

William Bertin Skoglund
Mads Emre Karakas
Anne Kristine Åvik

Designutvikling og konstruksjonsevaluering av brakettløsning

Innen snøryddingsindustrien hos Øveraasen

Bacheloroppgave i Maskiningeniør

Veileder: Per Harald Ninive

Mai 2020

Designutvikling og konstruksjonsevaluering av brakettløsning

Innen snøryddingsindustrien hos Øveraasen

Prosjektgruppe: William Bertin Skoglund, Mads Emre Karakas
og Anne Kristine Åvik

Veileder: Per Harald Ninive

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag Maskin

Innlevert: Mai 2020

Veileder: Per Harald Ninive

Oppgavens tittel: Design utvikling og konstruksjonsvaluering av brakettløsning	Dato: 20.05.20		
	Antall sider: 172		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn Bachelor gruppen: Mads Emre Karakas, William Bertin Skoglund og Anne Kristine Åvik			
Veileder: Per Harald Ninive			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Jan Ivar Thorsrud			

Sammendrag:

Våren 2020 har bacheloroppgaven blitt gjennomført på oppdrag fra Øveraasen. Øveraasen er ledende på utvikling og konstruering av snøryddingsutstyr, og ønsker å kunne tilby kunden et komplett produkt. De ønsket å utvikle et design på en brakettløsning som skal brukes sammen med RS 200/400 sopemaskin og kobles på en traktor, som skal fungere som en trekkvogn. Prosjektet er løst ved å gjøre forbedringer med utgangspunkt i en tidligere skissert brakettløsning. Dette ble utført i samarbeid med teknisk og verkstedspersonell på Øveraasen. Med vårt forslag til design har vi undersøkt konstruksjonens motstandsdyktighet mot frittstående belastninger av RS200/400, og horisontale krefter for brakettløsningen under transport. Ulike materialer har også blitt vurdert i prosessen, men konstruksjonsstål har blitt identifisert som det mest aktuelle materialet. Simuleringene tilfredsstillt krav og begrensninger spesifisert fra oppdragsgiver, og resultatet viser at det er mulig for Øveraasen å bruke designet til å produsere en brakettløsning som møter de gitte kravspesifikasjonene.

Stikkord:

Festebrakett
RS 200/400 sope- og blåsemaskin
ValtraT234







William Bertin Skoglund, Mads Emre Karakas, Anne Kristine Åvik

Abstract

This bachelor thesis was completed in the spring of 2020 on assignment from Øveraasen. Øveraasen is a leading company within development and construction of snow removal equipment. For this assignment, Øveraasen wanted us to develop a bracket solution to complete their product range for RS200/400 sweepers. This way the sweeper can be connected to a tractor in addition to the lorry, which today is the only possible way to transport it. This project has been solved by making improvements based on a previous draft of the bracket solution in cooperation with engineers and production workers at Øveraasen. We examined the proposed design's resistance to stand-alone loads of RS200/400, and horizontal forces for the bracket solution during transport. Various materials were considered in the process, and structural steel was identified as the optimal choice. The structural strength simulations meet the requirements and limitations specified by Øveraasen, and the result shows that it is possible to use the proposed design to produce the bracket solution that fulfills the given requirements.

Forord

Rapporten representerer en videreføring av tidligere forprosjekt til denne bacheloroppgaven, hvor problemstillingen er gitt av Øveraasen. Oppgaven viser forslag til design, konstruksjon, materialvalg og styrkeberegning som tilfredsstillende gitt kravspesifikasjon. Vi har vurdert forslag til et design av en brakettløsning som betyr at bedriften får mulighet til å kunne tilby kunden et komplett produkt.

Det har vært en interessant, lærerik og krevende prosess som har gitt oss økt kunnskap om hvor sammensatt og komplekst forslag til et nytt design kan være. Samtidig er vi overbevist om at prosessen har satt oss i stand til å bli fremtidige gode ingeniører.

Vi er takknemlige for gode råd og konstruktive tilbakemeldinger fra vår veileder Per Harald Ninive og faglærer Thomas Haavi. Og det rettes stor takk til Jan Ivar Thorsrud på Øveraasen AS, vi er veldig takknemlige for all informasjon, hjelp og veiledning under hele oppgaveperioden.

