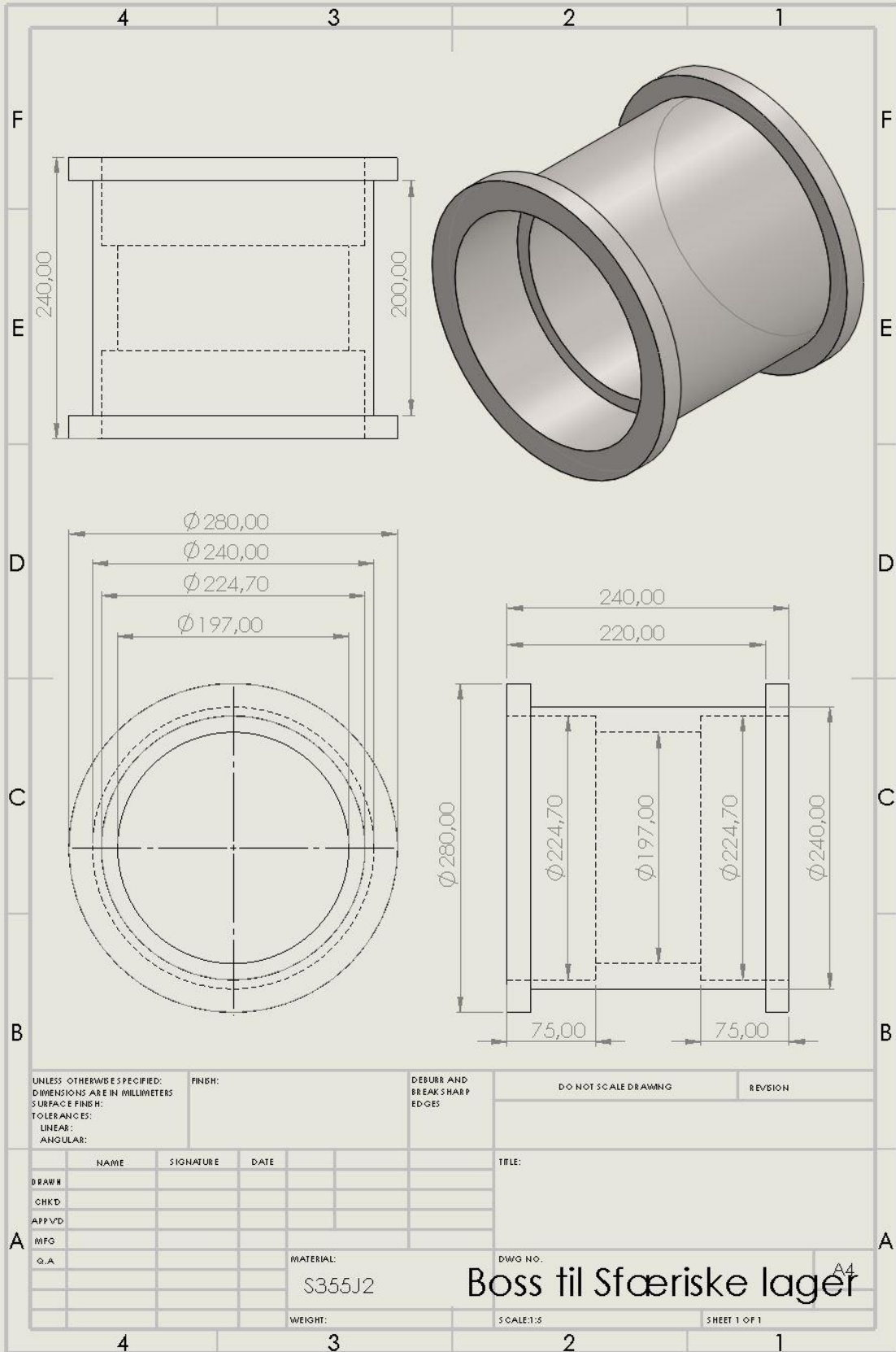
Arbeidstegninger Rev 1

Komplette arbeidstegninger

Vedlagt her finner man arbeidstegningene av alle komponentene som har blitt designet under denne prosjektperioden. Det vil være komplette sammenstillingstegninger og tegninger som er målsatt av enkeltkomponentene.

Sammenstillingstegning:





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

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE | | |
|-------|------|-----------|------|--|--|
| DRAWN | | | | | |
| CHKD | | | | | |
| APPVD | | | | | |
| MFG | | | | | |
| Q.A | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

TITLE:

MATERIAL:
S355J2

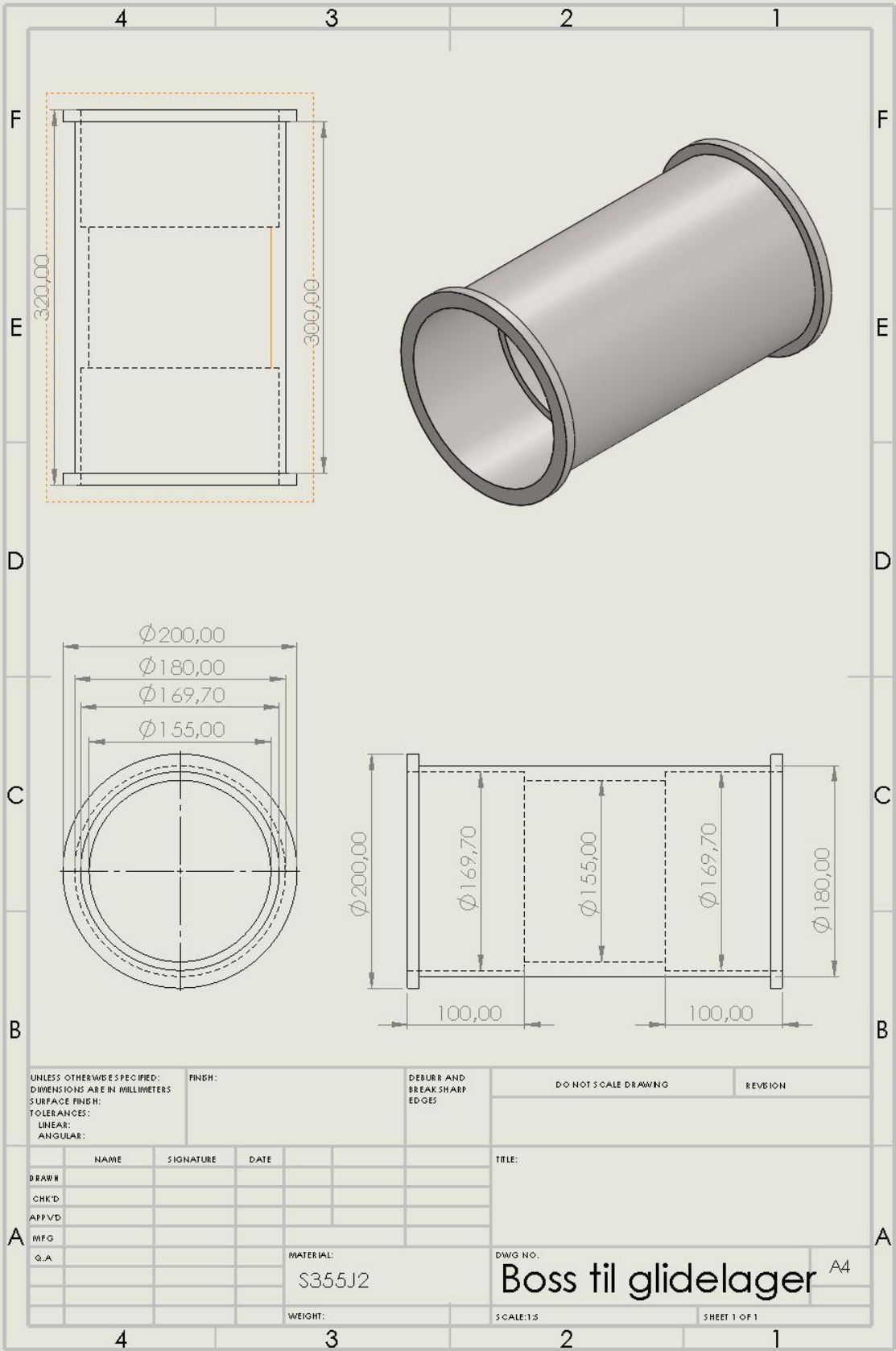
DWG NO.:

Boss til Sfæriske lager ^{A4}

WEIGHT:

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

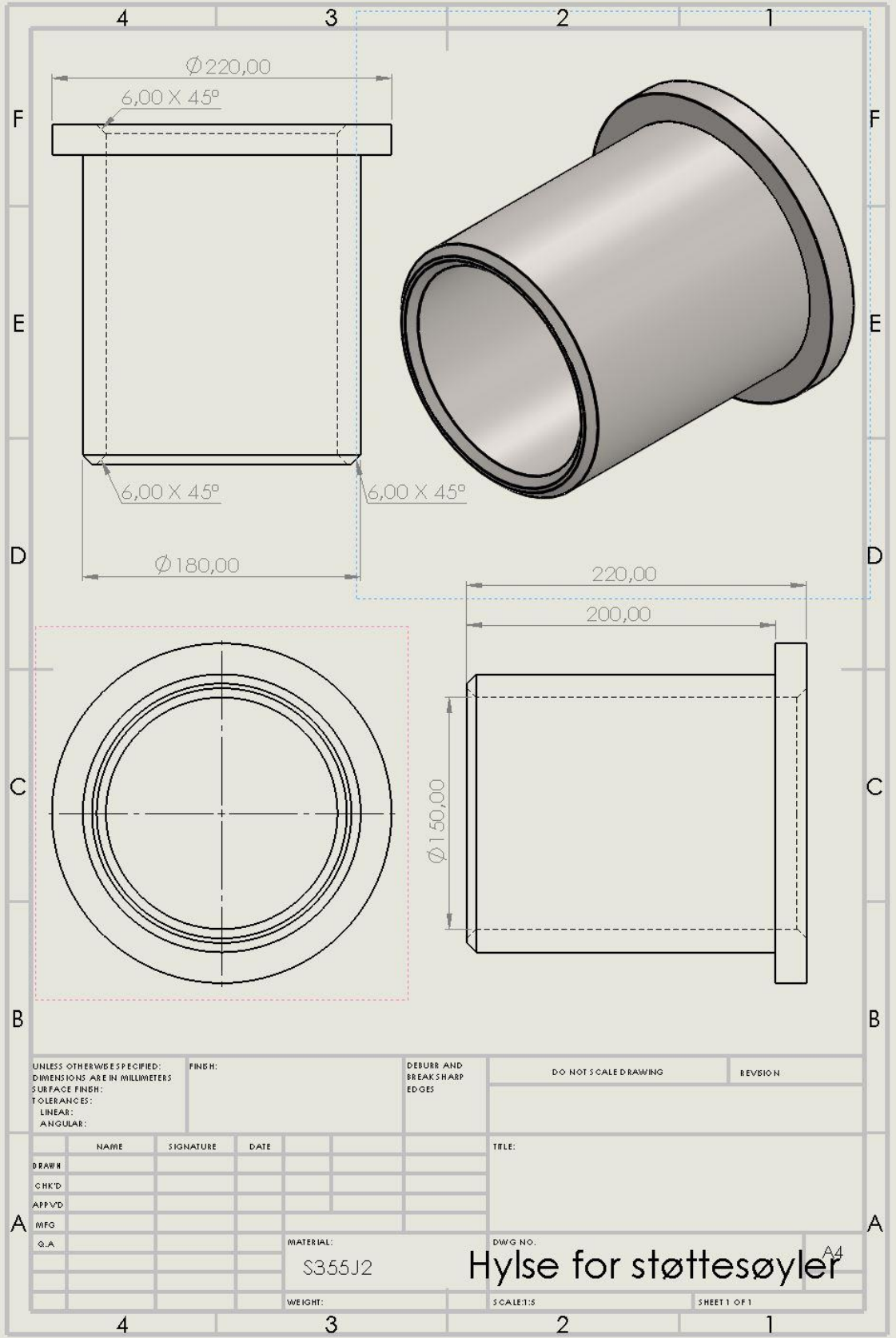
| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAW | | | |
| CHK'D | | | |
| APP'VD | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

TITLE:
Boss til glidelager A4

DWG NO.:
 SCALE: 1:5
 SHEET 1 OF 1

MATERIAL:
S355J2

WEIGHT:



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

FINISH:

REMOVE AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APP'VD | | | |
| MFG | | | |
| Q.A. | | | |

TITLE:

MATERIAL:
 S355J2

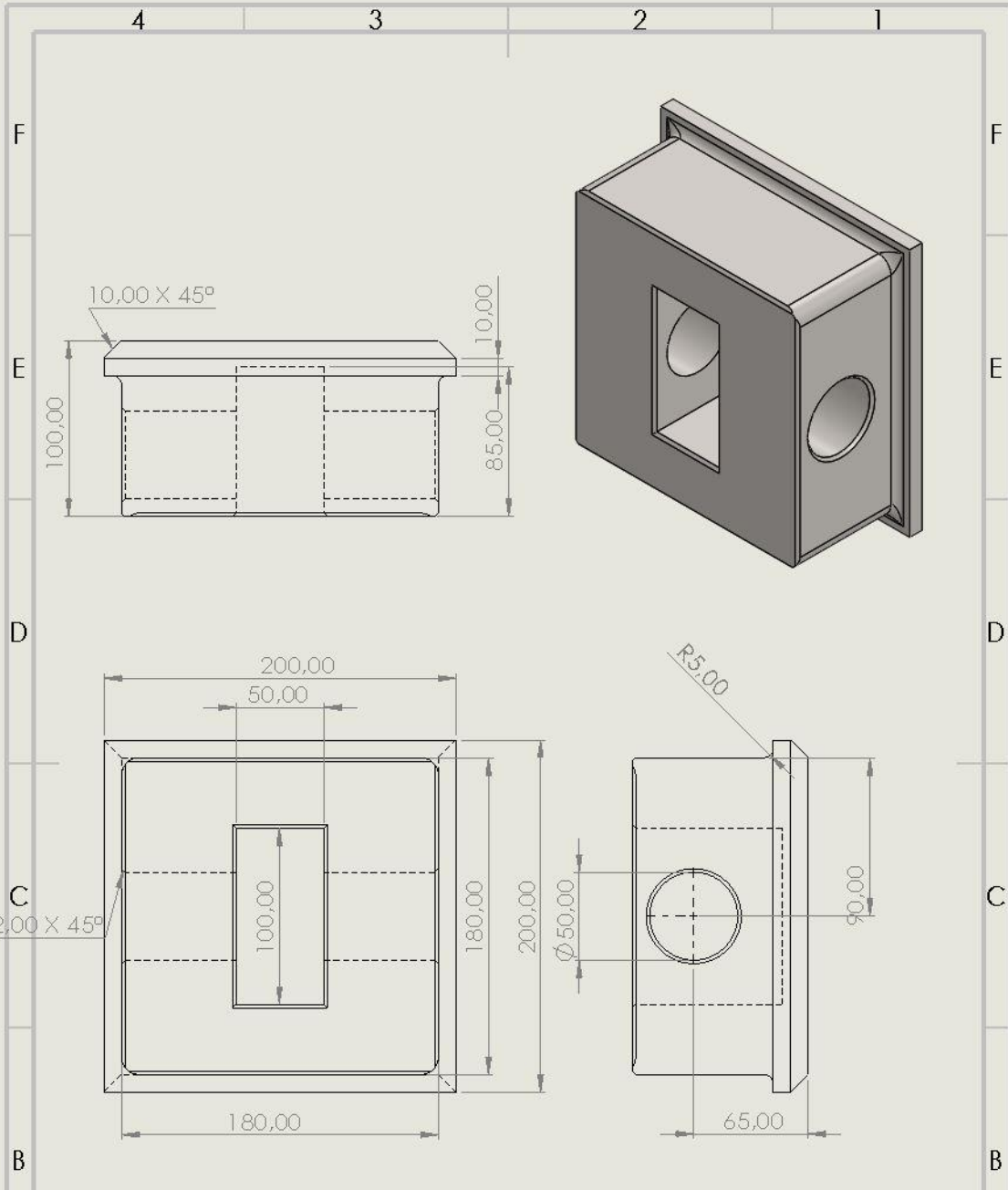
DWG NO.

Hylse for støttesøyle^{A4}

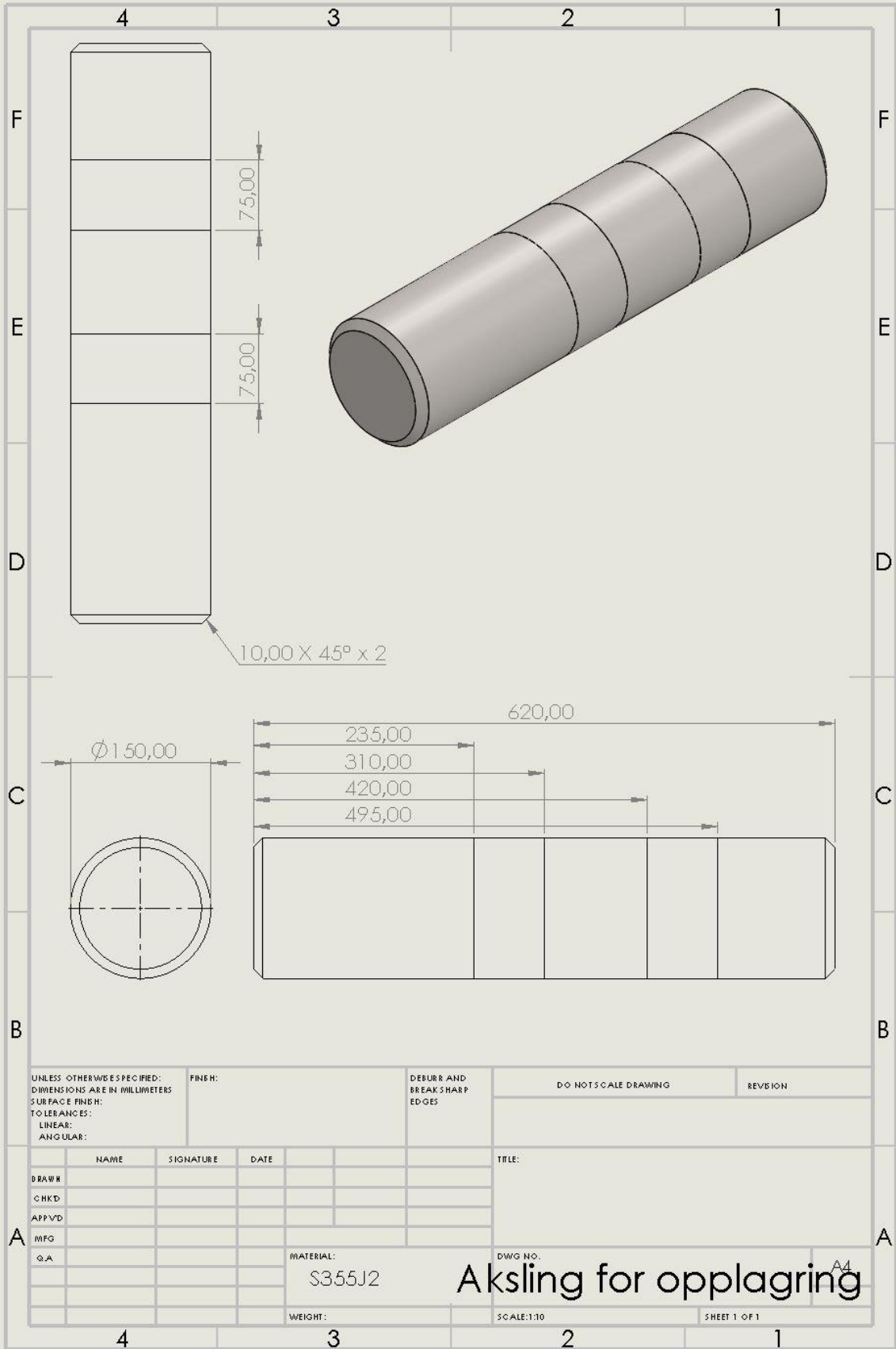
WEIGHT:

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1



| | | | | | | | | | |
|--|--|-------------|--|------------------------------|--|----------------------|--|--------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | | DO NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| SURFACE FINISH: | | TOLERANCES: | | LINEAR: | | ANGULAR: | | | |
| DRAWN | | NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE: | |
| CHKD | | | | | | | | | |
| APP'D | | | | | | | | | |
| MFG | | | | | | | | | |
| Q.A | | | | | | | | | |
| | | | | MATERIAL: | | DWG NO. | | A4 | |
| | | | | S355J2 | | Sylindrefeste | | | |
| | | | | WEIGHT: | | SCALE:1:1 | | SHEET 1 OF 1 | |



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TO LEAN: ANGLES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHKD | | | |
| APP'VD | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

TITLE:

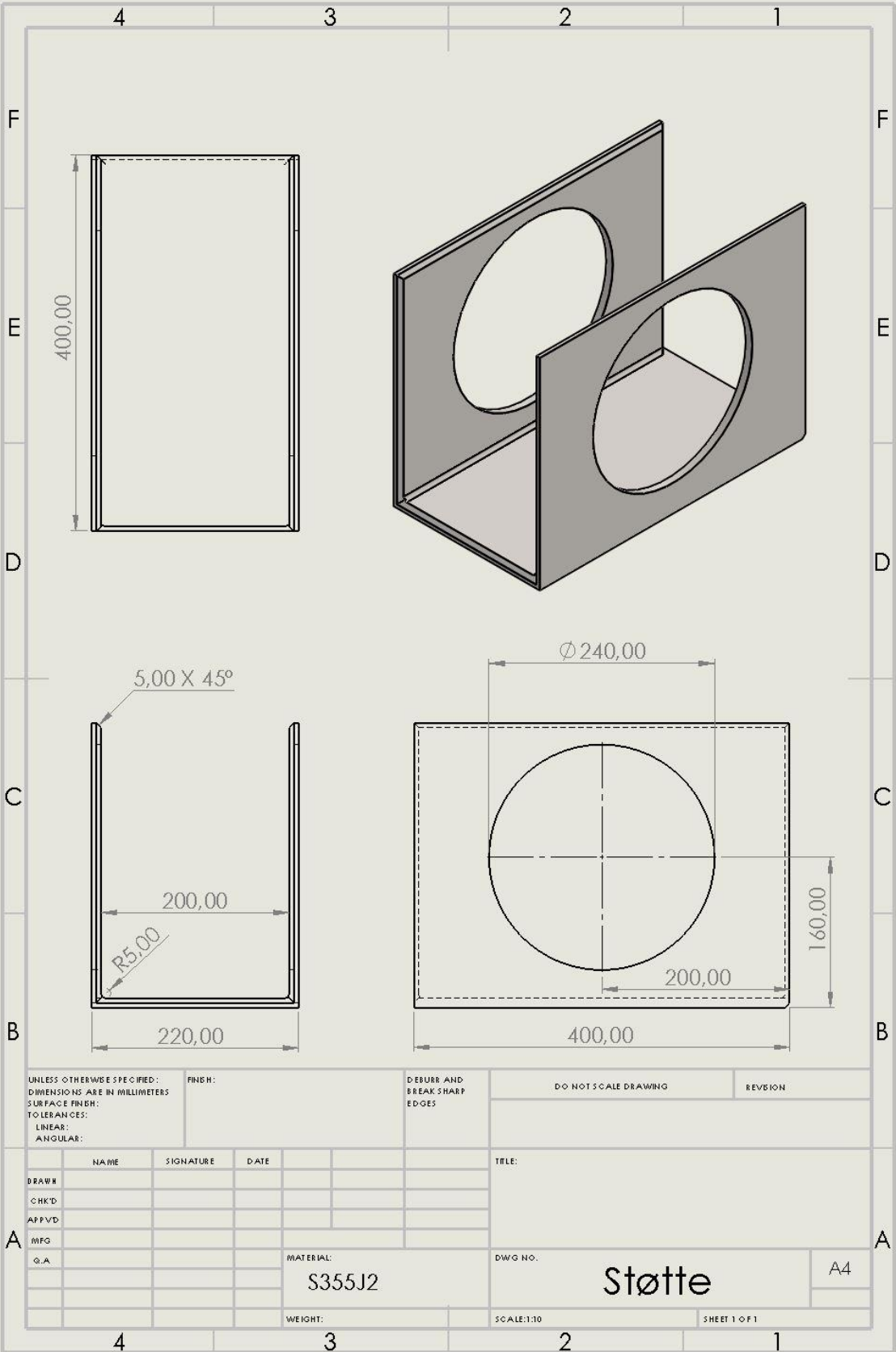
MATERIAL:
 S355J2

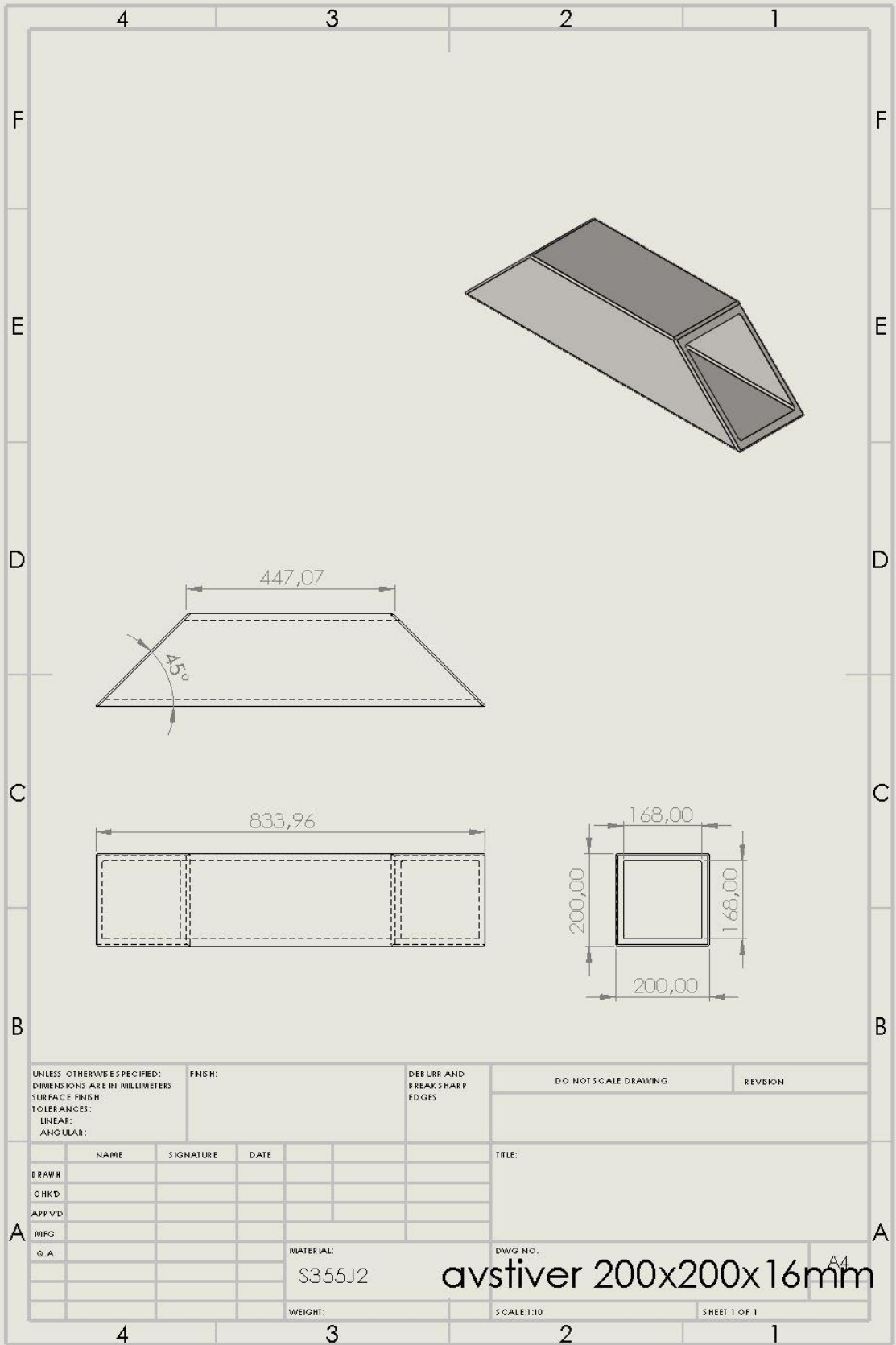
DWG NO.
Aksling for opplagring A4

WEIGHT:

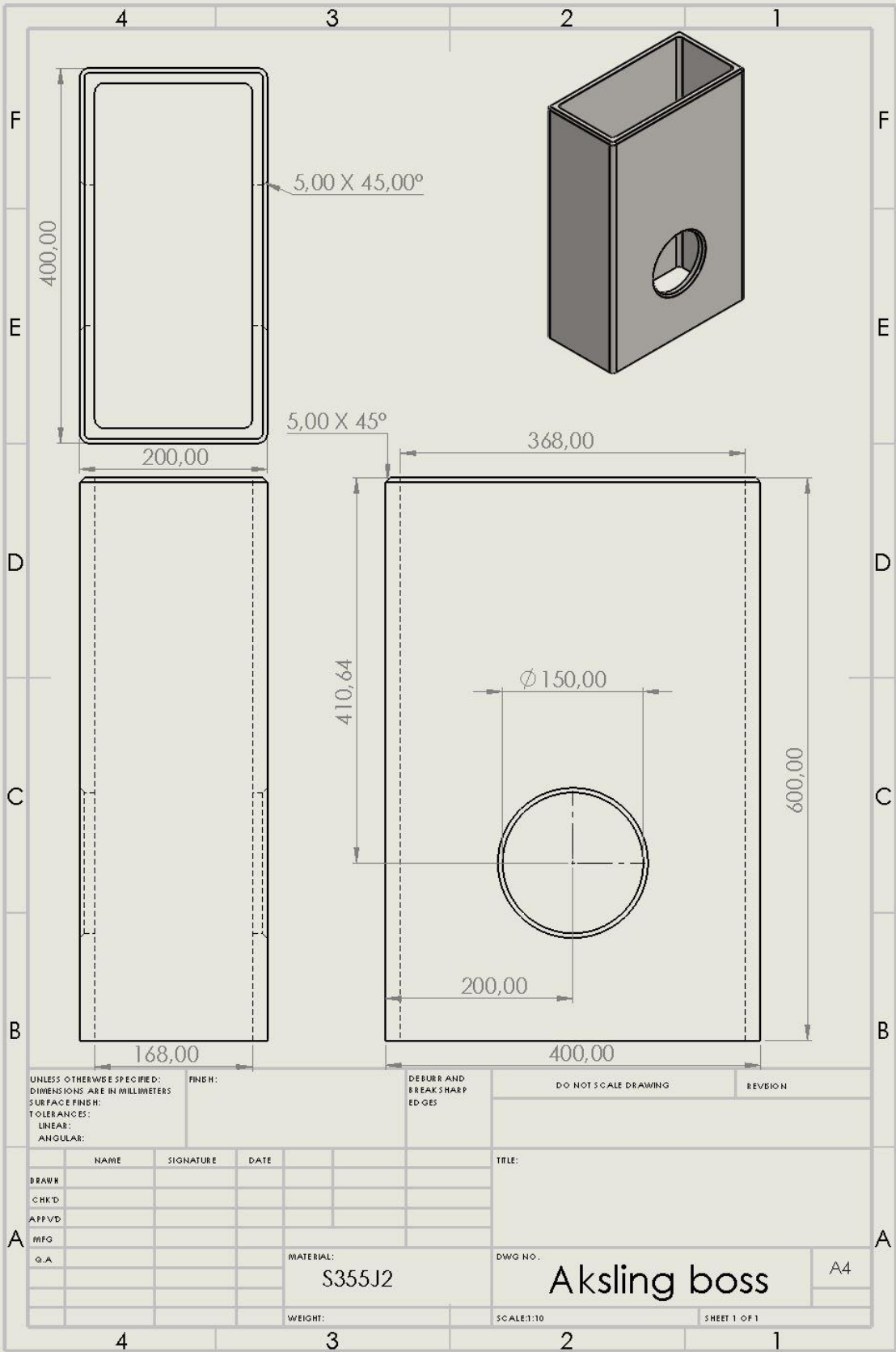
SCALE: 1:10

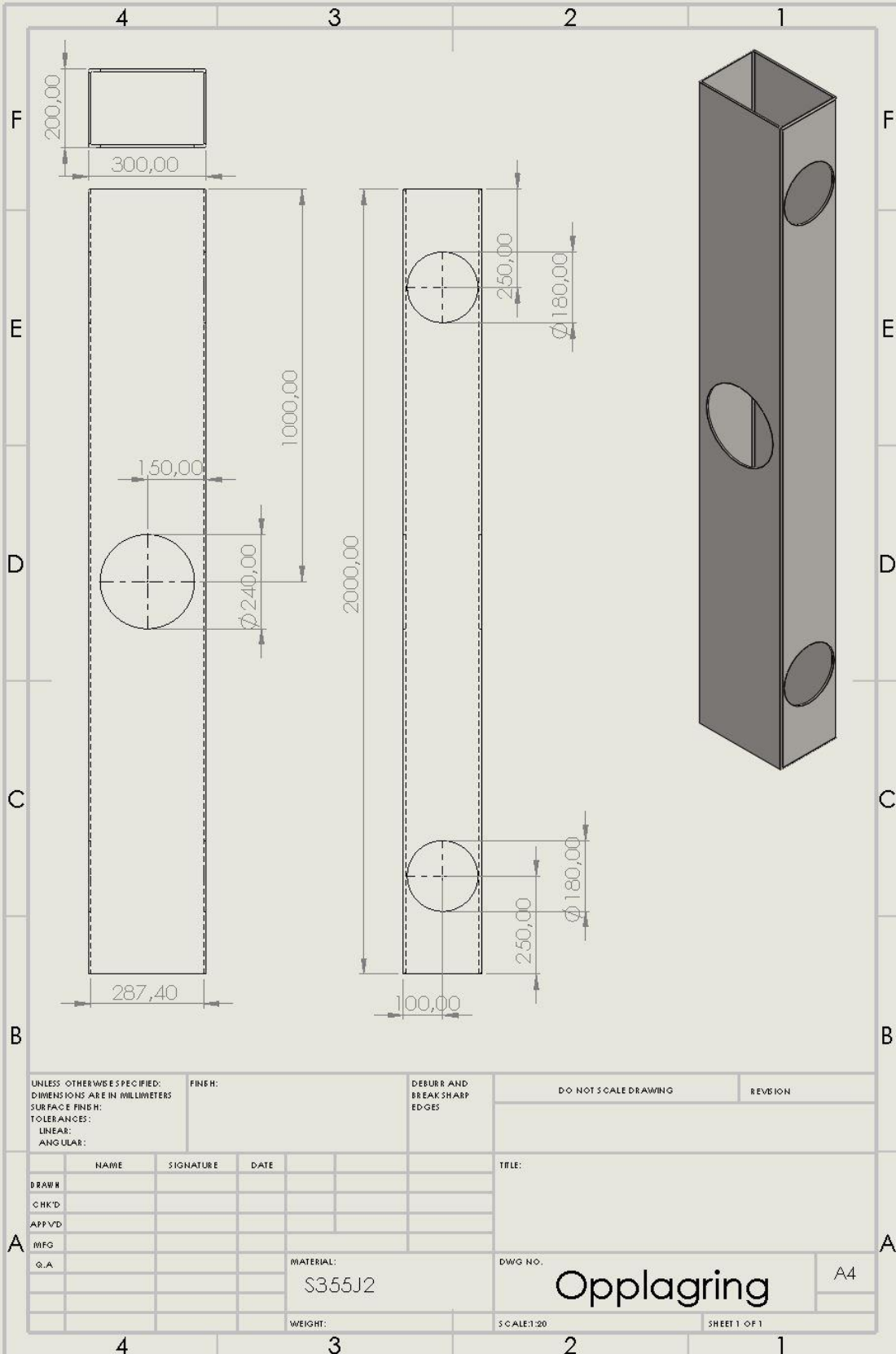
SHEET 1 OF 1





| | | | | | | | | | |
|--|------|-----------|------|------------------------------------|--|-----------------------|--|--------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | | DO NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| TOLERANCES: | | | | | | | | | |
| LINEAR: | | | | | | | | | |
| ANGULAR: | | | | | | | | | |
| | NAME | SIGNATURE | DATE | | | TITLE: | | | |
| DRAWN | | | | | | | | | |
| CHKD | | | | | | | | | |
| APPVD | | | | | | | | | |
| MFG | | | | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | | | | |
| | | | | MATERIAL: | | DWG NO.: | | A4 | |
| | | | | S355J2 | | avstiver 200x200x16mm | | | |
| | | | | WEIGHT: | | SCALE:1:10 | | SHEET 1 OF 1 | |





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

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAW | | | |
| CHK'D | | | |
| APP'VD | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

TITLE:

MATERIAL:
S355J2

DWG NO.

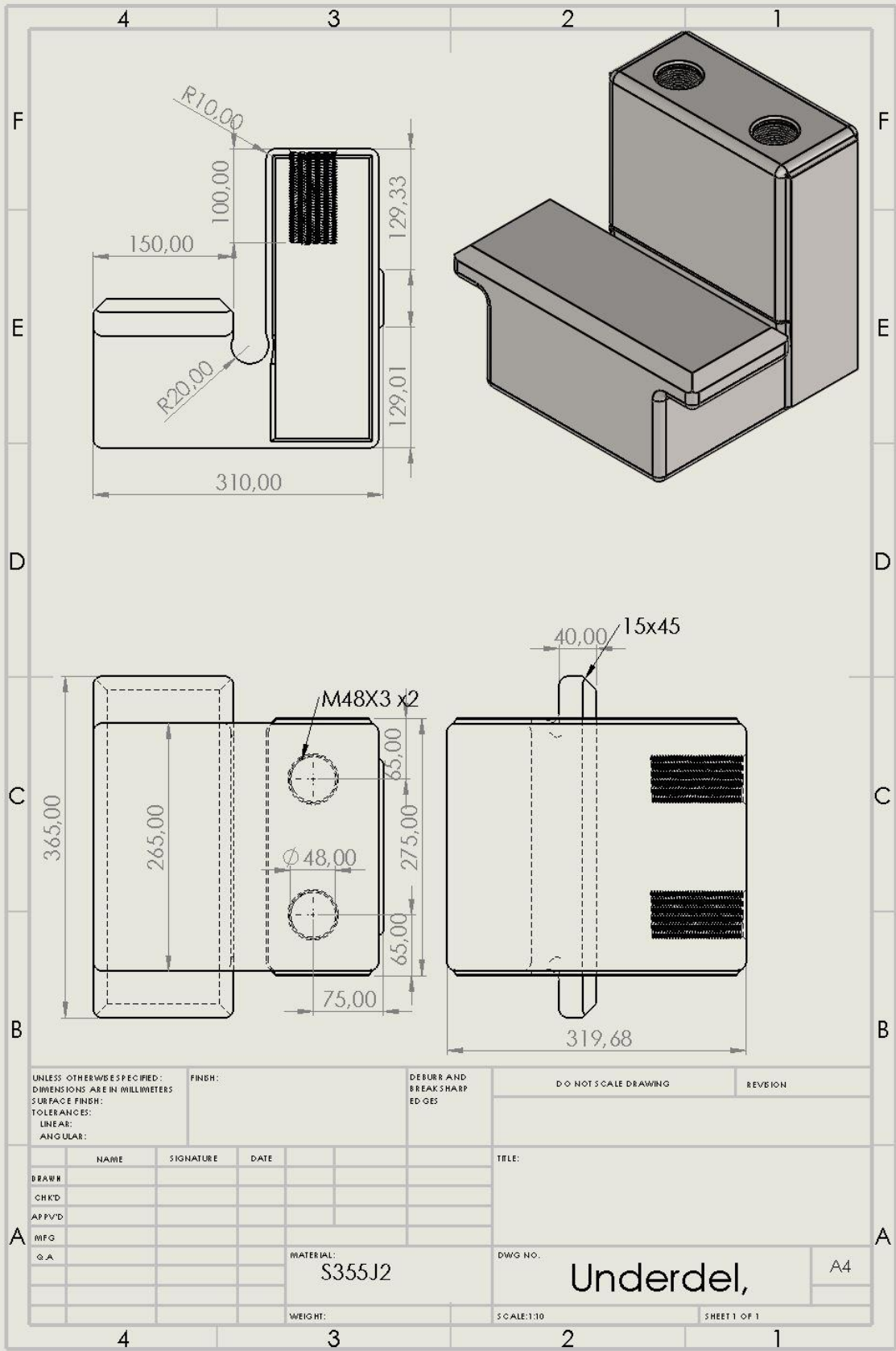
Opplagring

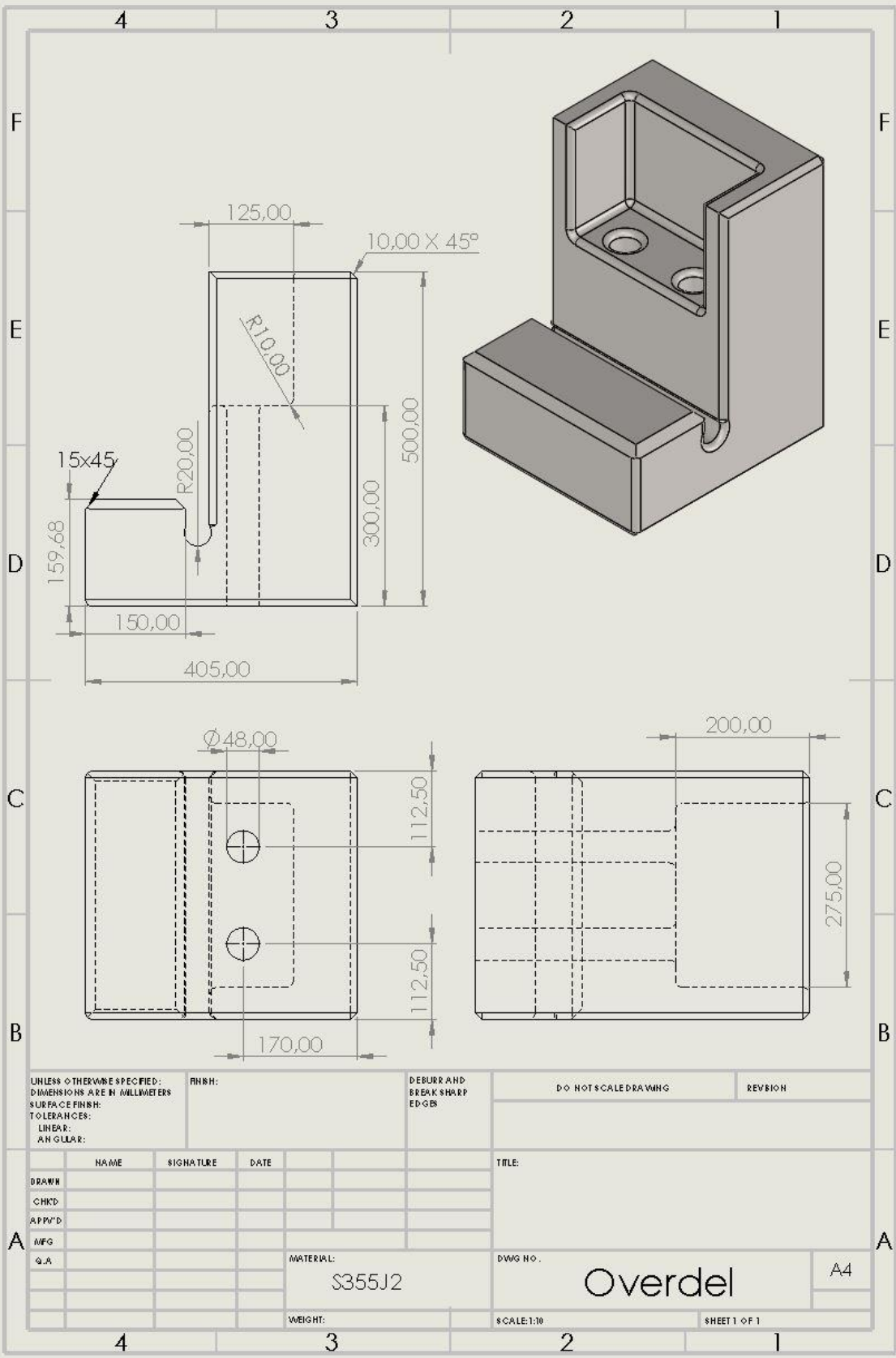
A4

WEIGHT:

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1





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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHKD | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| G.A. | | | |

TITLE:

MATERIAL:
 S355J2

DWG NO.

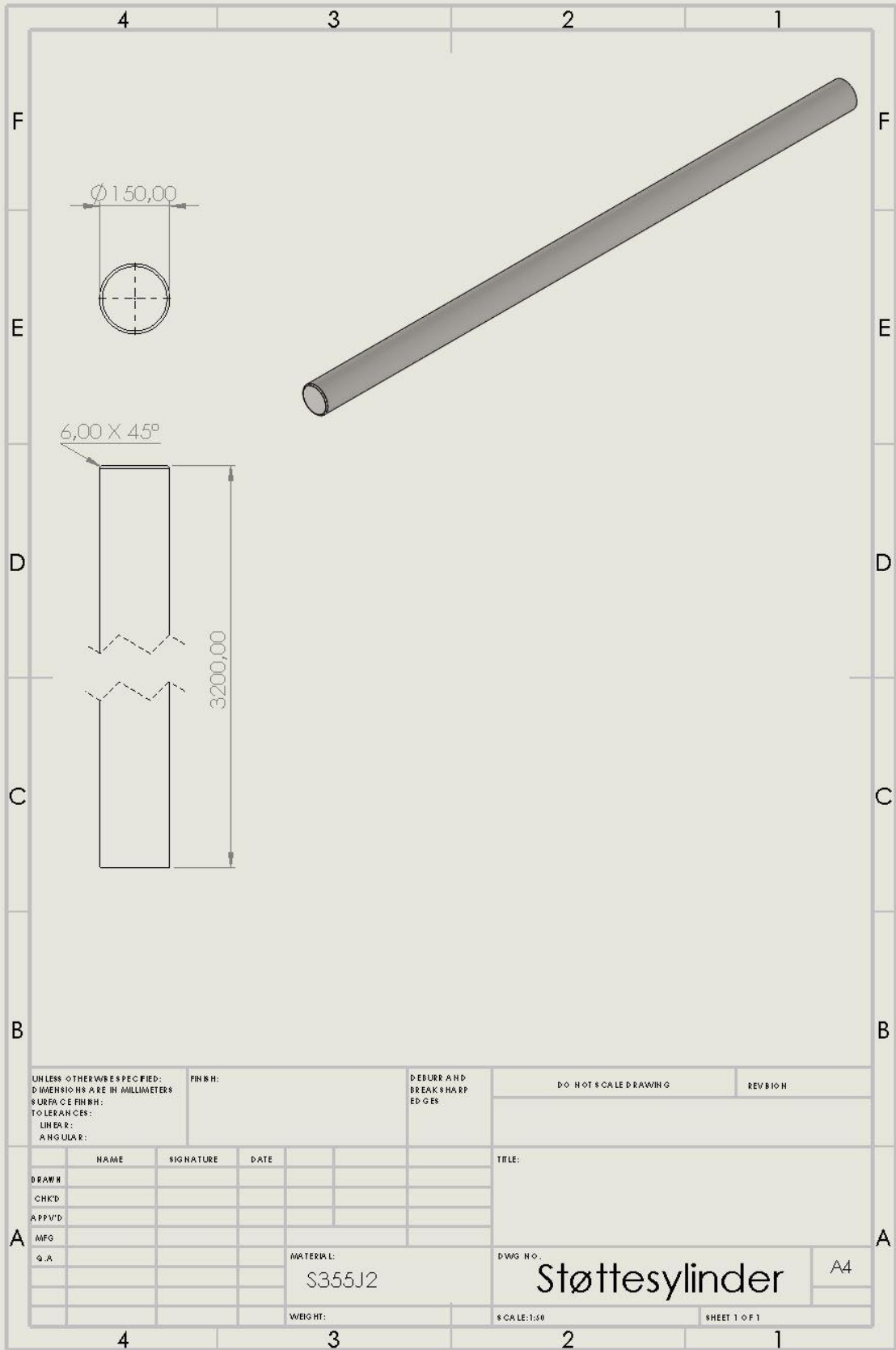
Overdel

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APP'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A. | | | |

TITLE:

MATERIAL:
 S355J2

DWG NO.

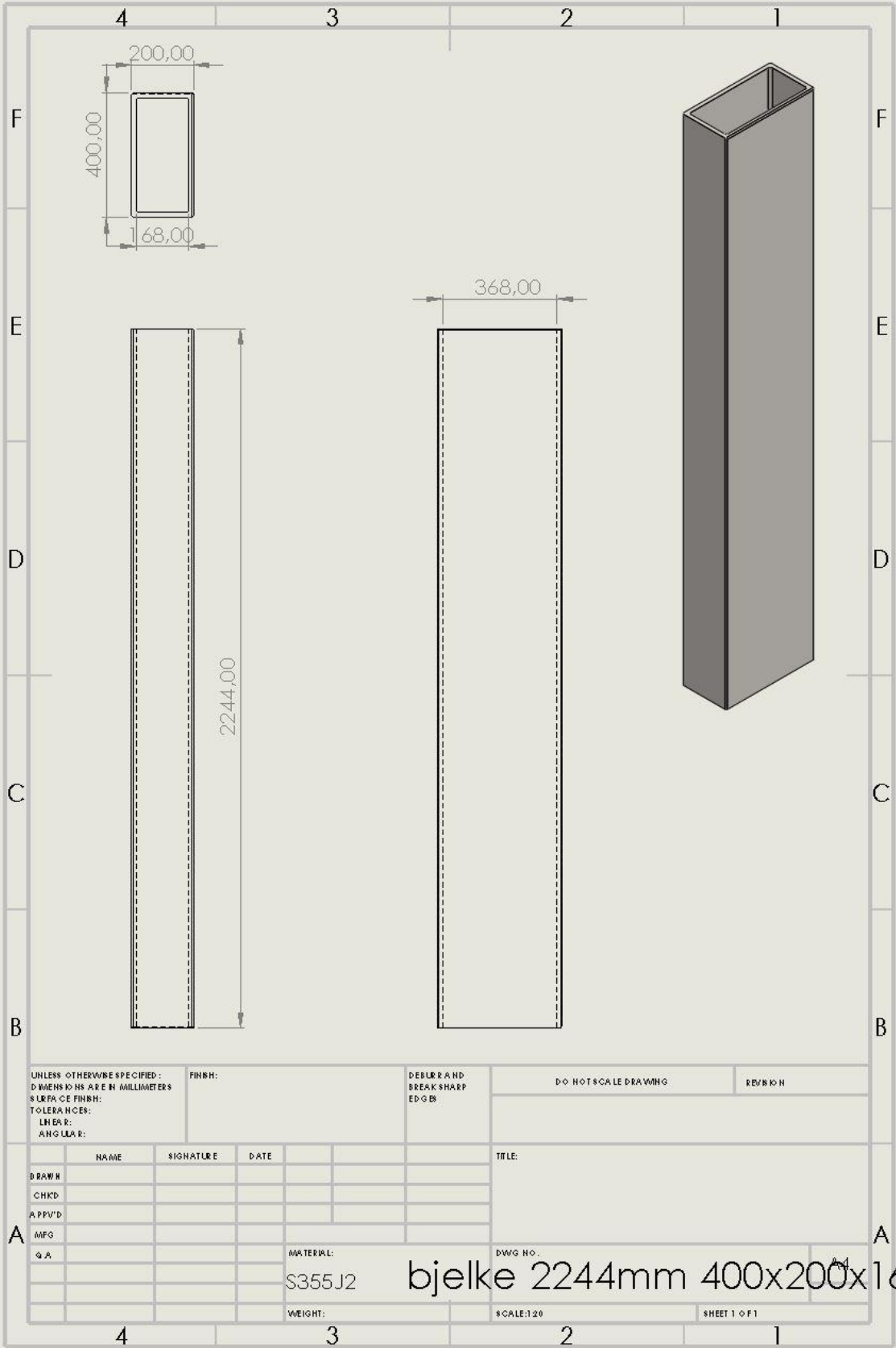
Støttesylinder

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:50

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

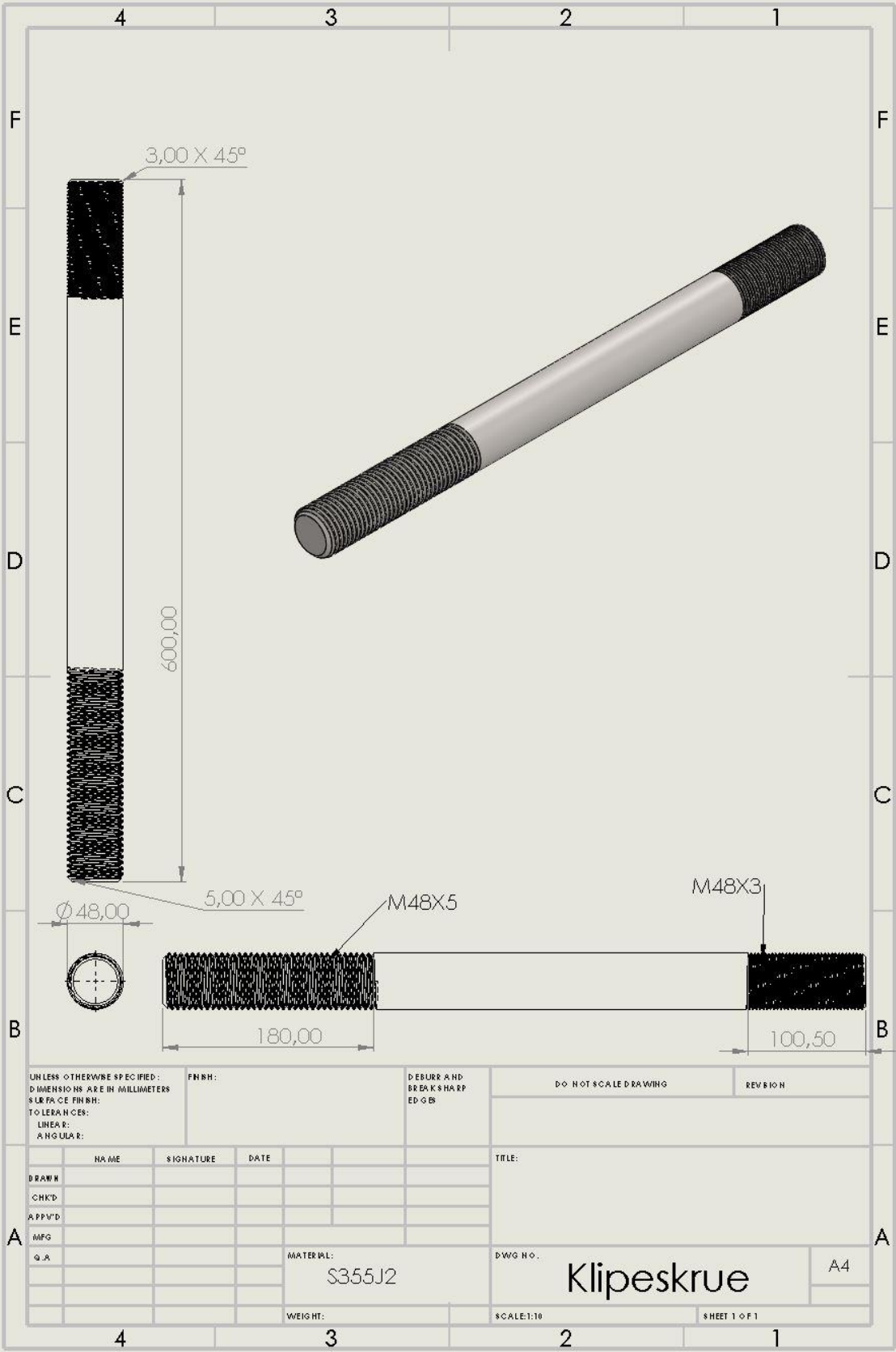
| | NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE: |
|--------|------|-----------|------|--------|
| DRAWN | | | | |
| CHKD | | | | |
| APPV'D | | | | |
| MFG | | | | |
| QA | | | | |

MATERIAL: S355J2

DWG NO. 11

bjelke 2244mm 400x200x16

WEIGHT: SCALE:1:20 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TO LEAN CES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE | |
|--------|------|-----------|------|--|
| DRAWN | | | | |
| CHK'D | | | | |
| APP'VD | | | | |
| MFG | | | | |
| Q.A | | | | |

TITLE:

MATERIAL:
 S355J2

DWG NO.

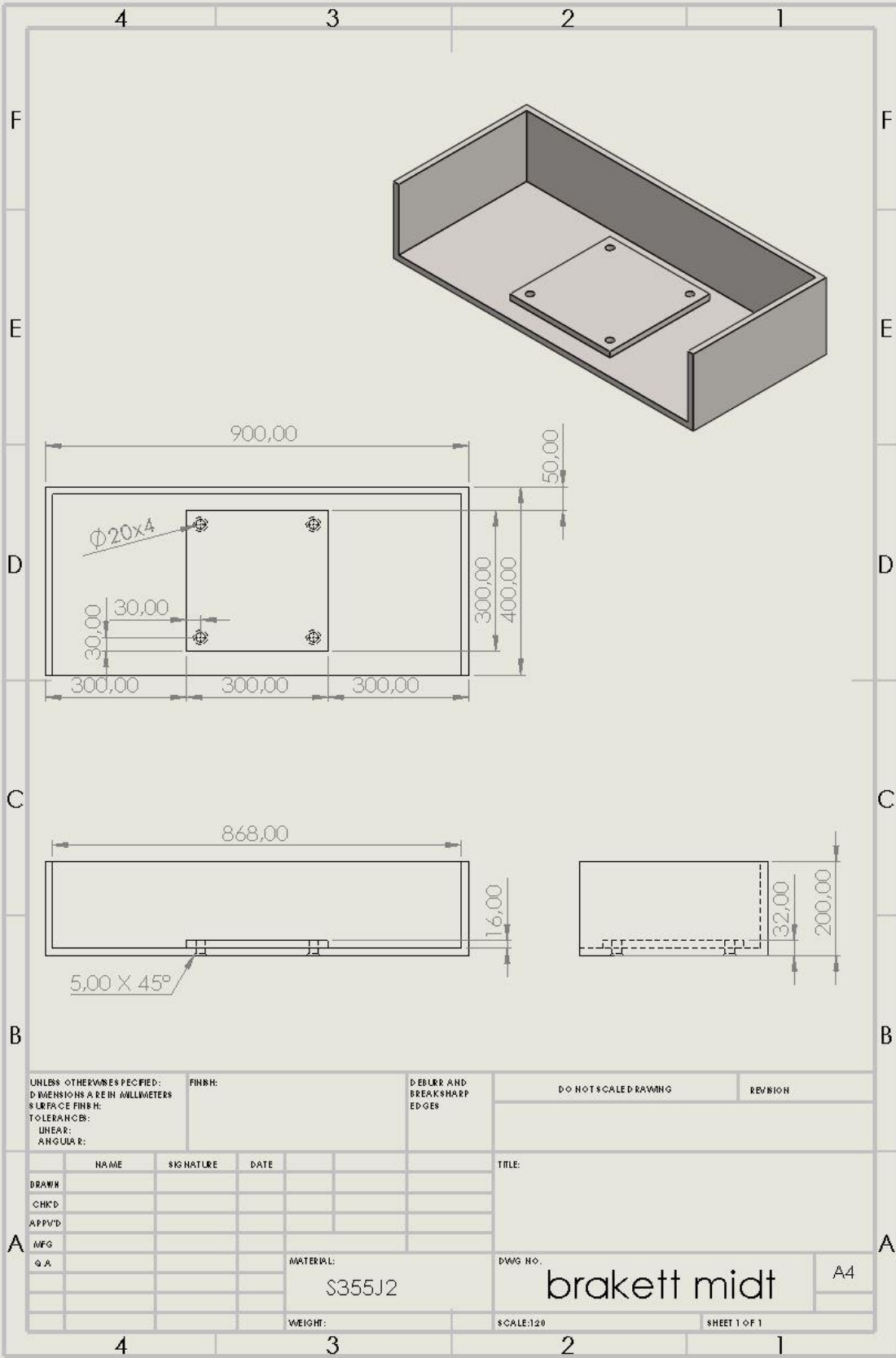
Klipeskrue

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHKD | | | |
| APPVD | | | |
| MFG | | | |
| QA | | | |

TITLE:

MATERIAL:
 S355J2

DWG NO.