Gruppe 9

Dato: 20.05.2020

Mads Emre Karakas Wilhelm Bertin Skoglund Anne Kristine Åvik

Innholdsfortegnelse

Abstract	iii
Forord	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	x
Tabelliste	xii
Begrepsliste	xiii
Symbolliste.....	xv
Formelliste.....	xvi
1 Innledning.....	1
1.1 Presentasjon av bedriften Øveraasen.....	2
1.2 Oppgavedefinisjon.....	2
1.2.1 Tema og bakgrunn.....	2
1.2.2 Mål og effektmål	3
1.2.3 Rammer	3
1.2.4 Standarder og verktøy	3
1.3 Problemstilling.....	6
1.3.1 Målgruppe	6
1.3.2 Aktivitet 1: Design	6
1.3.3 Aktivitet 2: Elementberegning	6
1.3.4 Aktivitet 3: Manuell styrkeberegning	6
1.3.5 Aktivitet 4: Produksjonsmetoder.....	7
1.3.6 Aktivitet 5: Økonomisk vurdering	7
1.3.7 Aktivitet 6: Bærekrafts-vurderinger	7
1.4 Disposisjon	8
2 Teori	9
2.1 Designutforming.....	9
2.1.1 Konstruksjonsfaser	9
2.1.2 Modellering	10
2.1.3 Maskintegninger.....	12
2.2 Elementmetoden	16

2.2.1	Lineære og ikke-lineære elementanalyser	16
2.2.2	Spenningsingularitet	17
2.3	SolidWorks Simulations	19
2.3.1	Elementnettverk i SolidWorks Simulations	19
2.3.2	Lineærelementanalyse: statistiskanalyse.....	21
2.3.3	Ikke-lineær elementanalyse.....	21
2.3.4	Lastekonfigurasjoner og fastholdninger.....	22
2.3.5	Kontakt i SolidWorks Simulation	23
2.3.6	Høy grad av forskyvning (large displacement solution)	23
2.3.7	Submodellering i SolidWorks	24
2.4	Konstruksjonsstål S355	24
2.4.1	Konstruksjonsstålets bakgrunn.....	24
2.4.2	Gasser i stål	25
2.4.3	Konstruksjonsstål varianter	25
2.4.4	Høyfast stål (Finkornet stål).....	26
2.4.5	S355 – oppbygging (ferritt-perlitt struktur)	28
2.4.6	Konstruksjonsstålets sveisbarhet.....	30
2.5	Materialer.....	32
2.5.1	A4-80 og AISI 316.....	32
2.5.2	6082-T6.....	33
2.5.3	Aluminium versus stål.....	34
2.6	Produksjonsmetode.....	35
2.6.1	Oppdelende bearbeiding.....	35
2.6.2	Sammenføyningsmetoder.....	37
2.6.3	Sponfraskillende bearbeiding.....	39
2.6.4	Overflatebehandling	41
2.7	Spennings- og tøyningkonsentrasjoner	42
2.7.1	Von Mises spenning	42
2.7.2	D-verdi	42
2.8	Bærekraftperspektivet.....	43
2.8.1	Introduksjon	43
2.8.2	Bærekraftig produksjon.....	43
2.8.3	Livssyklusanalyse.....	44

2.8.4	SolidWorks Sustainability	44
3	Metode.....	45
3.1	Metodegrunnlag.....	45
3.1.1	Kvalitativ	45
3.1.2	Kvantitativ	46
3.1.3	Empiri.....	47
3.1.4	Innsamling av data	47
3.2	Gjennomføringer og avgrensinger.....	48
3.2.1	Aktivitet 1: Design	48
3.2.2	Aktivitet 2: Elementberegning	49
3.2.3	Aktivitet 3: Manuell styrkeberegning	50
3.2.4	Aktivitet 4: Produksjonsmetoder.....	50
3.2.5	Aktivitet 5: Økonomisk vurdering	51
3.2.6	Aktivitet 6: Bærekraft-vurderinger.....	52
4	Aktivitet 1: Design	53
4.1	Metode.....	53
4.1.1	Designprosjekt.....	53
4.2	Resultat	54
4.2.1	Geometriske begrensinger.....	54
4.2.2	Konseptutvikling	56
4.2.3	Konkretisering av design.....	56
5	Aktivitet 2: Elementberegning	61
5.1	Metode.....	61
5.1.1	Forarbeid	61
5.1.2	Analysescenario	62
5.1.3	Materialdata og materialmodeller	63
5.1.4	Lastkonfigurasjon.....	63
5.1.5	Akseptkriterier.....	64
5.1.6	Fremgangsmetode for elementberegning	64
5.1.7	Tolkning av resultater.....	65
5.1.8	Analysemodell.....	66
5.2	Resultat	68
5.2.1	Lastkonfigurasjoner.....	68

5.2.2	Globalt scenario 1.....	70
5.2.3	Konvergenstudie scenario 1.....	73
5.2.4	Resultat globalt scenario 1	78
5.2.5	Globalt scenario 2.....	80
5.2.6	Konvergenstudie scenario 2.....	83
5.2.7	Resultat globalt scenario 2	88
5.2.8	Vurdering av materialer	90
6	Aktivitet 3: Manuell styrkeberegning	91
6.1	Resultat.....	91
6.1.1	Styrkeberegning	91
7	Aktivitet 4: Produksjonsmetoder.....	98
7.1	Resultat.....	98
7.1.1	Valg av produksjonsmetoder.....	98
8	Aktivitet 5: Økonomisk vurdering	101
8.1	Metode.....	101
8.2	Resultat.....	102
8.2.1	Selvkostanalyse	102
8.2.2	Vurderinger av kostnadsoversikten.....	103
9	Aktivitet 6: Bærekrafts-vurderinger	104
9.1	Metode.....	104
9.1.1	Forarbeid	104
9.1.2	SolidWorks Sustainability prosess	105
9.1.3	Analysescenario	106
9.1.4	Materialdata og materialmodeller	106
9.2	Resultat.....	106
9.2.1	SolidWorks Sustainability konfigurasjon.....	106
9.2.2	Parameteroppsett med SolidWorks Sustainability LCA	108
9.2.3	Livssyklusanalyse SolidWorks Sustainability resultat.....	109
9.2.4	Materialdata for miljøpåvirkninger ved stål og aluminium	110
9.2.5	Konklusjon av bærekrafts-vurderinger.....	111
10	Diskusjon.....	113
10.1	Design	113
10.2	Elementberegning	114

10.3	Manuell beregning	115
10.4	Produksjonsmetoder.....	116
10.5	Økonomi-vurderinger	116
10.6	Bærekrafts-vurderinger	117
10.7	Kravspesifikasjon.....	118
10.8	Reliabilitet og validitet.....	119
11	Konklusjon	120
11.1	Videre arbeid.....	120
	Litteraturliste	121
12	Vedlegg	126

Figurliste

Figur 1 - 3D-modell av en eksosklemmer	11
Figur 2 - 2D-tegnet konstruksjon	11
Figur 3 - Fulldefinert 2D-skisse	11
Figur 4 – Bilde til venstre: Prosjeksjonsmetoder. Bilde til høyre Rissplasering (First angle projection)	12
Figur 5 - Detaljtegning illustrasjon	13
Figur 6 - Sammenstillingstegning illustrasjon	14
Figur 7 - Toleranseoppgitt mål (med grenseavvik)	14
Figur 8 - Pasningsområder (venstre boring og høyre aksling)	15
Figur 9 - von Mises spenningsstudium ved ulike elementkornstørrelser	18
Figur 10 - Konvergens av von Mises spenning	18
Figur 11 - Lineærelement (til venstre) og parabolisk element (til høyre)	20
Figur 12 - Lineært skallelement (til venstre) og parabolisk skallelement (til høyre)	20
Figur 13 – Tettet stål (Sugetrakt)	27
Figur 14 - Skjematisk dannelse av fin-kornet ferritt kornstruktur for stålkonstruksjoner.	30
Figur 15 - Stål og dens varmpåvirkede sone	30
Figur 16 - Konstruksjonsstål varmpåvirket sone (0,2% karbon)	31
Figur 17 - Oversiktsbilde av brenneren og gasstilførsel	36
Figur 18 - Aktuelle skjæremunnstykker	36
Figur 19 - MIG/MAG sveiseapparat	38
Figur 20 - eksempel på CNC fresemaskin	40
Figur 21 - Håndtegnet skisse av kjørehøyde	55
Figur 22 - Sammenstilling (Konseptskisse)	56
Figur 23 - Fra konsept til konkretisering (Strukturramme)	57
Figur 24 - Fra konsept til konkretisering (Avstivningsrør)	57
Figur 25 - Fra konsept til konkretisering (Toppstag)	58
Figur 26 - Fra konsept til konkretisering (Sideplate)	58
Figur 27 - Fra konsept til konkretisering (Støtteben)	59
Figur 28 - Fra konsept til konkretisering (Topplate og låsemekanisme)	59
Figur 29 - Illustrasjonsbilde av ferdig utviklet design	60
Figur 30 - Illustrasjonsbilde brakett (ovenfra)	60
Figur 31 - Skjematisk prosess for fremgangsmetoden for elementberegning	65
Figur 32 - Framstilling globalt scenario 1	66
Figur 33 - Framstilling av globalt scenario 2	67
Figur 34 - Områder med opptredende krefter, som krever lokal tilpasning	67
Figur 35 - Globalt konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3 ...	74
Figur 36 - Globalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmisk skala)	74
Figur 37 Områder med lokal element-tilpasning	75
Figur 38 - Lokal tilpasning konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3.	76
Figur 39 - Lokalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmisk skala)	76