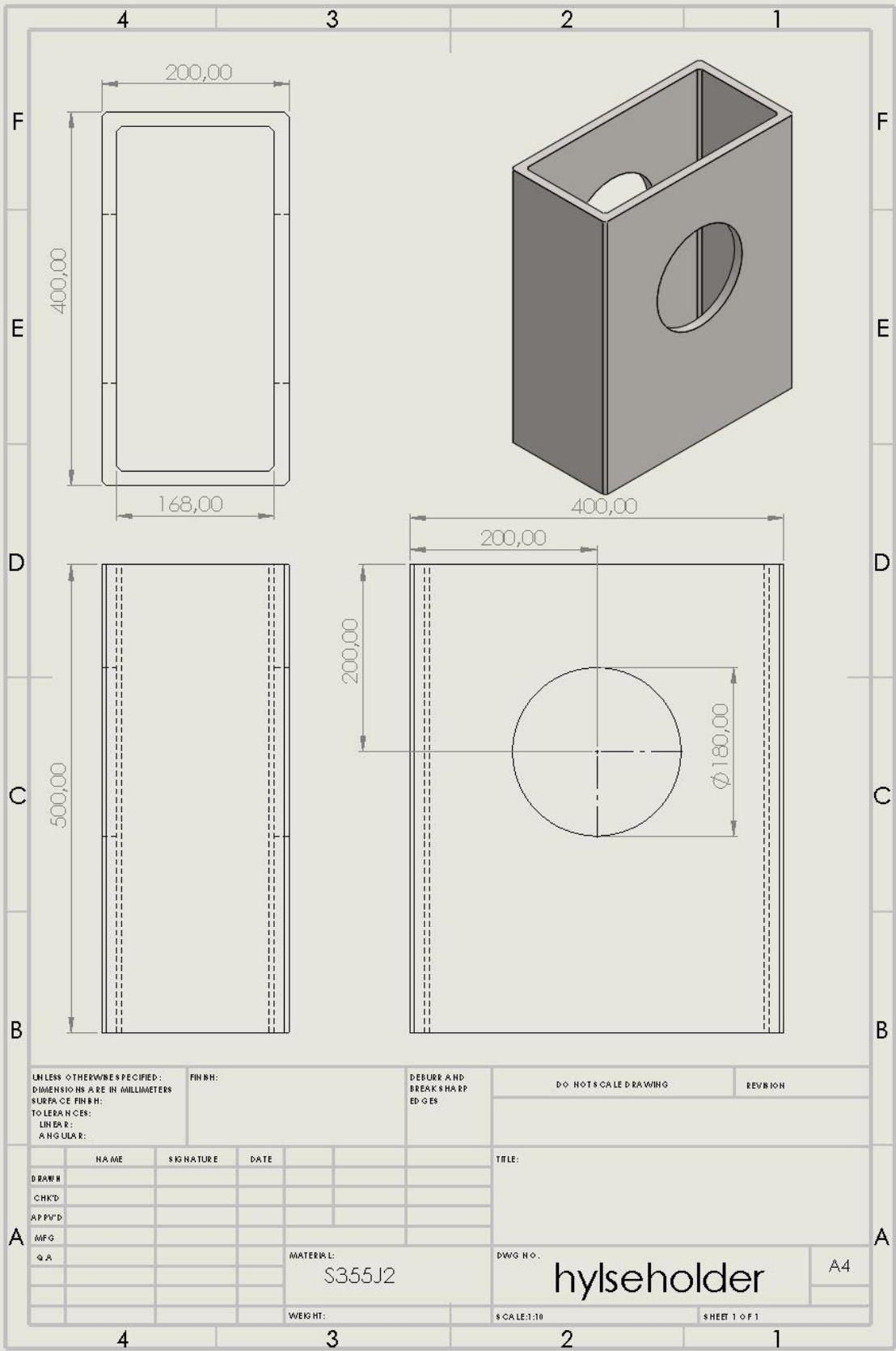
brakett midt

A4

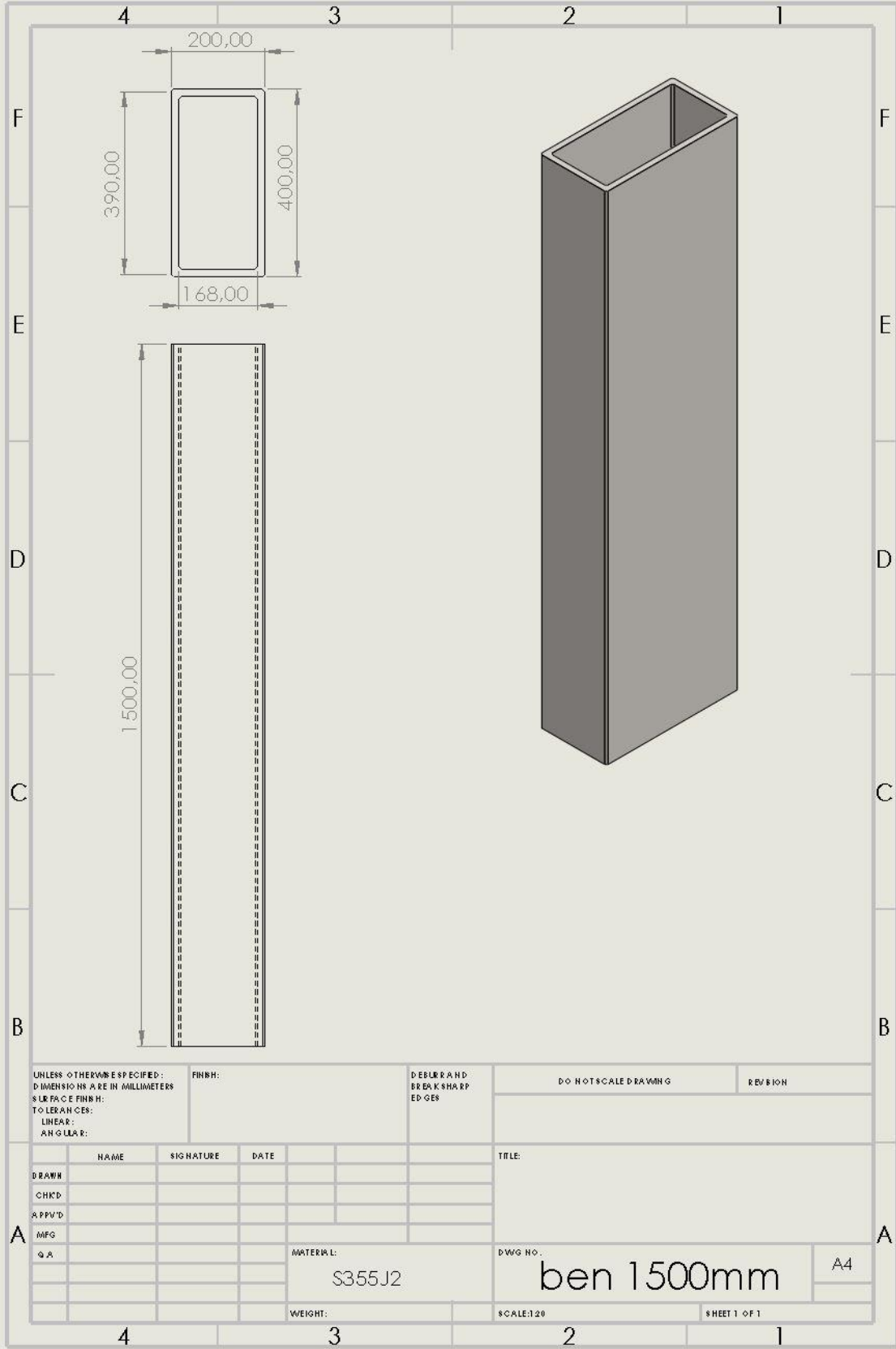
WEIGHT:

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1



| | | | | | | |
|---|--|--|---------|------------------------------------|---------------------|-------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TO LEADING EDGES: LINEAR: ANGULAR: | | | FINISH: | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DON'T SCALE DRAWING | REVISION |
| NAME | | | | SIGNATURE | DATE | TITLE: |
| DRAWN | | | | | | |
| CHK'D | | | | | | |
| APP'VD | | | | | | |
| MFG | | | | | | |
| Q A | | | | | | |
| MATERIAL: S355J2 | | | | DWG NO.: | | hylseholder |
| WEIGHT: | | | | SCALE: 1:10 | | A4 |
| | | | | SHEET 1 OF 1 | | |



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TO LEAK TEST:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A. | | | |

TITLE:

MATERIAL:

S355J2

DWG NO.:

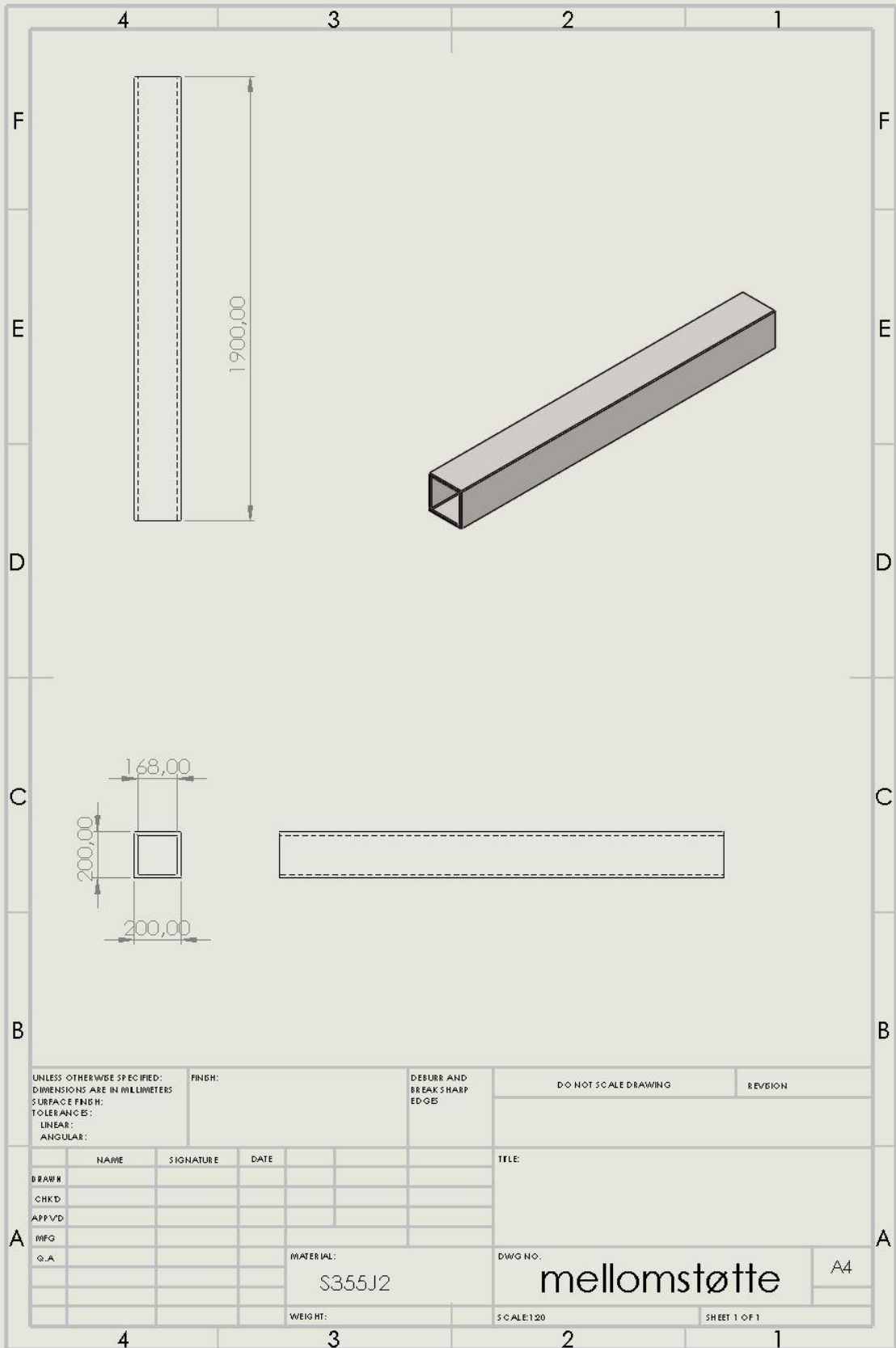
ben 1500mm

A4

WEIGHT:

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHKD | | | |
| APPVD | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

TITLE:

MATERIAL:
 S355J2

DWG NO.
 mellomstøtte

A4

WEIGHT:

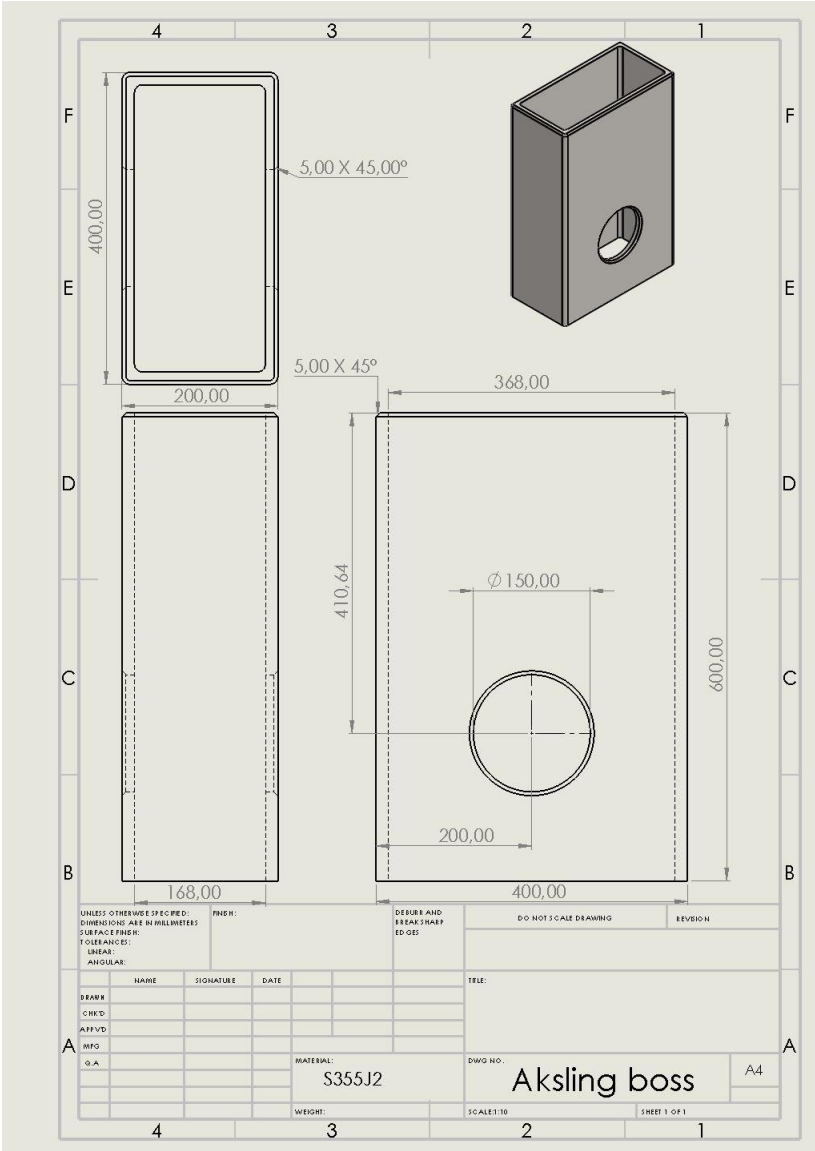
SCALE: 1:20

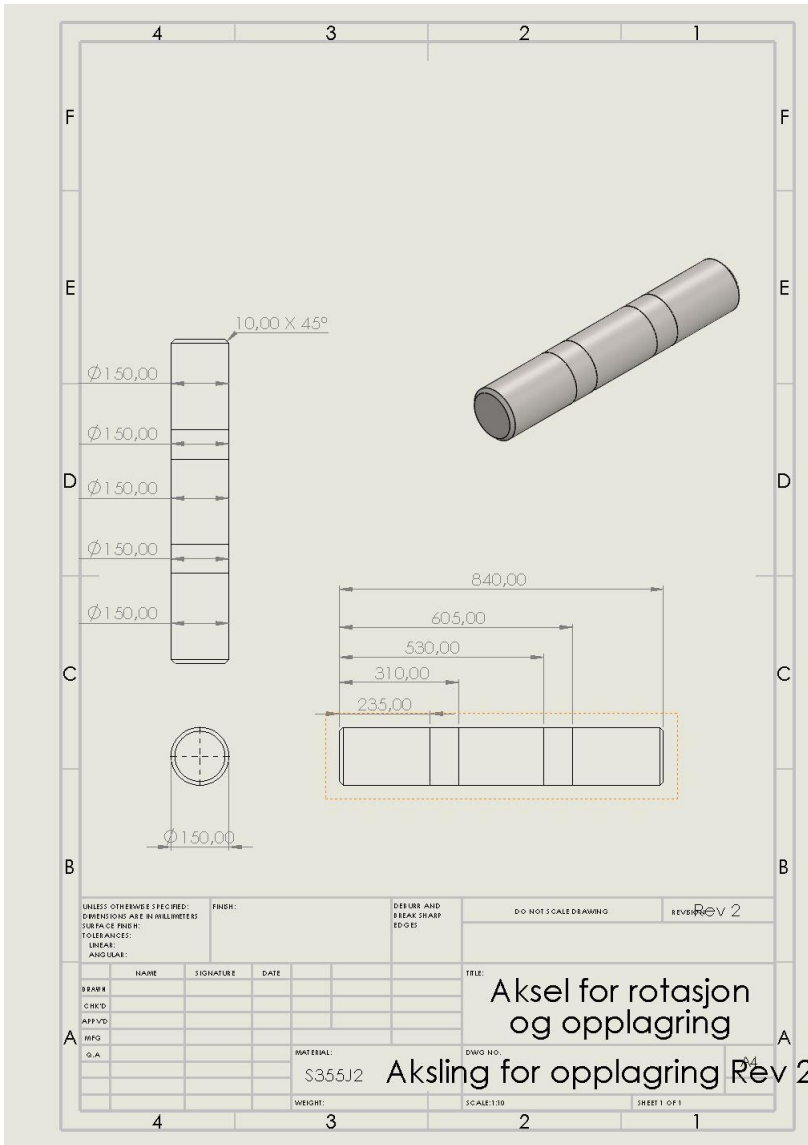
SHEET 1 OF 1

Vedlegg 14

Arbeidstegninger Rev 2

Arbeidstegninger Rev 2





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

FINISH:

DEFLIN AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISED

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| BRNFR | | | |
| CHK'D | | | |
| APP'VD | | | |
| MFG | | | |
| Q.A. | | | |

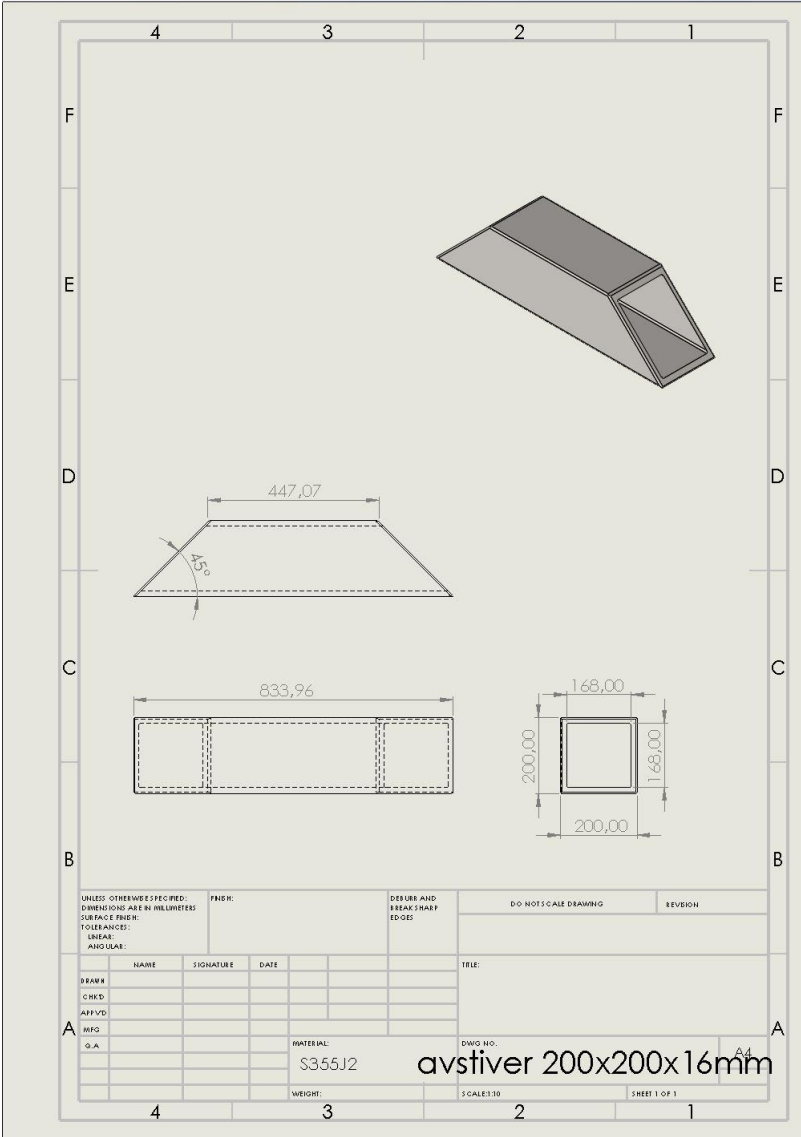
TITLE:
**Aksel for rotasjon
og opplagring**