Figur 40 - Topplate låseforbindelse komponent og dens skarpe kanter.....	77
Figur 41 - Singularitet på topplatens låseforbindelses-komponent.....	77
Figur 42 - Von Mises spenning S355J2G3 (Globalt scenario 1)	78
Figur 43 - Nedbøyning og forskyvning S355J2G3 (Globalt scenario 1)	78
Figur 44 - Globalt konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3...	84
Figur 45 - Globalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmisk skala).....	84
Figur 46 - Lokal tilpassing (Konvergenstudiet).....	85
Figur 47 - Lokal tilpasning konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3	86
Figur 48 - Lokalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmisk skala)	86
Figur 49 - Skarpe kanter for strukturen og boltehull	87
Figur 50 - Singularitet ved kantlinjen til hullet	87
Figur 52 - "Probing" i SolidWorks Simulations.....	88
Figur 53 - Nedbøyning globalt scenario 2 (S355J2G3 akselerasjon).....	89
Figur 54 - Illustrasjon på plassering av skruene som er beregnet.	91
Figur 52 - Gjengetabell ISO-metriske gjenger.....	92
Figur 55 - Gjengevinkel, aksialkraft og normalkraft.....	93
Figur 56 - Illustrasjon på plassering av dragarmsbolt til toppstaket som er beregnet.....	96
Figur 57 - automatisk skjærebrenner.....	99
Figur 58 - eksempel på hull som skal bores i CNC fresemaskin	100

Tabelliste

Tabell 1 – Kjemisk sammensetting av S355J2G3.....	27
Tabell 2 - Kjemisk sammensetning - syrefast stål A4.....	33
Tabell 3 - AlSi1Mg	33
Tabell 4 - Aluminium 6082-T6 mekaniske egenskaper	34
Tabell 5 - Egenskaper for aluminiumslegering 6082 og karbonstål S355 (Aasgaard, 2012), .	35
Tabell 6 - Akseptkriterier spenning.....	64
Tabell 7 - Materialdata for globalt scenario 1	70
Tabell 8 - Kraftkonfigurasjon for globalt scenario 1.....	70
Tabell 9 - Fastholdinger for globalt scenario 1	71
Tabell 10 - Elementnettverk for globalt scenario 1	71
Tabell 11 - Lokal tilpasning for globalt scenario 1	72
Tabell 12 - Globalt konvergenstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3.....	73
Tabell 13 - Lokalt konvergenstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3	75
Tabell 14 - Resultater globalt scenario 1	79
Tabell 15 - Maksimal vertikal last.....	79
Tabell 16 - Materialdata for globalt scenario 2	80
Tabell 17 - Kraftkonfigurasjon for globalt scenario 2.....	80
Tabell 18 - Fastholdinger for globalt scenario 2	81
Tabell 19 - Elementnettverk for globalt scenario 2.....	81
Tabell 20 - Lokal tilpasning for globalt scenario 2	82
Tabell 21 - Globalt konvergenstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3.....	83
Tabell 22 - Lokalt konvergenstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3	85
Tabell 23 - Resultater globalt scenario 2.....	89
Tabell 24 - Maksimal horisontal last.....	90
Tabell 25 - Følgende kostnader er benyttet i selvkostanalysen:.....	102
Tabell 26 - Parameter livssyklusanalyse i SolidWorks Sustainability livssyklusanalysen	108
Tabell 27 - Livssyklusanalyse (CML-metoden) resultater med SolidWorks Sustainability..	109
Tabell 28 - Miljøpåvirkning aluminium 6063-T6 og S355J2G3	110
Tabell 29 - Materialtap i ulike atmosfærer over 8 års periode	111

Begrepsliste

Tabell med begreper, sortert i alfabetisk rekkefølge.

Begrep	Definisjon
Atommasseenhet	Atommasseenhet – internasjonal enhet for å måle atommasse og har symbolet u. 1 u tilsvarer $1,66 \times 10^{-27}$ kg.
BOM	Bill of materials, er en omfattende liste over deler, gjenstander, sammenstillinger og annet materiale som kreves for å lage et produkt
CAD	Computer-aided-design
CAE	Computer-aided Engineering.
CEV	Carbon Equivalent Content – Det ekvivalente karboninnholdsbegrepet brukes på jernholdige materialer, typisk konstruksjonsstål og støpejern, for å definere forskjellige egenskaper til legeringen når mer enn bare karbon brukes som et legerings element.
CML-metoden	En livssyklus analyse metode som var utviklet ved universitetet i Leiden, opprinnelig 1996 CML-metoden, men senere oppdatert til 2001 CML-metoden og anvender 1700 ulike strømlinjer for å gjøre bærekrafts evalueringer
CO₂	Karbondioksid – Kjemisk forbindelse mellom karbon og oksygen, nødvendig for liv på planeten, men i større konsentrasjoner og forbrenning av kull, olje og gass resulterer dette til økt klimaeffekt.
DOF	Degrees of freedom (frihetsgrader).
First angle projection	Europeisk projeksjonsmetode for å framstille 3D-objekt til en maskintegning.
HAZ	Heat-affected zone – varmepåvirket sone, området hvor det oppstår lokal endring av mikrostruktur under sveising.
IIW	International Institute of Welding.
ISO	International Organization for Standardization.

LCA	Life Cycle Assessment – En iterativ metode for beregning av miljøpåvirkninger fra et produkt.
Mesh	Elementnettverk.
NDT	Non-destructive testing.
RAL	Fargesystem utviklet av Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung som enkelt forklarer ulike farger. Det består i dag av 200 ulike farger.
RS200	Det mindre sope- og blåsemaskinverktøyet fra Øveraasen, som brukes for lufthavner.
RS400	Det større Sope- og blåsemaskinverktøyet fra Øveraasen, som brukes for lufthavner.
SHT	Sumitomo High Toughness - Termisk behandling av konstruksjonsstålet for å gi fin kornstruktur med høy flytegrense.
SI-systemet	Système international d'unités – Det internasjonale systemet for måling av fysiske størrelser.
SolidWorks	Programvare benyttet for designutvikling og elementanalyse.
SolidWorks Simulations	Utvidelse innen programvaren SolidWorks og benyttes for å gjennomføre elementanalyse.
Sveisbarhet	Materialets egenskap for sammenføring, uten at mikrostruktur og materialeegenskapene svekkes betydelig.
Third angle projection	Amerikansk projeksjonsmetode for å framstille 3D-objekt til en maskintegning.

Symbolliste

Tabell med symboler, sortert i vår egen rekkefølge.

Symbol	Definisjon	Benevning
E	Elastisitetsmodul	MPa
σ	Spenning	MPa
ε	Tøyning	%
F	Kraft	N
K	Stivhet	kg/mm
σ_d	Spenning i bolt på grunn av strekk	MPa
A_s	Boltens spenningsareal	mm ²
d_1	Boltens lille diameter	mm
d_m	Boltens midt diameter	mm
σ_f	Flytegrense	N/mm ²
μ	Friksjonskoeffisienten	
r_m	Skruens midlere radius	mm
φ	Gjengens stigningsvinkel	
P	Skruens stigning	
ε_1	Korrigert friksjonsvinkel	
α	Halve gjengevinkelen	
τ	Skjærspenning	N/mm ²
δ	Deformasjon	mm
A_0	Areal (utgangspunkt)	mm ²
L_0	Lengde (utgangspunkt)	mm
L_1	Lengde (etter strekk)	mm
ΔL	Lengdeendring	mm
R_e	Flytegrensen	N/mm ²
Kjemi		
C	Kjemis symbol for karbon	
O	Kjemisk symbol for oksygen	
Mg	Kjemisk symbol for magnesium	
Si	Kjemisk symbol for silisium	
Cr	Kjemisk symbol for krom	

Formelliste

Beskrivelse	Formel	Nummer
Hooke's lov	$F_s = k\delta$	(1)
Spenning	$\sigma = \frac{F}{A}$	(2)
Lengdeendring	$\Delta l = l_1 - l_0 = \delta$	(3)
Tøyning	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$	(4)
Skruens spenningsareal	$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_m^2 + d_i^2}{2} \right)$	(5)
Vrimoment	$M_v = F \times \tan(\varphi + \epsilon_1) \times r_m$	(5)
Totalt tiltrekningsmoment	$M = M_v + M_s$	(6)
Friksjonskraftmoment	$M_s = \mu \times F \times r'_m$	(7)
Strekk	$\sigma_v = \frac{F}{A_s}$	(7)
Aksialkraft	$F = \frac{M}{\tan(\varphi + \epsilon_1) \times r_m + \mu \times r^1 m}$	(8)
Gjengens stigningsvinkel	$\tan \varphi = \frac{p}{\pi \times d_m}$	(9)
Korrigert friksjonsvinkel	$\tan \varepsilon = \frac{\mu}{\cos \alpha}$	(10)
Radius som friksjonskraften antas å virke på	$r'_m = \frac{N + d_h}{4}$	(11)
Skruens midlere radius	$r_m = \frac{d_m}{2}$	(12)
Vridning	$\tau_v = \frac{M_v}{W_p} = \frac{M_v}{\frac{\pi}{16} \times d_i^3}$	(13)
Opptredende spenning	$\sigma_j = \sqrt{\sigma_d^2 + 3\tau_v^2}$	(14)
Sikkerhet mot flyting	$n_f = \frac{\sigma_f}{\sigma_j}$	(15)
Forlenging	$\delta = \frac{M_v \times l}{A_s \times E_s \times \tan(\varphi + \epsilon_1) \times r_m}$	(16)

1 Innledning

Denne rapporten er skrevet med utgangspunkt i emnebeskrivelsen BIMAS39 og håndbok for bacheloroppgaven ved ingeniørutdanning NTNU.