MATERIAL:
S355J2

DWG NO.:
04

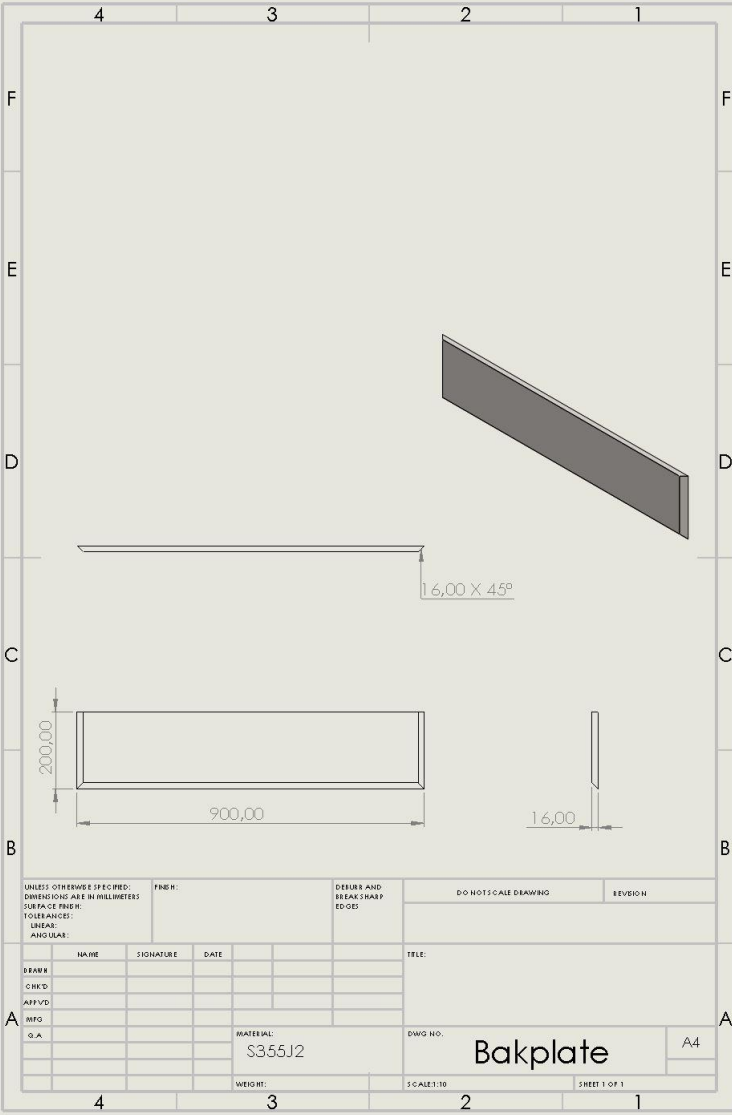
Aksling for opplagring Rev 2

| | | |
|---------|------------|--------------|
| WEIGHT: | SCALE:1:10 | SHEET 1 OF 1 |
|---------|------------|--------------|

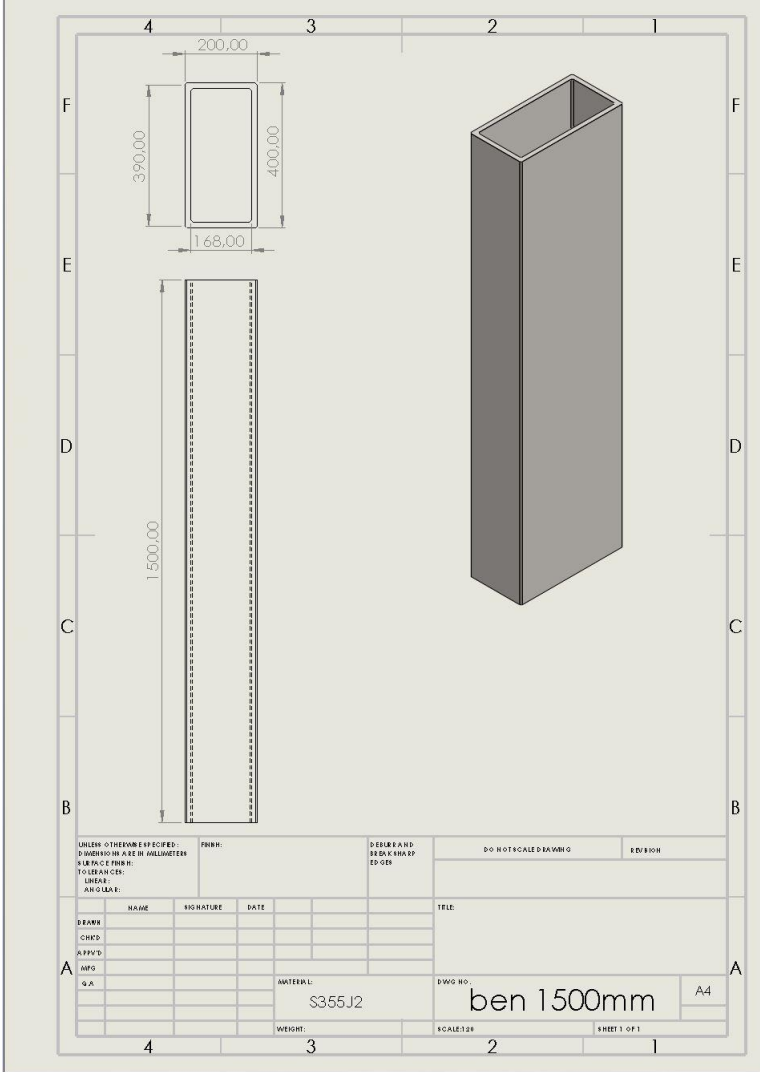


| | | | | | | | | | |
|--|--|-----------|--|------------------------------------|--|----------------------|--|--------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DESURE AND BREAK SHARP EDGES | | DO NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| SURFACE FINISH: | | | | | | | | | |
| TOLERANCES: | | | | | | | | | |
| LINEAR: | | | | | | | | | |
| ANGULAR: | | | | | | | | | |
| NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE | | | |
| DRAWN | | | | | | | | | |
| CHKD | | | | | | | | | |
| APP'VD | | | | | | | | | |
| INFO | | | | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | | | | |
| | | MATERIAL: | | S355J2 | | DWG NO. | | 64 | |
| | | WEIGHT: | | | | SCALE: 1:30 | | SHEET 1 OF 1 | |
| | | | | | | | | | |

avstiver 200x200x16mm



| | | | | | | | | | |
|--|------|-----------|------|------------------------------------|--|----------------------|--|----------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DIMS. AND BREAKS SHARP EDGES | | DO NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| TOLERANCES: | | | | | | | | | |
| LINEAR: | | | | | | | | | |
| ANGULAR: | | | | | | | | | |
| DRAWN | NAME | SIGNATURE | DATE | | | FILE: | | | |
| CHK'D | | | | | | | | | |
| APP'VD | | | | | | | | | |
| INFO | | | | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | | | | |
| | | MATERIAL: | | DWG NO. | | Bakplate | | A4 | |
| | | S355J2 | | | | | | | |
| | | WEIGHT: | | SCALE: 1:10 | | SHEET 1 OF 1 | | | |



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
TOLERANCES:
FINISH:
SURFACE:
HOLE:

FINISH:

DESIGN AND
DETAILS:
EDGES:

DO NOT SCALE DRAWING

RD/BCH

| DRAWN | NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|------|-----------|------|
| CHK'D | | | |
| APP'D | | | |
| ENG | | | |
| QA | | | |

TITLE:

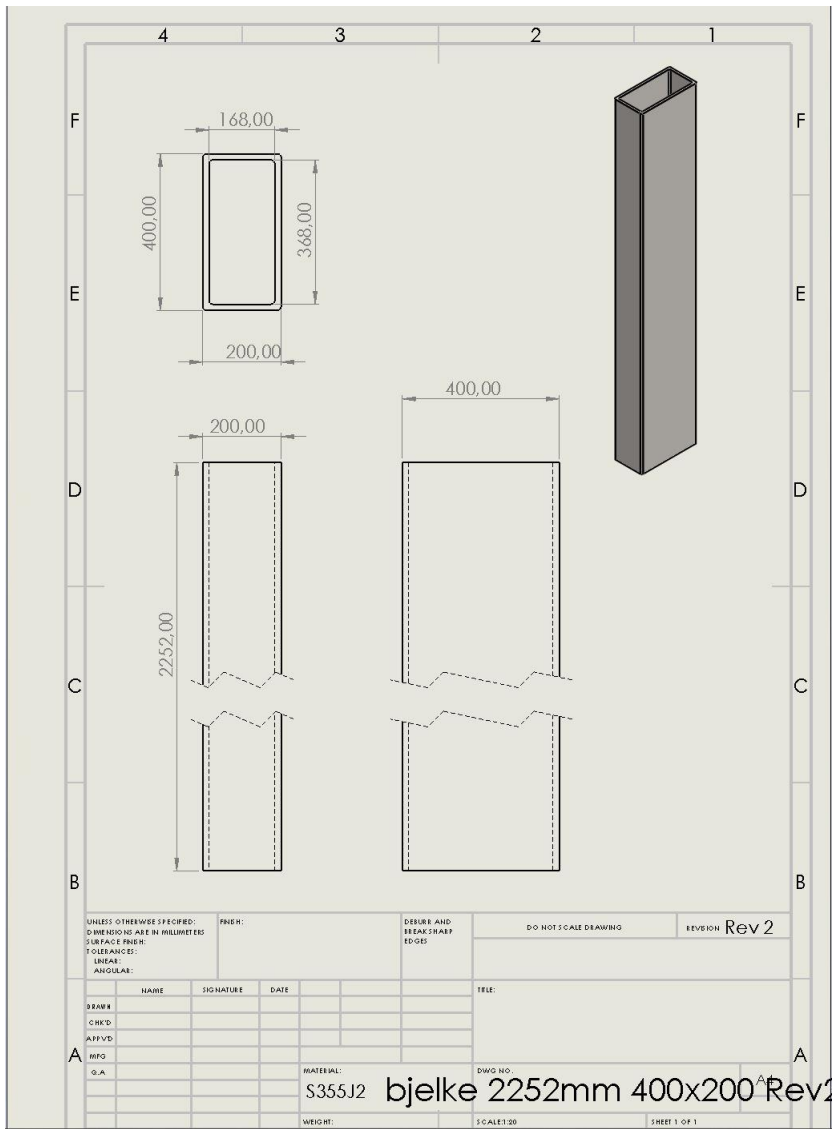
MATERIAL: S355J2

DWG NO: ben 1500mm

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1

A4



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

FINISH:

REMOVE AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

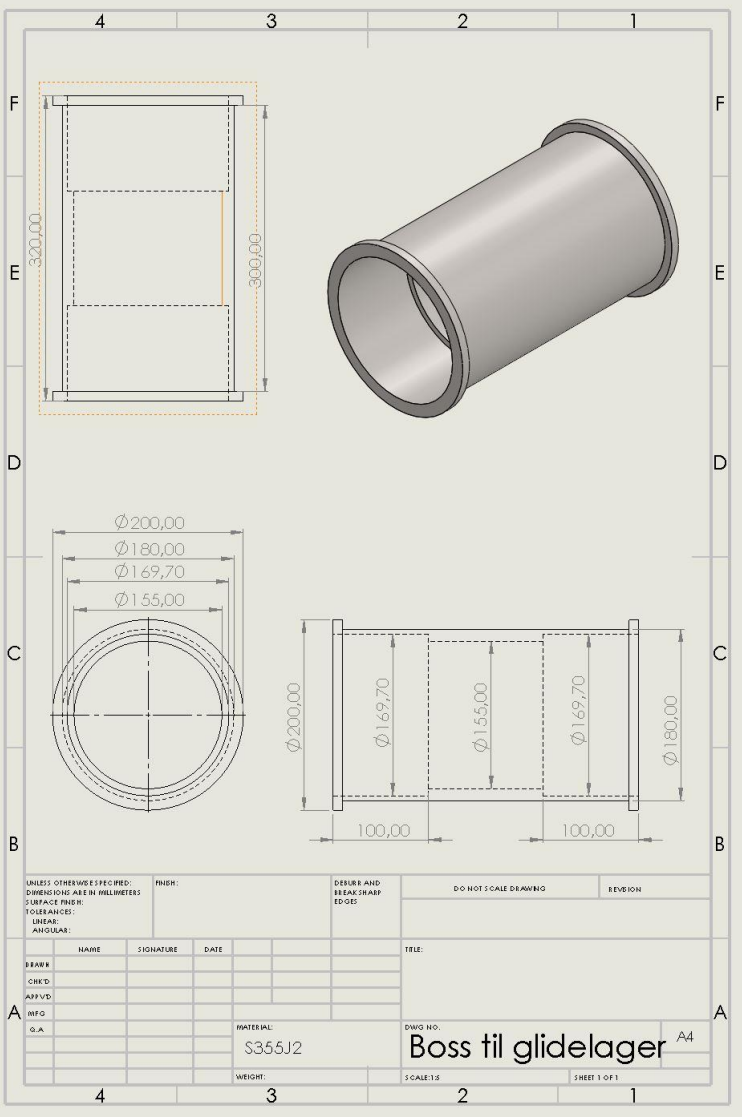
REVISION Rev 2

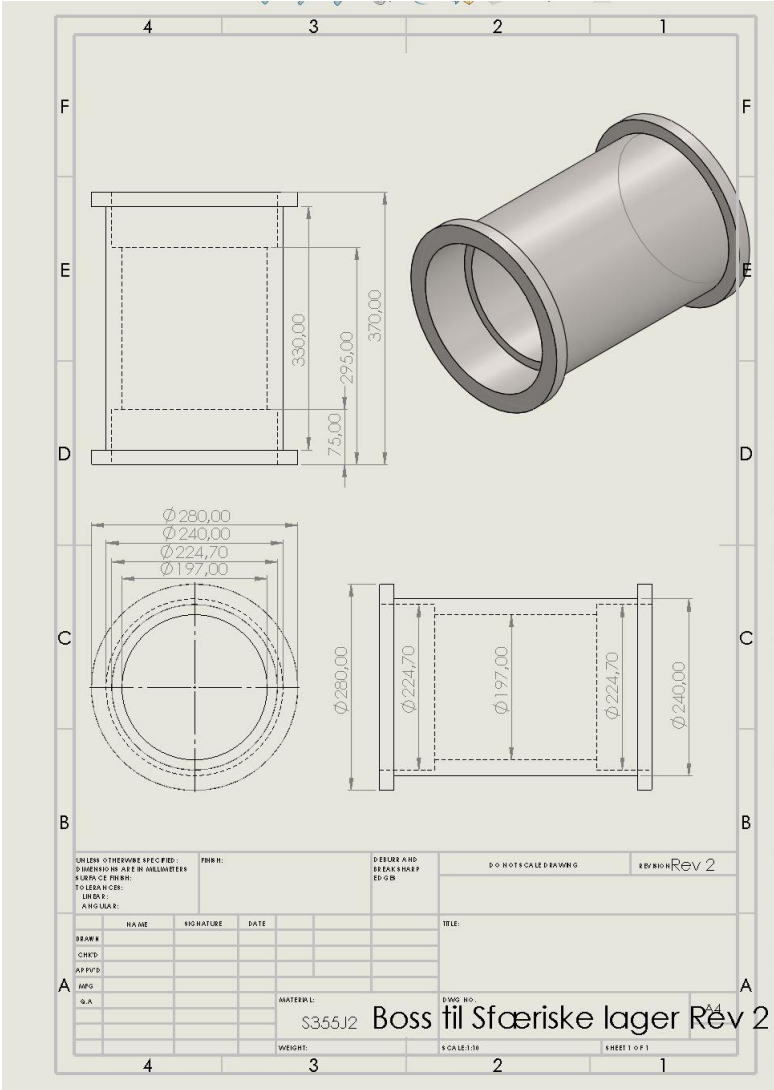
| NAME | SIGNATURE | DATE | FILE |
|------|-----------|------|------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

MATERIAL: S355J2

DWG NO: 2252mm 400x200 Rev 2

WEIGHT: SCALE: 1:20 SHEET 1 OF 1





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

FIR:

DESIGN AND
REVISIONS

D-D NOT SCALE DRAWING

REVISION Rev 2

| NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|-----------|------|
| DRAWN | | |
| CHEK | | |
| APP'D | | |
| MFG | | |
| S.A | | |

| DATE | DESCRIPTION |
|------|-------------|
| | |
| | |
| | |
| | |

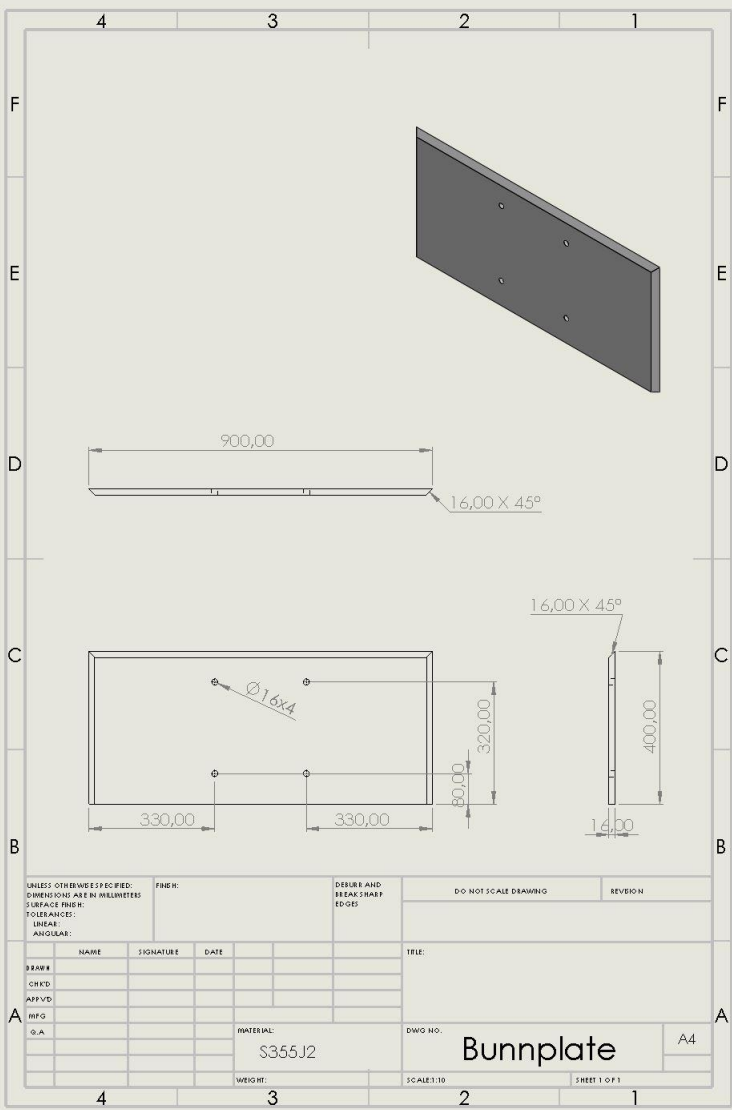
MATERIAL:
S355J2

BOSS til Sfæriske lager Rev 2

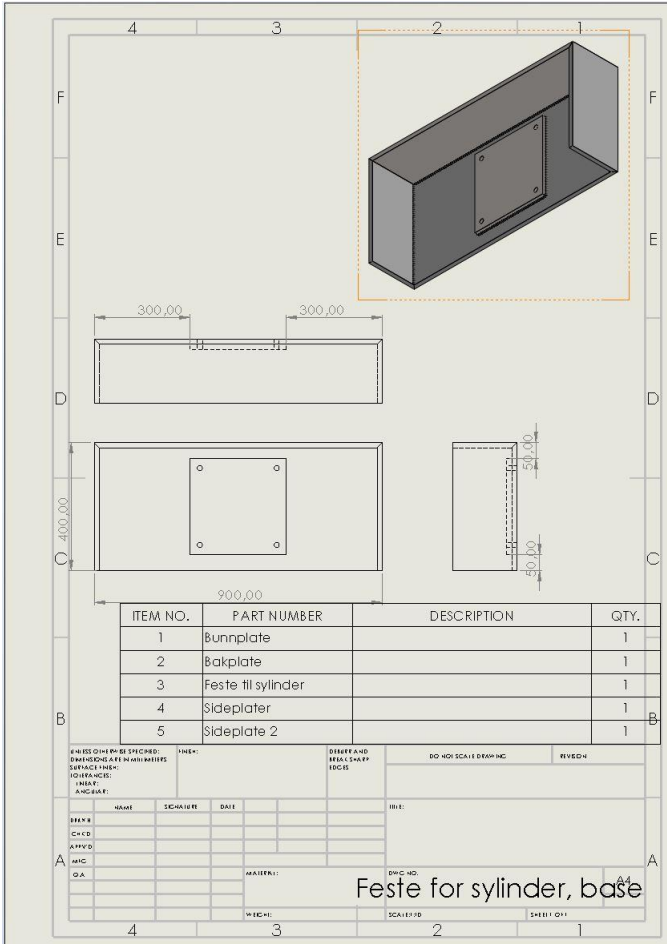
DWG. NO.