Vår problemstilling var – *Hvordan kan en brakettløsning designes og produseres for transport av sope- og blåsemaskinene innen Øveraasens katalog, med traktor som et transportmiddel?* Dette designet og endelige produktet skal ha tilstrekkelig holdbarhet til å kunne brukes sammen med Øveraasens sope- og blåsemaskin RS 200/400, og vil dermed føre til at traktoren kan fungere som en trekkvogn. Vår oppgave har vært å foreslå et design, materialer og gjennomføre styrkeberegninger som tilfredsstillende kravspesifikasjonen som er satt, slik at produktet blir optimalt ved bruk. Det finnes lignende løsninger på markedet, men Øveraasen ønsker selv å kunne tilby kunden et komplett produkt.

Oppgaven er bygd opp som en teknisk rapport og består av aktivitetene design, elementberegning, manuell styrkeberegning, produksjonsmetode, økonomivurdering og til slutt en bærekraftvurdering. Hver av aktivitetene inneholder teori, metode, gjennomføring og resultat av ulike beregninger. Videre fører aktivitetene til en diskusjon av resultatene og til slutt en oppsummering med endelig konklusjon. I tillegg drøfter vi underveis valgene vi har gjort i forhold til endring av design-, utforming, materiale og produksjonsmetode. Vi vil gjennom denne prosessen med skriving på et akademisk nivå, tilegne oss nyttig kunnskap og erfaringer som er nødvendig for å bli gode ingeniører. Kildehenvisninger er i tråd med prinsipper knyttet til Harvard referansestil.

For å komme i mål har vi hatt god dialog og jevnlig ukemøter internt i gruppen for å evaluere ukens leveranse, diskutert utfordringer og framdrift samt neste ukes arbeid. Det har også vært jevnlig kommunikasjon med veileder og ekstern oppdragsgiver Øveraasen for å sikre fremgang i oppgaven. Vårt fokus har vært å designe, styrkeberegne, analysere og komme fram til et forslag til en produksjonsmetode slik at bedriften kan testprodusere et produkt som er i henhold til gitte kravspesifikasjoner.

1.1 Presentasjon av bedriften Øveraasen

Øveraasen ble grunnlagt i 1908 av Hans og Even Øveraasen, opprinnelig var bedriftens navn Øveraasen Motorfabrikk. Bedriften har 100 års erfaring, og er nå ledende for utvikling og konstruering av snøryddingsutstyr. Dette gjelder snøryddingsutstyr som er nødvendig å anskaffe seg for å håndtere utfordrende snø- og værforhold og til bruk på både flyplasser, jernbaner og veier. Teknologien strekker seg fra enkle snøploger til avanserte snøryddingsmaskiner. Bedriften har fokus på å investere i konstruksjon, utvikling, kompetanse og samtidig kontinuerlig forbedring. Dette er konkurransefortrinn som har hatt betydning for bedriften og som har bidratt til at mange av verdens største flyplasser bruker Øveraasens teknologi. Kjennetegnet er at produktene er enkle, fleksible, har stor kapasitet samt at Øveraasen leverer en total-pakke. Total-pakken strekker seg fra innkjøp av enkeltkomponenter, til leveranse og overlevering av et komplett produkt som tilfredsstillende kundens krav. (SolidWorks, 2020n).

1.2 Oppgavedefinisjon

1.2.1 Tema og bakgrunn

Oppdragsgiveren for denne oppgaven er Øveraasen ved Gjøvik. Tema for oppgaven er design av transport- og håndteringsverktøy for sope- og blåsemaskiner til lufthavner. Det skal konstrueres en brakettmodul som gjør det mulig å tilkoble verktøyet RS200 og RS400 på en traktor med trepunkts-feste bak. Dette vil gi Øveraasen en mulighet til å tilby en totalpakke til kunden, noe som fremmer deres formål om å utvikle seg og sine produkter, samt møte kundens ønsker.

1.2.2 Mål og effektmål

Resultatmålet med oppgaven er å tilegne seg kunnskap om å designe og konstruere en festebrakett som skal tåle dynamisk og statisk belastning, innenfor de kravspesifikasjonene som er gitt. I tillegg vil vi tilegne oss erfaring med å skrive en prosjektoppgave på et akademisk nivå samt å samarbeide gjennom gruppearbeid. Tett kommunikasjon med oppdragsgiver og intern veileder har også være en nyttig erfaring for oss.

Øveraasen har til i dag kun levert RS200/400 sope- og blåsemaskin med en ombygget lastebil av typen trekkvogn, den har fungert, men ikke som en optimal løsning. De ønsker nå å kunne tilby en løsning hvor en traktor fungerer som trekkvogn for sope- og blåsemaskinen.

Traktoren er et kjøretøy som har flere bruksområder enn lastebilen, og vil utenfor tiden den brukes som trekkvogn til RS 200/400 sope- og blåsemaskinen kunne brukes til andre oppgaver. Det er samtidig tenkt at brakettmodulen skal fungere som en støttebukk når tilhengeren RS 200/400 kobles av. Festebraketten vi nå konstruerer vil Øveraasen måtte kjøpe fra en ekstern leverandør dersom de ikke velger å produsere den selv. Et effektmål er derfor å kunne tilby en komplett løsning for kunden, samtidig som det kan bidra til økt salg for Øveraasen.