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1



| | | | | | | |
|--|--|---------|---|--|----------------------|----------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: LINEAR: ANGULAR: | | FINISH: | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
| DRAWN | | | TITLE: | | | |
| CHKD | | | DWG NO.: Bunnplate A4 SCALE: 1:10 SHEET 1 OF 1 | | | |
| APPVD | | | | | | |
| MFG | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | |
| MATERIAL: | | WEIGHT: | | | | |
| S355J2 | | | | | | |



| ITEM NO. | PART NUMBER | DESCRIPTION | QTY. |
|----------|---------------------|-------------|------|
| 1 | Bunplate | | 1 |
| 2 | Bakplate | | 1 |
| 3 | Feste til sylindere | | 1 |
| 4 | Sideplater | | 1 |
| 5 | Sideplate 2 | | 1 |

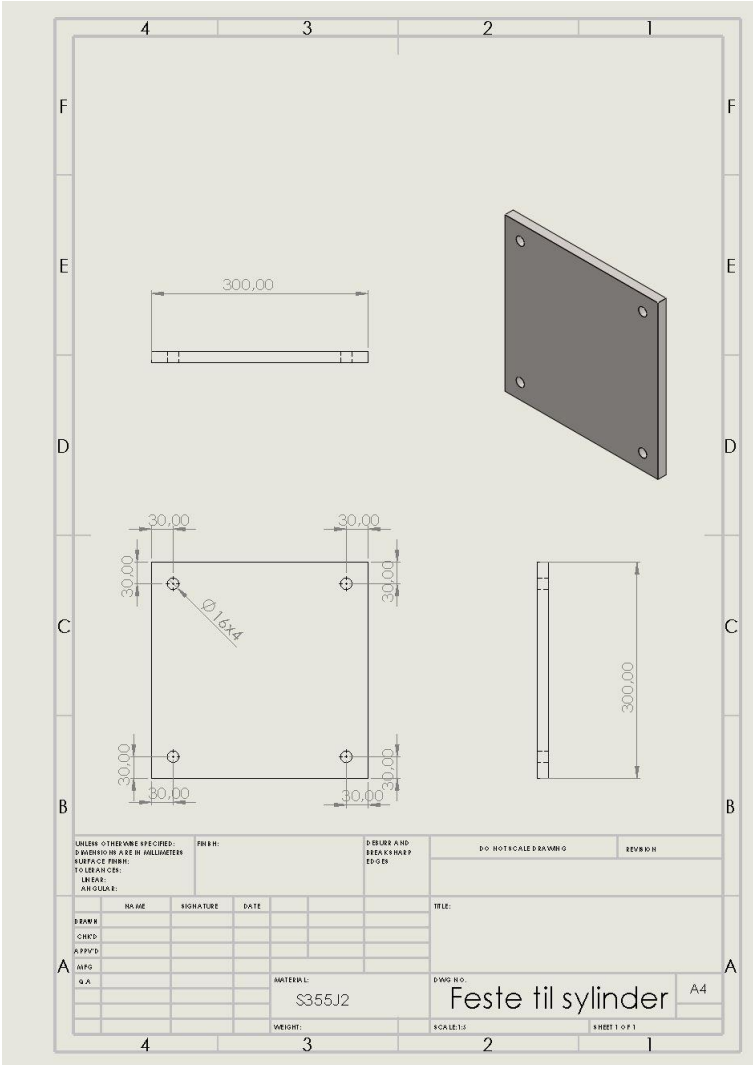
ALL DIMENSIONS SPECIFIED: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: UNFINISHED
 DIMENSIONS: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 FINISH: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

SHEET AND PART NUMBER: SHEET: DO NOT SCALE DRAWING: RYEDH

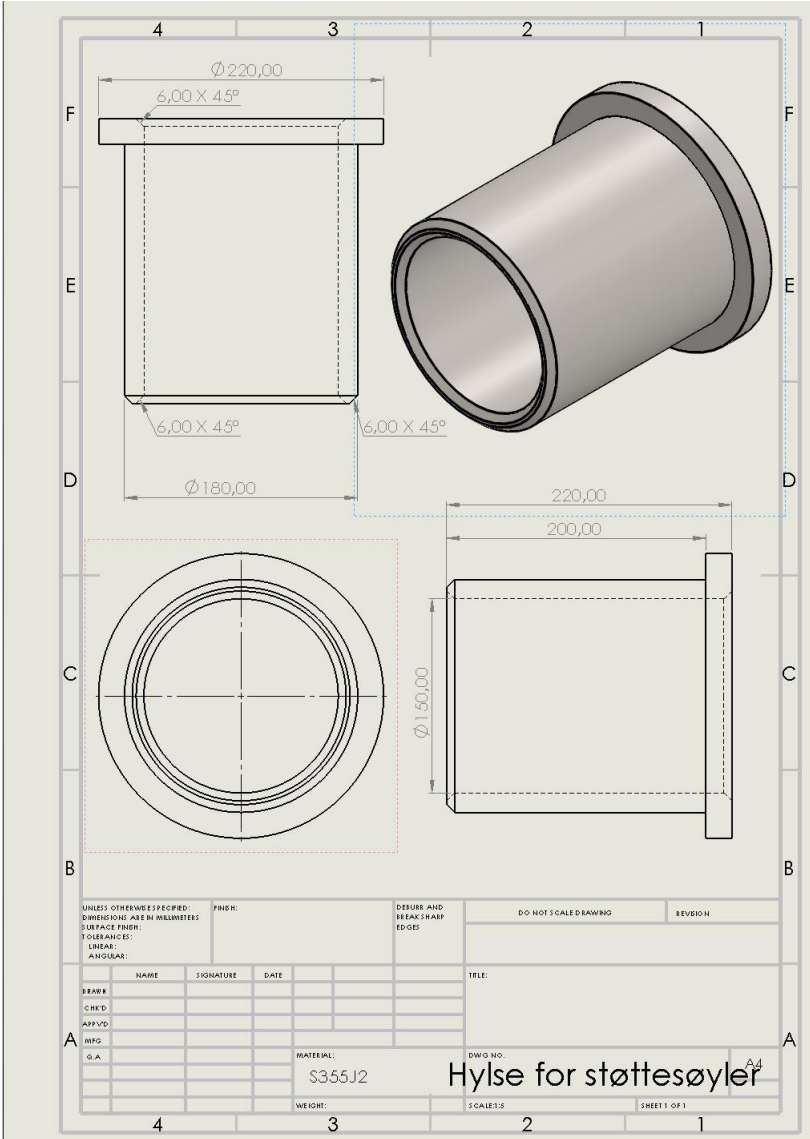
NAME: CHARACTER: DATE: TITLE:

DESIGNED: CHECKED: APPROVED: MATERIAL: PART NO: 64
 DRAWN: SCALE: 1:1 SHEET 011

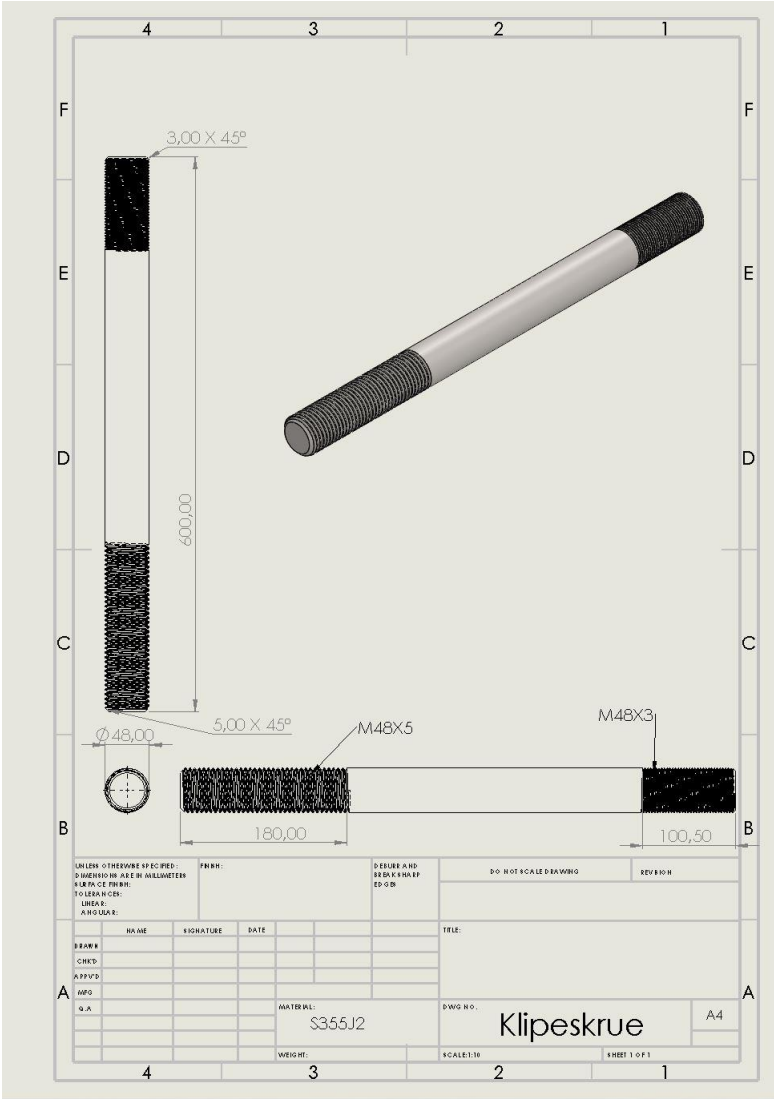
Feste for sylindere, base



| | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-----------|----------------------------|--------|---------------------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | FINISH: | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | |
| DIMENSIONS IN MILLIMETERS | | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | |
| TOLERANCES: | | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | |
| LINEAR: | | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | |
| ANGULAR: | | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | | DIMENSIONS AND DIMENSIONS | |
| DESIGN | NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE: | | |
| CHECKED | | | | | | |
| APPROVED | | | | | | |
| MATERIAL: | S355J2 | | DWG NO. Feste til cylinder | | A4 | |
| WEIGHT: | | | SCALE: 1:1 | | SHEET 1 OF 1 | |

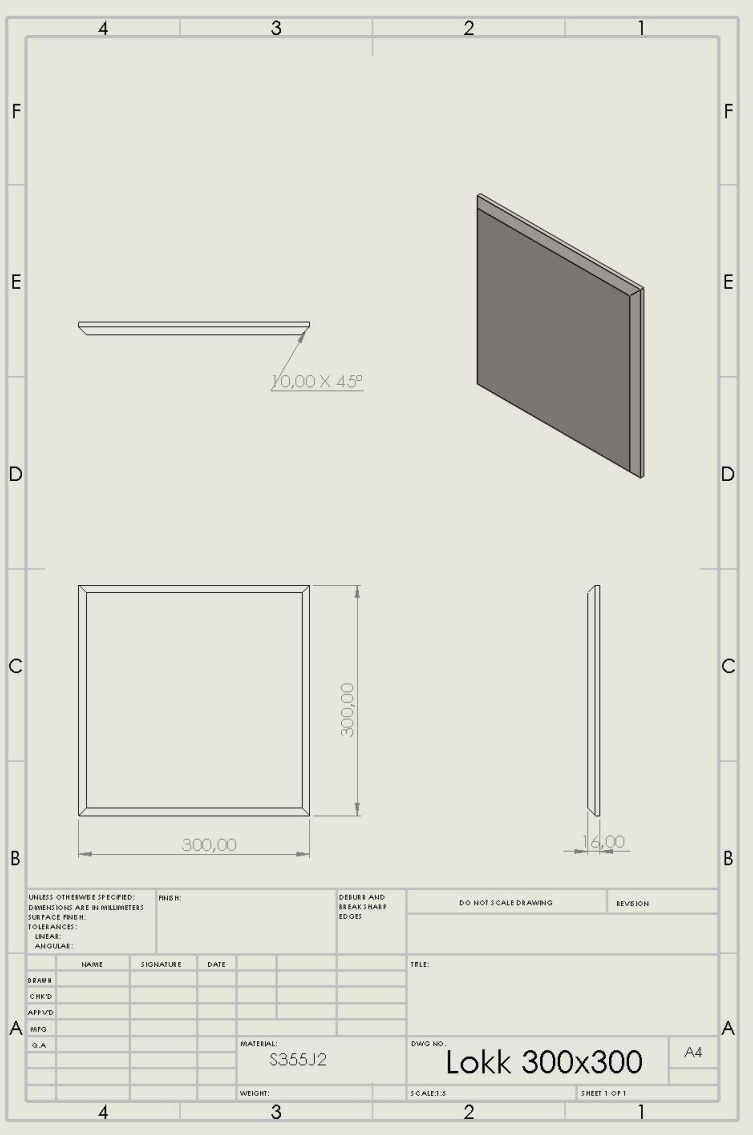


| | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------|--|------------------------------------|--|------------------------|--|----------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DEBURS AND BREAK SHARP EDGES | | DO NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| SURFACE FINISH: | | TOLERANCES: | | LINEAR: | | | | | |
| ANGULAR: | | | | | | | | | |
| NAME | SIGNATURE | DATE | | | | TELE: | | | |
| DRWR | | | | | | | | | |
| CHKD | | | | | | | | | |
| APPVD | | | | | | | | | |
| INFO | | | | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | | | | |
| MATERIAL: | | S355J2 | | DWG NO. | | Hylse for støttesøyler | | A4 | |
| WEIGHT: | | | | SCALE: 1:5 | | SHEET 1 OF 1 | | | |

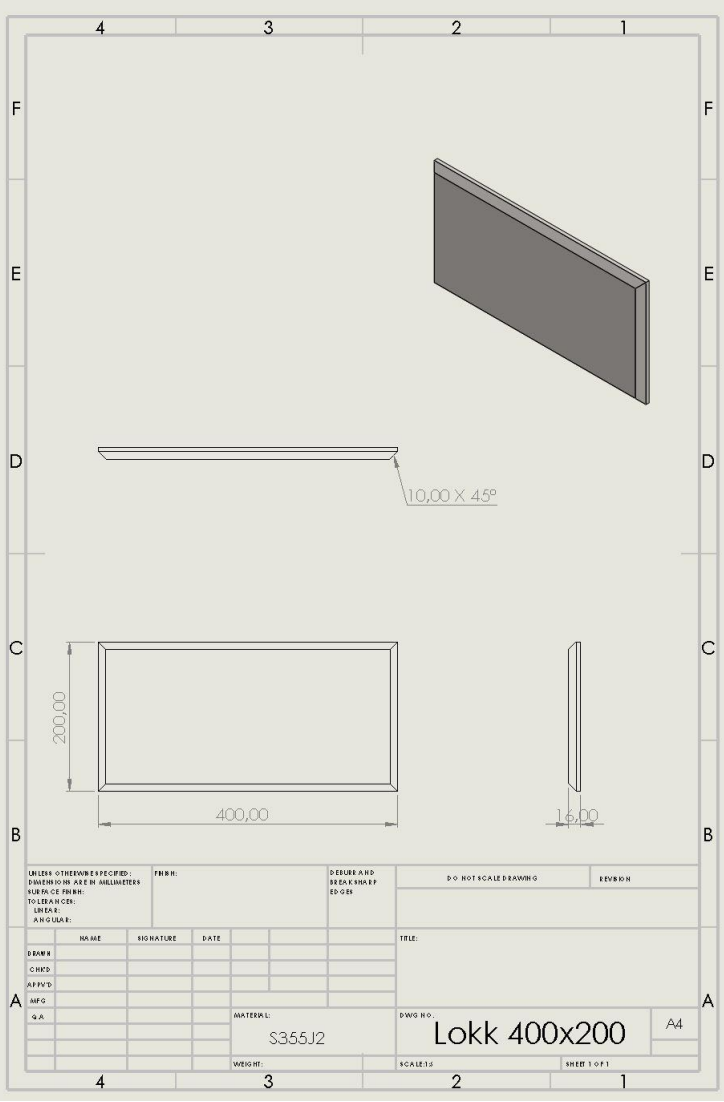


| | | | | | |
|---|-----------|------|--|----------------------|--------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES: UNLESS ANGULAR: | | FNH: | DESIGNED BY: DRAWN BY: CHECKED BY: | DO NOT SCALE DRAWING | REV NO: |
| NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE: | | |
| DESIGNER | | | | | |
| CHECKED | | | | | |
| APPROVED | | | | | |
| MFG | | | | | |
| Q.A. | | | MATERIAL: S355J2 | DWG NO.: | Klipeskrue |
| | | | WEIGHT: | SCALE: 1:1 | SHEET 1 OF 1 |

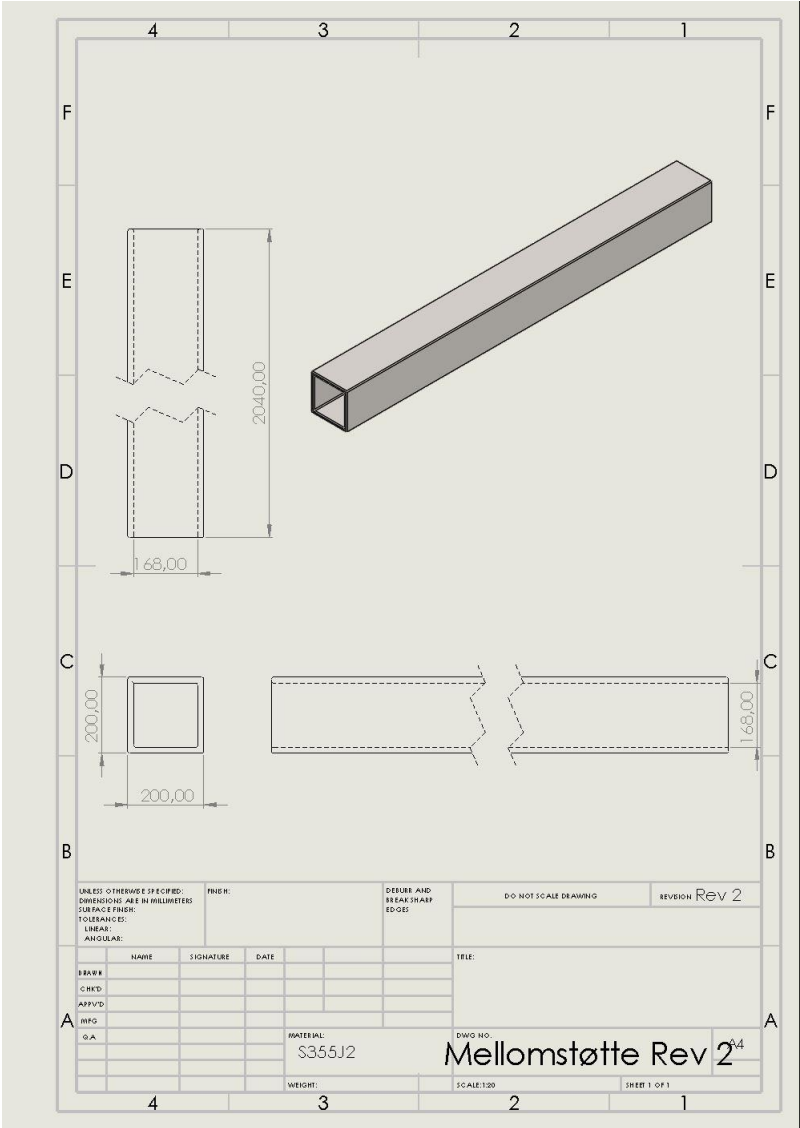
Klipeskrue A4



| | | | | | | |
|---|-----------|---------|-------------------------------------|--|----------------------|----------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR: | | FINISH: | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES: | | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
| NAME | SIGNATURE | DATE | TELE: | | | |
| DRAWN | | | | | | |
| CHECKD | | | | | | |
| APP'VD | | | | | | |
| INFO | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | |
| MATERIAL: S355J2 | | | DWG NO. Lokk 300x300 | | A4 | |
| WEIGHT: | | | SCALE: 1:1 | | SHEET 1 OF 1 | |



| | | | | | | | | | |
|--|-----------|--------------|--|------------------------------------|--|------------------------|--|----------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DESIGN AND CHECKING OF EDGE: | | D.O. NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| TO DRAWING: | | DATE: | | TITLE: | | | | | |
| NAME | SIGNATURE | DATE | | | | | | | |
| DRAWN | | | | | | | | | |
| CHECK | | | | | | | | | |
| APPROV | | | | | | | | | |
| MFG | | | | | | | | | |
| QA | | | | | | | | | |
| MATERIAL: | | DWG NO. | | A4 | | | | | |
| S355J2 | | Lokk 400x200 | | | | | | | |
| WEIGHT: | | SCALE: | | SHEET 1 OF 1 | | | | | |



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

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION Rev 2

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|----------|------|-----------|------|
| DRAWN | | | |
| CHECKED | | | |
| APPROVED | | | |
| ENG | | | |
| QA | | | |

TELE:

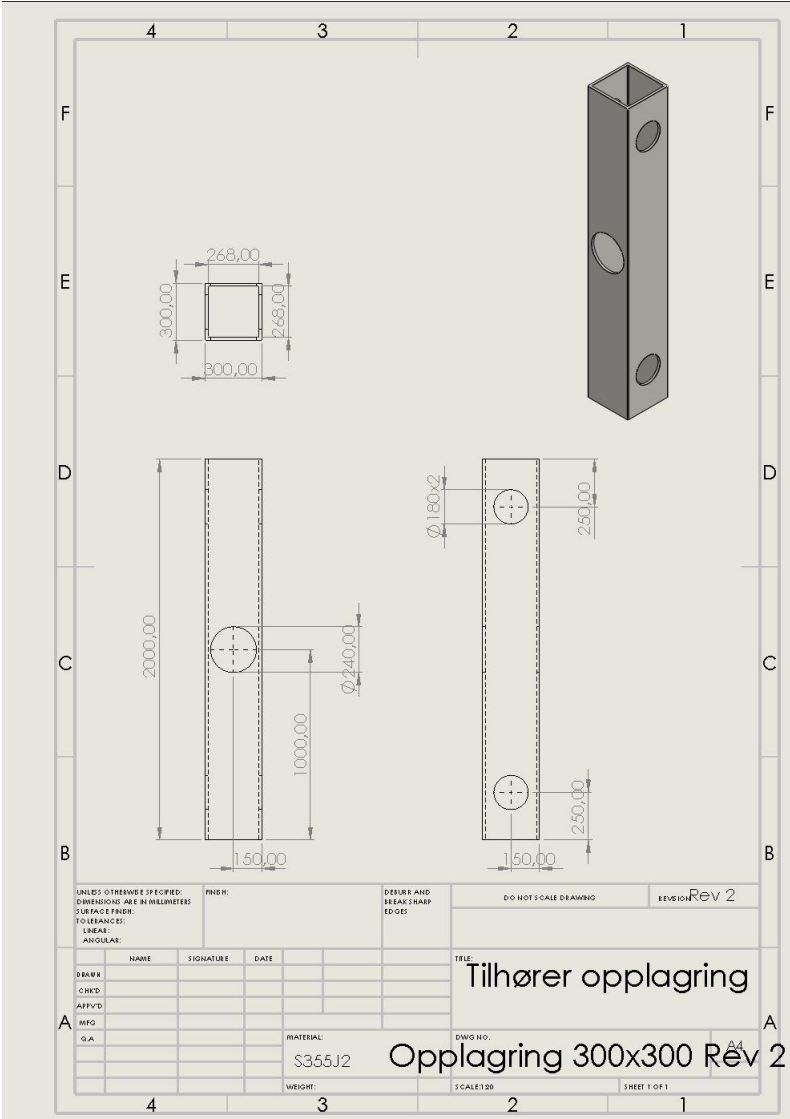
MATERIAL:
 S355J2

DWG NO. Mellomstøtte Rev 2⁰⁴

WEIGHT:

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1



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

PIN:

DESIGN AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION Rev 2

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|------|-----------|------|
| BANK | | | |
| CHKD | | | |
| APPVD | | | |
| MFG | | | |
| QA | | | |

TITLE:

Tilhører opplagring

MATERIAL:
 S355J2

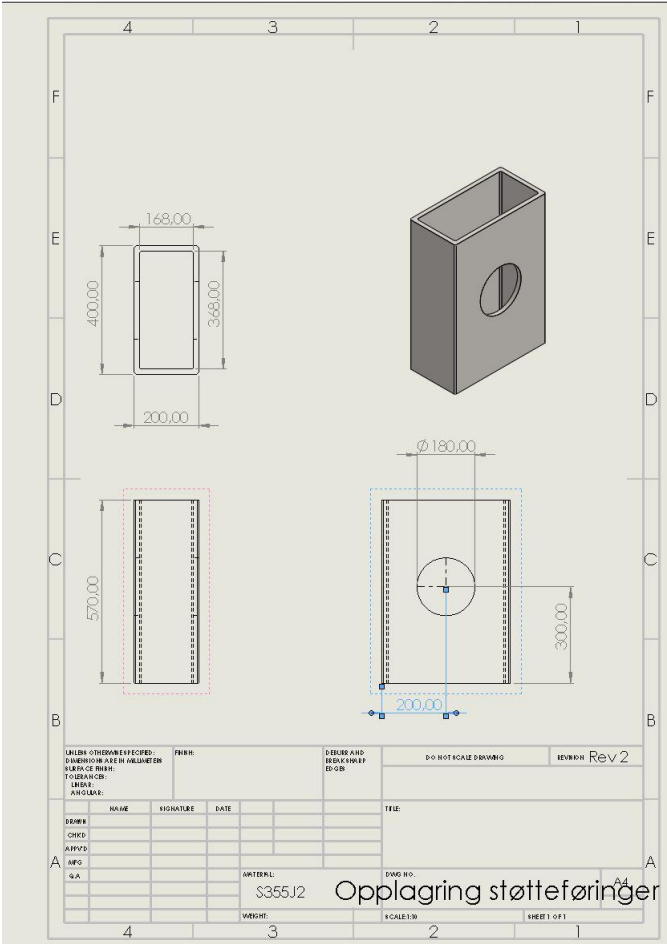
DWG NO.:

Opplagring 300x300 Rev 2

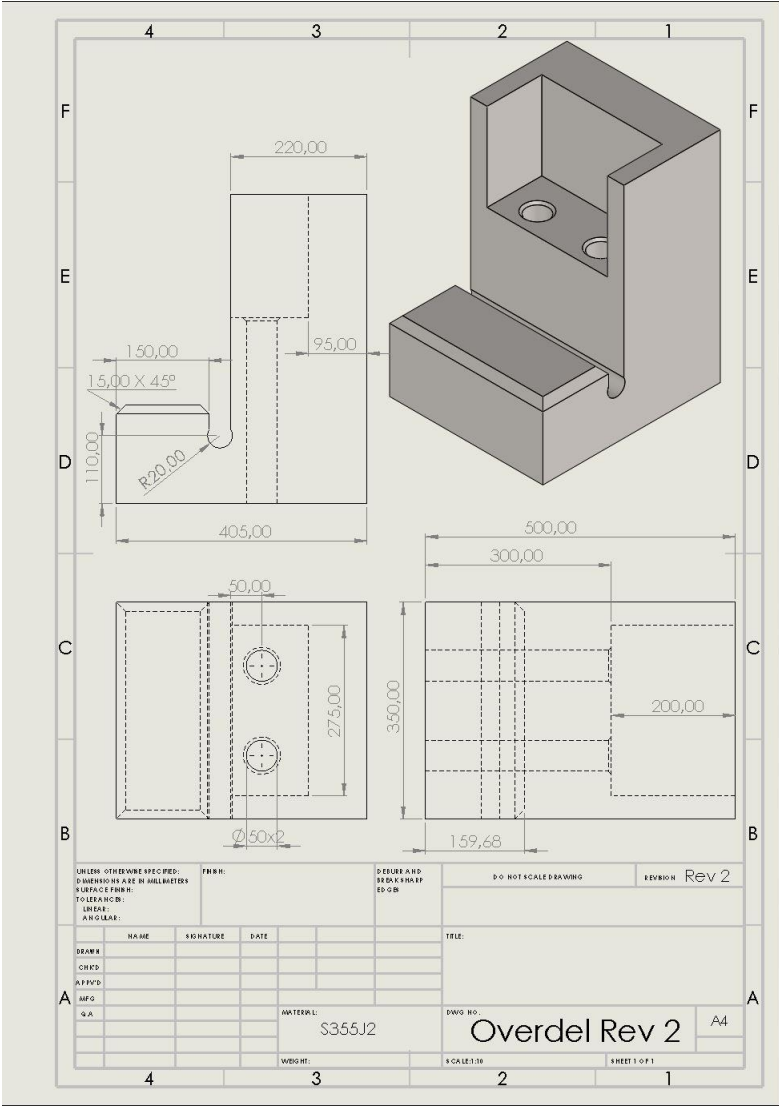
WEIGHT:

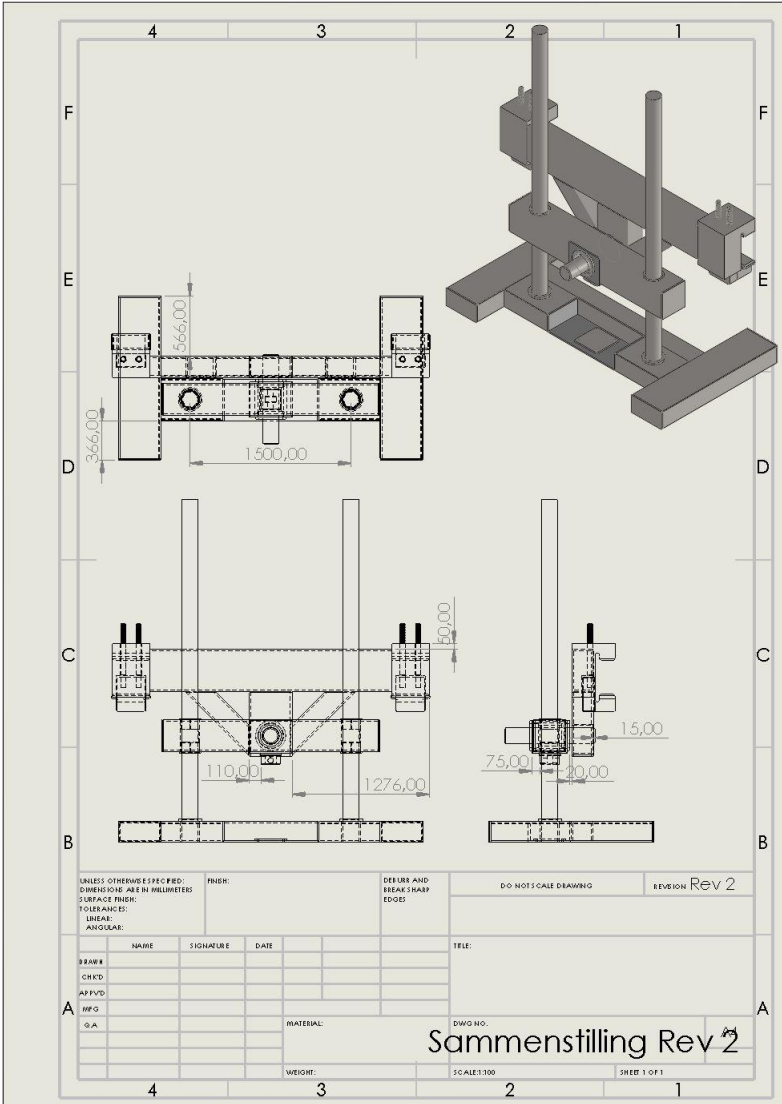
SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1



| | | | | | | |
|---|------|-----------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ANGLES: | | | FINISH | DESIGN AND DEVELOPMENT E/C/S | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION Rev 2 |
| DESIGN | NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE | | |
| CHKD | | | | | | |
| APP'D | | | | | | |
| APP'D | | | | | | |
| QA | | | | | | |
| MATERIAL | | | DWG NO. | | A4 | |
| S355J2 | | | Opplagring støtteføring | | | |
| WEIGHT | | | SCALE 1:1 | | SHEET 1 OF 1 | |





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

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION Rev 2

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|-------|------|-----------|------|
| BRN | | | |
| CHKD | | | |
| APPVD | | | |
| MFG | | | |
| QA | | | |

TELE: _____

MATERIAL: _____

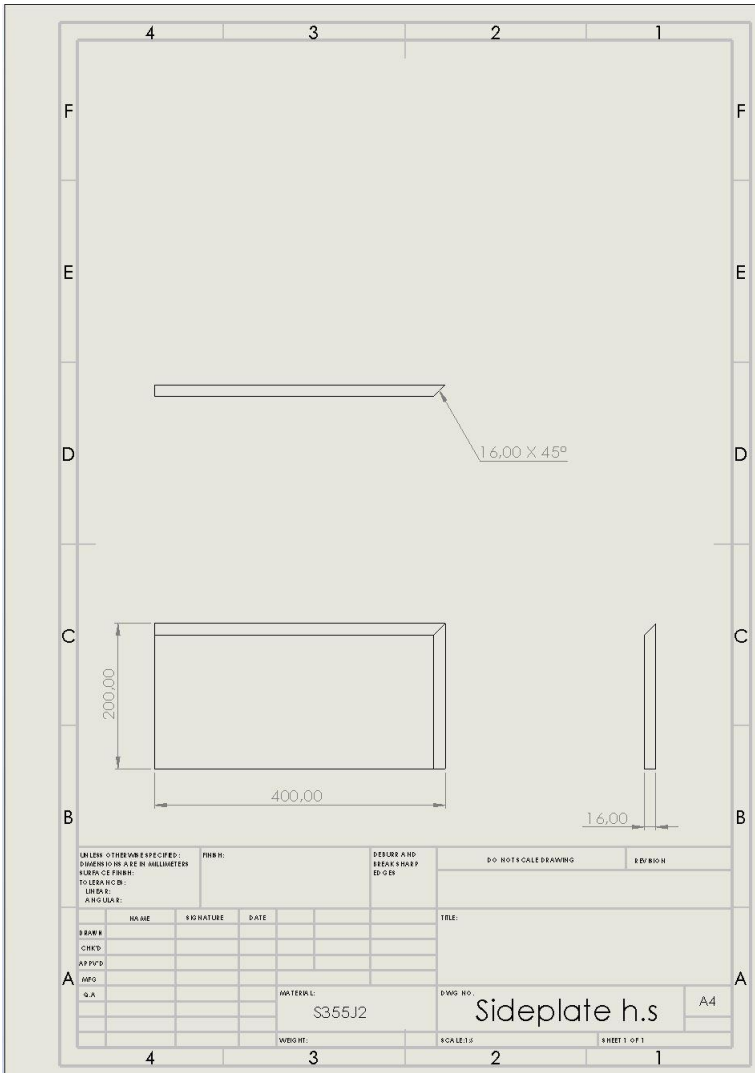
DWG NO. _____

WEIGHT: _____

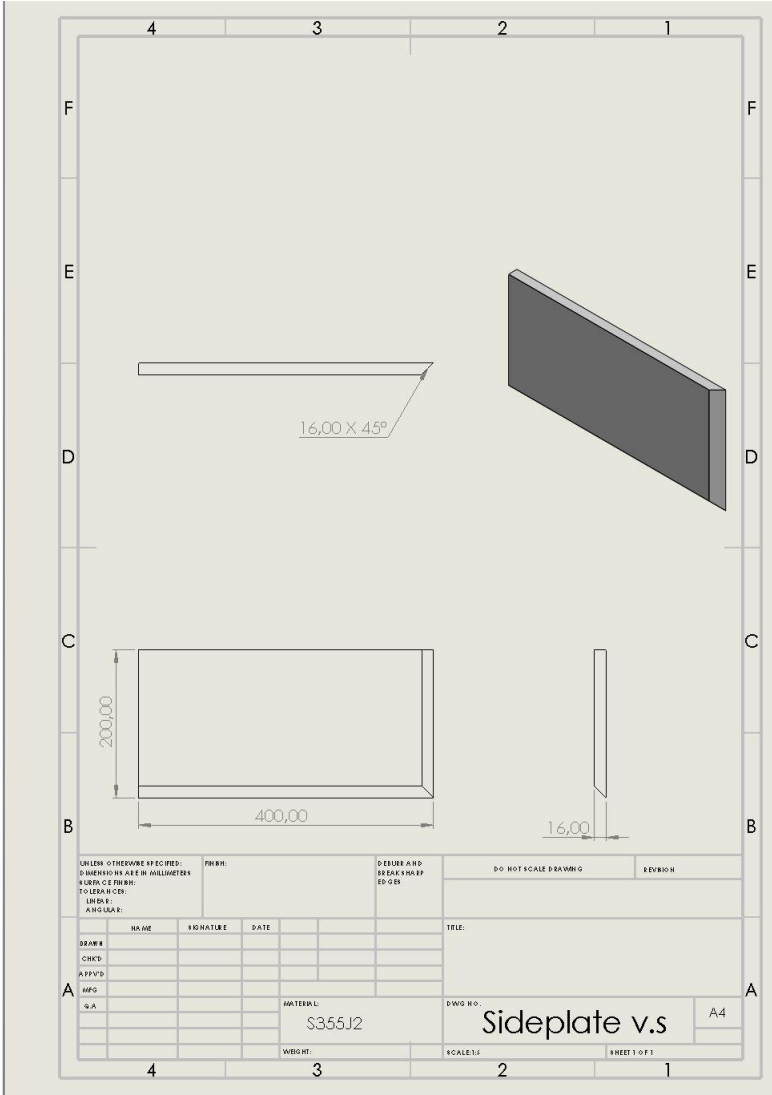
SCALE: 3:100

SHEET 1 OF 1

Sammenstilling Rev 2

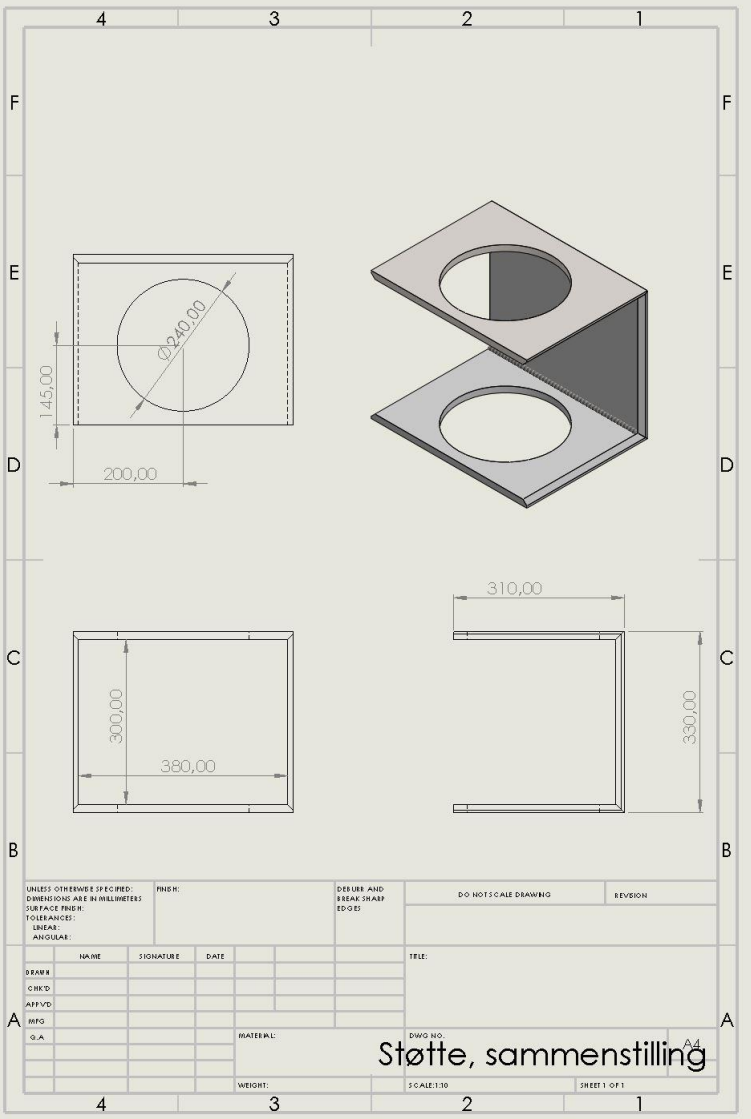


| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|---------|--|-----------------------------------|--|----------------------|--|--------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: TO LEADING DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ANGLES | | | | FINISH: | | DESIGN AND DRAWING PART NO. | | DO NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| DRAWN | | | | NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE: | |
| CHECKED | | | | NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE: | |
| APPROVED | | | | NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE: | |
| MFG. | | | | NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE: | |
| Q.A. | | | | NAME | | SIGNATURE | | DATE | | TITLE: | |
| MATERIAL: | | | | S355J2 | | DWG NO.: | | Sideplate h.s | | A4 | |
| WEIGHT: | | | | | | SCALE: | | 1:1 | | SHEET 1 OF 1 | |