1.2.3 Rammer

Vi har klare rammer fra oppdragsgiver Øveraasen om konstruksjon av en brakettmodul med en kravspesifikasjon som skal følges. I tillegg følger krav fra regelverk og direktiver som setter ramme for hvordan vi kan konstruere brakettløsningen. Det er viktig at totalpakken er i henhold til kravspesifikasjonene, slik at Øveraasen til slutt kan bruke våre analyser til å starte egen produksjon av en brakettmodul.

1.2.4 Standarder og verktøy

Oppgaven omfatter flere emner fra maskiningeniørstudiet ved NTNU, studiested Gjøvik: mekanikk (BYG2251), materiallære for ingeniører (TEK2011), styrkeberegning (TEK2021), dataassistert design (TEK1002), elementmetoden (TEK2001), statistikk og økonomi (SMF2251) og produksjonsmetoder (TEK2111). For oppgaveskriving har emnene ingeniørrollen (TØL1001), prosjektledelse (SMF1212), teknologiledelse (TEK2031) og ingeniørfaglig system-emne (TØL1011) også vært relevante.

Standardkode	Tittel	Funksjon
Oppgaveskriving		
NS-EN ISO 9001:2015	Ledelsessystemer for kvalitet	Oppgaveskriving og samarbeid
NS-EN ISO 9004:2018	Kvalitetsledelse - Kvaliteten i en organisasjon	Oppgaveskriving og samarbeid
Materialer		
NS-EN 10250-2:1999	Friform-smigods av stål for alminnelig bruk - Del 2: Ulegerte kvalitetsstål og spesialstål	Material og mekaniske egenskaper av konstruksjonsstål (S355)
NS-EN ISO 3506-1:2009	Mekaniske egenskaper for korrosjonsbestandige festelementer av rustfritt stål	Material og mekaniske egenskaper av syrefast stål (AISI 314)
NS-EN 10088-2:2014	Rustfrie stål - Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for plater og bånd av korrosjonsbestandige stål for alminnelig bruk	Material og mekaniske egenskaper av A4-80 syrefast stål (1.4404)
NS-EN 573-3:2019	Aluminium og aluminiumlegeringer - Kjemisk sammensetning og form på plastisk bearbejdede produkter - Del 3: Kjemisk sammensetning og produktenes form	Material og mekaniske egenskaper av 6082-T6 Aluminium (1.4404)
Materialegenskaper og teknisk prøvetaking		
NS-EN ISO 6892-1:2019	Metalliske materialer — Strekkprøving — Del 1: Metode for prøving ved romtemperatur	Strekkprøvetesting av metalliske materialer
Designutforming		
NS-EN ISO 1302:2002	Geometriske produktspesifikasjoner (GPS) - Angivelse av overflatebeskaffenhet for teknisk produktdokumentasjon	Overflatesymbolene av produksjonstegninger
NS-ISO 128-24:1999	Tekniske tegninger - Generelle tegneregler - Del 24: Linjer for mekaniske tegninger	Tegnsetting for maskintegninger
NS-EN ISO 286-1:2010	Geometriske produktspesifikasjoner (GPS) - ISO-system for toleranser av lineære størrelser - Del 1: Grunnleggende toleranser og pasninger	Tegnsetting av toleranser og pasninger
NS 1410:1987	Tekniske tegninger - Målsetting - Generelle prinsipper, definisjoner, metoder for utførelse og spesielle angivelser	Tegnsetting og dimensjonssetting av produksjonstegninger

NS-ISO 2768-1:1989	Generelle toleranser - Del 1: Toleranser for ikke toleransesatte lineære mål og vinkelmål	Tegnsetting og dimensjonssetting av produksjonstegninger
NS-EN ISO 2553:2019	Sveising og beslektede metoder - Symboler for angivelse på tegninger - Sveiste forbindelser	Symbolangiving for sveiste forbindelser for produksjonstegninger
Elementberegning		
ISO 10303-104:2000	Integrated generic resource: Finite element analysis	FEA analysemodell
Manuell styrkeberegning		
NS-EN ISO 898-1:2013	Mekaniske egenskaper for festelementer av karbonstål og stållegeringer - Del 1: Skruer og pineskruer med spesifiserte fasthetsklasser - Grovgjenger og fingjenger	
NS 470:1969	Sveiste stålkonstruksjoner - Regler for beregning og utførelse	
Produksjonsmetoder		
NS-EN ISO 17662:2016	Sveising - Kalibrering, verifikasjon og gyldighet av utstyr benyttet til sveising, inklusive tilhørende aktiviteter	Godkjenning av sveiserelatert utstyr
NS-EN ISO 9692-1:2013	Sveising og relaterte metoder - Anbefalinger for fugetildanning - Del 1: Manuell metallbuesveising, gassbeskyttet metallbuesveising, gassveising, TIG-sveising og strålesveising av stål	Sveisestandard for sammenføyende prosesser
Bærekraft		
NS-EN ISO 14044:2006	Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer	Livssyklusvurdering

1.3 Problemstilling

«Hvordan kan en brakettløsning designes, og produseres for transport av sope- og blåsemaskinene innen Øveraasens katalog, med traktor som et transportmiddel?»