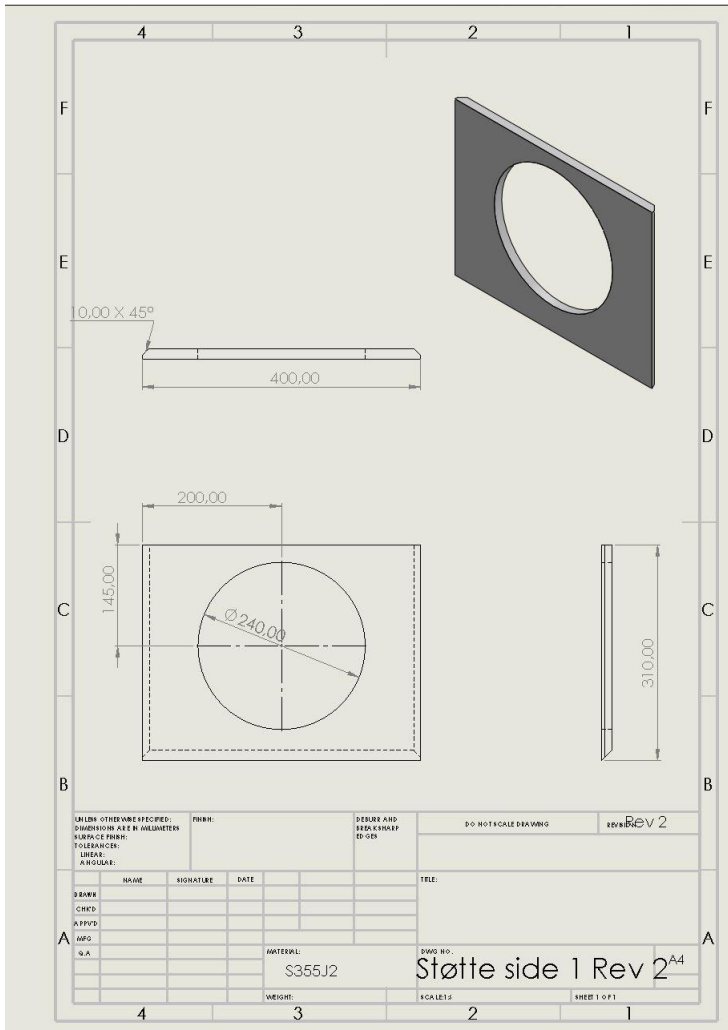


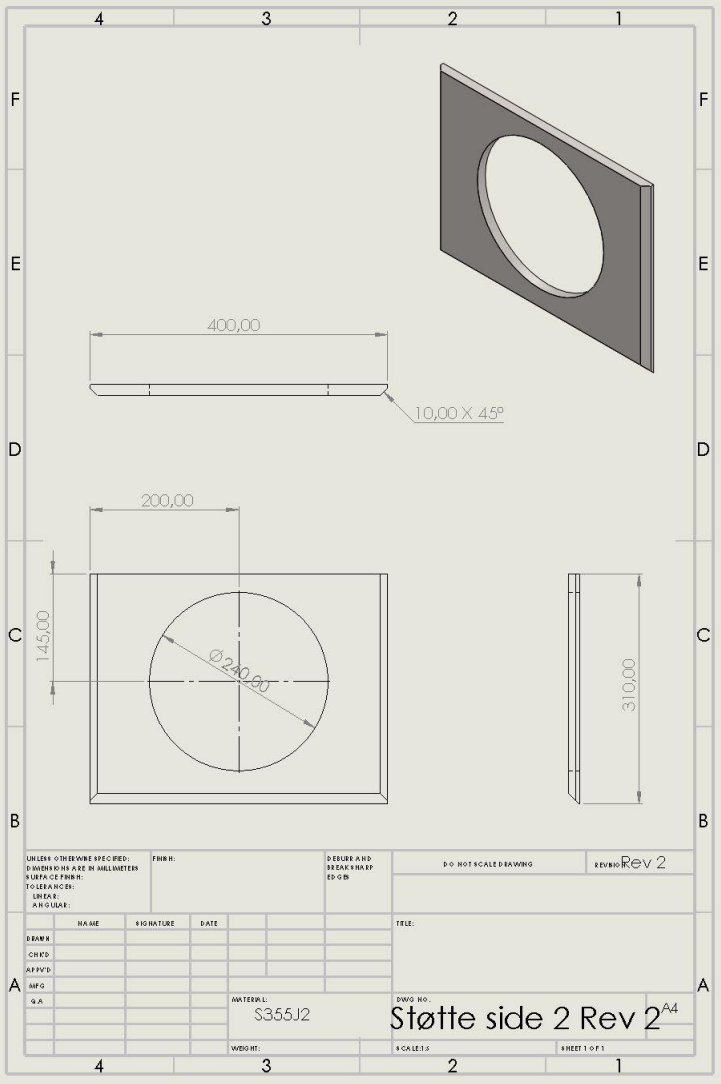
| | | | | | |
|---|--|---------|---------------------------------------|-----------------------|----------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS SHALL BE IN MILLIMETERS & DECIMALS THEREOF TO LEAST ONE UNLESS ANGULAR: | | FINISH: | DIMENSIONS BREAK FOR SP DETAILS | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
| DRAWN | | NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE |
| CHECKED | | | | | |
| APPROVED | | | | | |
| MFG | | | | | |
| Q.A. | | | | | |
| MATERIAL: | | S355J2 | | DWG NO. Sideplate v.s | |
| WEIGHT: | | | | SCALE: 1:1 | |
| | | | | SHEET 1 OF 1 | |

A4



| | | | | | | | | | |
|--|-----------|------------------------|--|------------------------------------|--|------------------------|--|----------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | FINISH: | | DESIGN AND BREAK SHARP EDGES | | D.O. NOT SCALE DRAWING | | REVISION | |
| SURFACE FINISH: | | | | | | | | | |
| TOLERANCES: | | | | | | | | | |
| LINEAR: | | | | | | | | | |
| ANGULAR: | | | | | | | | | |
| NAME | SIGNATURE | DATE | | TELE: | | | | | |
| DRAWN | | | | | | | | | |
| CHECKED | | | | | | | | | |
| APPROVED | | | | | | | | | |
| INFO | | | | | | | | | |
| S.A. | | | | | | | | | |
| MATERIAL: | | D.W.G. NO. | | SCALE: 1:30 | | SHEET 1 OF 1 | | A4 | |
| WEIGHT: | | Støtte, sammenstilling | | | | | | | |





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 TOLERANCES:
 FRACTIONS:
 DECIMALS:

FINISH:

DESIGN AND
 BREAK HARP
 EDGEM

DO NOT SCALE DRAWING

REVISED Rev 2

| NAME | SIGNATURE | DATE | TELEPHONE |
|----------|-----------|------|-----------|
| DESIGN | | | |
| CHECKED | | | |
| APPROVED | | | |
| DATE | | | |
| BY | | | |
| QA | | | |

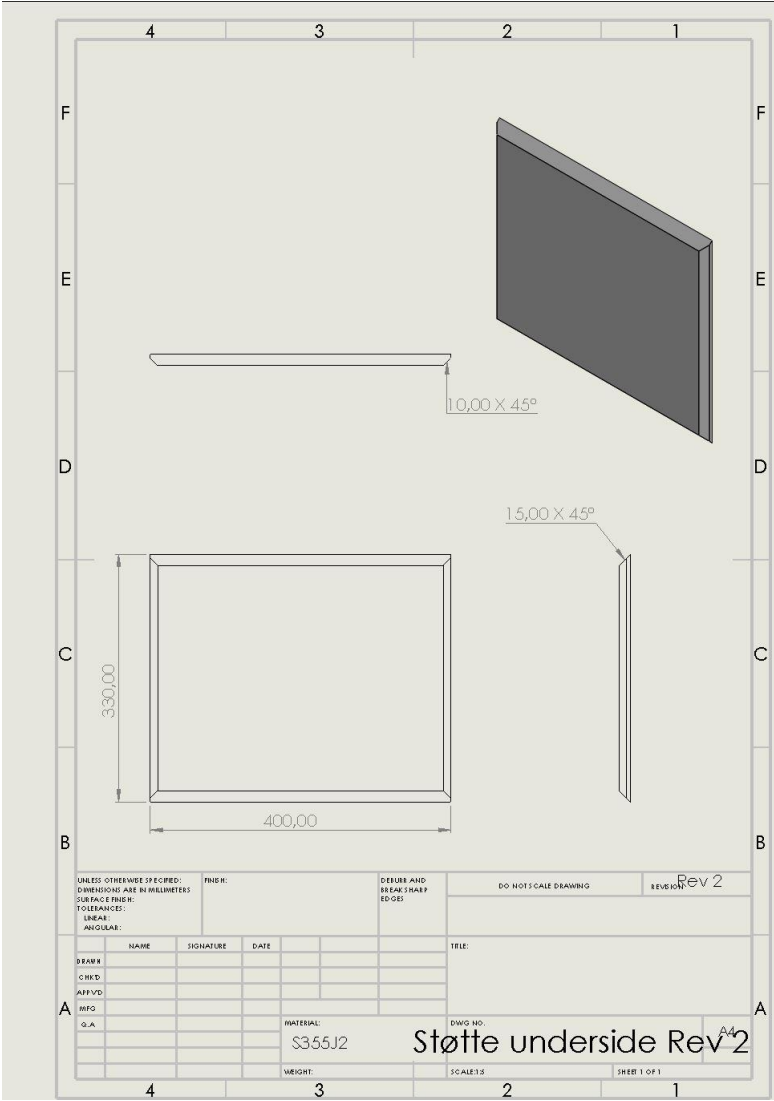
AMTERRVL
 S355J2

DWG NO. Støtte side 2 Rev 2^{A4}

WEIGHT:

SCALE:

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DESURE AND
BEAR STRAEP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Rev 2

| NAME | SIGNATURE | DATE | | | | DATE | | | |
|--------|-----------|------|--|--|--|------|--|--|--|
| DRAWN | | | | | | | | | |
| CHK'D | | | | | | | | | |
| APP'VD | | | | | | | | | |
| MFG | | | | | | | | | |
| Q.A. | | | | | | | | | |

DATE:

MATERIAL:
S355J2

DWG NO.

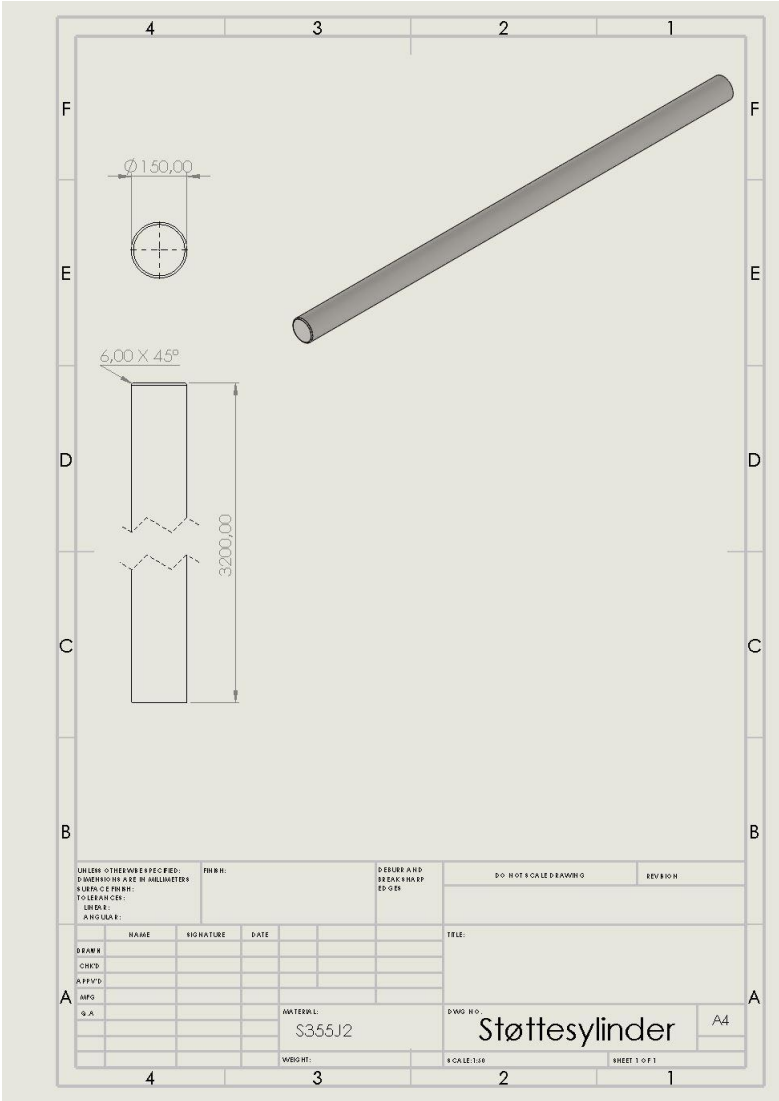
Støtte underside Rev 2

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
TOLERANCES:
UNLESS INDICATED:

FRACTION

DECIMALS AND
BREAKS MUST
BE OPEN

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE | | TELE: |
|--------|------|-----------|------|--|-------|
| DESIGN | | | | | |
| CHECK | | | | | |
| APPROV | | | | | |
| INFO | | | | | |
| Q.A. | | | | | |

MATERIAL:
S355J2

DWG NO.

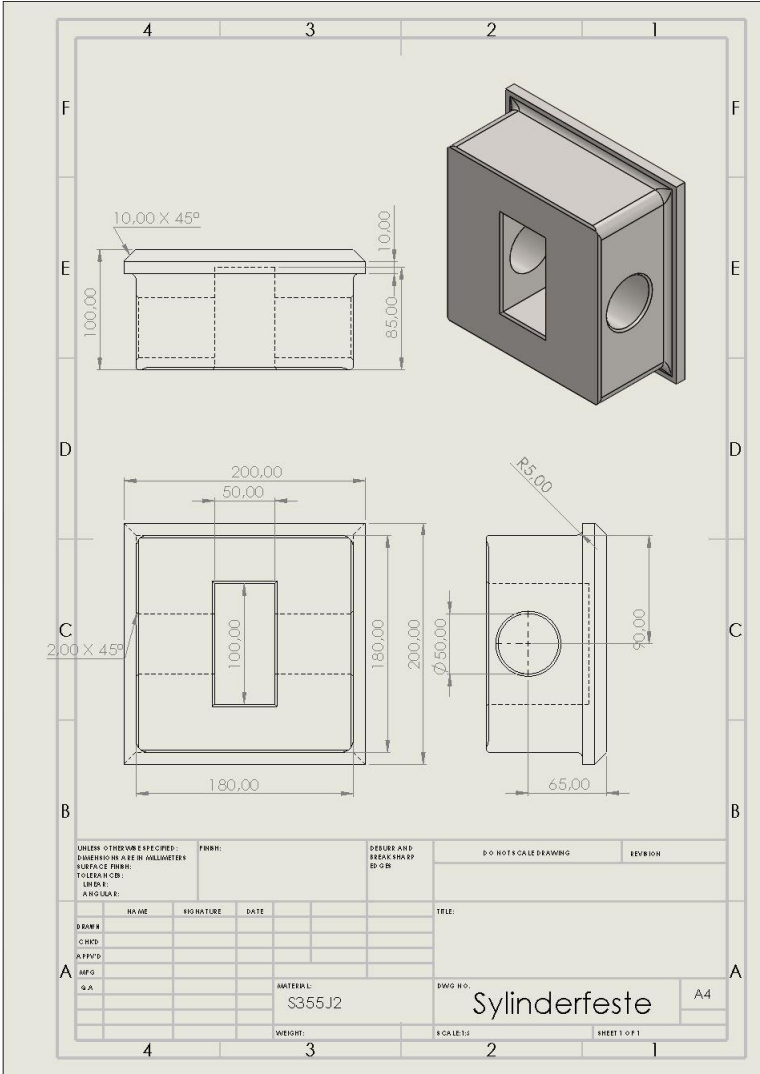
Støttesylinder

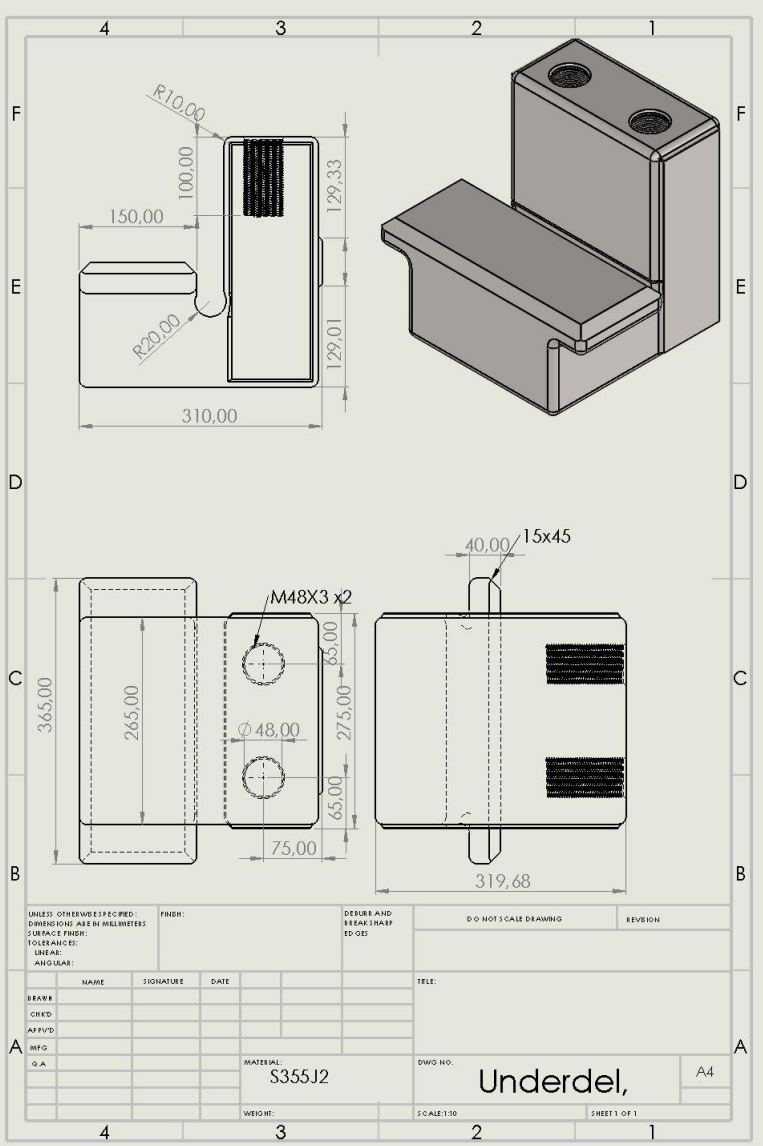
A4

WEIGHT:

SCALE: 1:100

SHEET 1 OF 1





Vedlegg 15

Kostnadsestimat

Norsk stål

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|--|----------------|------------------------|---------------|--------------|
| 334472 | 54314286 | 400 x 200 x 16mm x 12m | 1737.6 KG/STK | 35.57 per KG |
| Ved kjøp av 12m lengde vil prisen være | | | 61 806,43 NOK | |
| Lengde nødvendig for jigger | | | 13984mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 72 025,09 NOK | |

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------|
| 313549 | 54314222 | 150mmxØx 6-7.5m | 141KG/M | 36.07 per KG |
| Ved kjøp av 6m lengde vil prisen være | | | 30 515,22 NOK | |
| Lengde nødvendig for jigger | | | 14480mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 73 643,40 NOK | |

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------|
| 313561 | 21141965 | 280mmxØx6-7.5m | 493KG/M | 46,62 per KG |
| Ved kjøp av 6m lengde vil prisen være | | | 137 901,96 NOK | |
| Lengde nødvendig for jigger | | | 740mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 17 007,91 NOK | |

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------|
| 313554 | 54314222 | 200mmxØx6-7.5m | 251KG/M | 36,07 per KG |
| Ved kjøp av 6m lengde vil prisen være | | | 54 321,42 NOK | |
| Lengde nødvendig for jigger | | | 1280mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 11 588,57 NOK | |

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------|
| 313556 | 54314222 | 220mmxØx6-7.5m | 304KG/M | 40,50 per KG |
| Ved kjøp av 6m lengde vil prisen være | | | 73872 NOK | |
| Lengde nødvendig for jigger | | | 880mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 10 834,56 NOK | |

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|--|----------------|--------------------|---------------|--------------|
| 334467 | 54314286 | 300x300x16mmx12m | 1738KG/STK | 35,57 per KG |
| Ved kjøp av 12m lengde vil prisen være | | | 61 820,66 NOK | |
| Lengde nødvendig for jiggeren | | | 4000mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 20 606,89 NOK | |

| <i>Varenummer</i> | <i>NOBBnr.</i> | <i>Beskrivelse</i> | <i>Enhet</i> | <i>Pris</i> |
|--|----------------|--------------------|---------------|--------------|
| 312001 | 21140355 | 200x200x16.0mmx12m | 1119.6KG/STK | 35,57 per KG |
| Ved kjøp av 12m lengde vil prisen være | | | 39 824,17 NOK | |
| Lengde nødvendig for jiggeren | | | 7415.84mm | |
| Pris for angitt lengde | | | 24 607,49 NOK | |

| Varenummer | Pris | | | | | |
|------------|---------------|--|--|--|--|--|
| 334472 | kr 72 025,09 | | | | | |
| 313549 | kr 73 643,40 | | | | | |
| 313561 | kr 17 007,91 | | | | | |
| 313554 | kr 11 588,57 | | | | | |
| 313556 | kr 10 834,56 | | | | | |
| 334467 | kr 20 606,89 | | | | | |
| 312001 | kr 24 607,49 | | | | | |
| | | | | | | |
| SUM | kr 230 313,91 | | | | | |