Denne problemstillingen skal fullføres og besvares ved gjennomføring av aktiviteter som er beskrevet i underliggende delkapitler:

1.3.1 Målgruppe

Øveraasen er vår målgruppe i denne oppgaven, samt veileder og sensor.

1.3.2 Aktivitet 1: Design

Aktivitetens formål er å foreslå et design av en konstruksjon som skal kunne kobles på traktorens tre-punkt, og hektes på RS200 og RS400 blåse- og sopemaskiner. Modulen skal samtidig brukes som en støttebukk for blåse- og sopemaskinen ved frakopling fra traktoren. Videre skal designet være slik at det holder seg innenfor kravet om tillatt totalvekt på traktor, og være justerbart i forhold til forskjellige traktortyper innenfor kategori 4.

1.3.3 Aktivitet 2: Elementberegning

Gjennomføring av elementberegningene av konstruksjonen ved ulike simuleringer. Formålet er at vi skal simulere for ulike materialer og finne et materiale som oppfyller kriteriene satt av Øveraasen.

1.3.4 Aktivitet 3: Manuell styrkeberegning

Styrkeberegningene har gitt oss en respons på om skruene og boltene vi har valgt har de mekaniske egenskapene som er nødvendige for at konstruksjonen oppfyller krav til designlast.

1.3.5 Aktivitet 4: Produksjonsmetoder

Prosjektet viser til hvordan man kan produsere denne festebraketten fra råmaterialer til ferdig produkt. Produksjonsmetodene baserer seg på hvordan man kan produsere det best mulig kostnads- og kvalitetsmessig med midlene Øveraasen har tilgjengelig i sine fabrikklokaler.

1.3.6 Aktivitet 5: Økonomisk vurdering

Prosjektet skal undersøke økonomiske kostnader ved produksjon og framstilling av festebraketten, med utgangspunkt i en selvkostanalyse. Den økonomiske vurderingen skal evaluere kostnads-variasjoner ved ulike materialvalg.

1.3.7 Aktivitet 6: Bærekrafts-vurderinger

Bærekraft-vurderinger gjennomføres for å få en helhetlig forståelse av design og valg av ulike materialer. Bærekraftperspektivet vil evaluere komponentens energiforbruk ved produksjon av komponenten og dens levetid.

1.4 Disposisjon

Grafisk utforming

Kandidatene av denne bacheloroppgaven har hatt fokus på å danne en presentabel utforming av rapporten. Grafisk utforming som er valgt er knyttet til et maldokument for bacheloroppgave, som er gitt av institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk ved NTNU.

Kapittel 2

Det teoretiske grunnlaget blir presentert i dette kapitlet. Delkapittel 2.4, 2.5 og 2.6 er spesielt viktige teorigrunnlag for denne rapporten. Teorigrunnlaget skal vise til undersøkelsene som gjennomføres i denne rapporten.

Kapittel 3

I dette kapitlet blir metoden som anvendes beskrevet. For hver delaktivitet blir undersøkelsen som skal gjennomføres presentert, samt hvordan kandidatene skal begrense aktiviteten.

Kapittel 4 – 9

Disse seks kapitlene er oppgavens hoveddel og viser til resultatet i bacheloroppgaven. For problemstilling er det dannet seks delaktiviteter som skal undersøkes, hver av disse delaktivitetene har sitt eget hovedkapittel.

Kapittel 10

Diskusjonskapitlet skal vise til reliabilitet og eventuelle feilkilder ved resultatene fra undersøkelsene i oppgavens hoveddel. Kandidatene vil diskutere rundt resultatet for hver delaktivitet.

Kapittel 11

Konklusjonen er oppgavens avslutning, her vil kandidatene i denne bacheloroppgaven gi en konklusjon fra problemstillingen med tilknyttet delaktivitet.

2 Teori

2.1 Designutforming

For dette prosjektet kreves det produksjon av teknisk design, som fremstilles med programmet SolidWorks. Teknisk design er å grafisk fremstille et produkt, etter kravene fra oppdragsgiver. Ved utvikling av nye produkter i et konkurranseutsatt marked, må designet ha et konkurrerende fortrinn. Nye produktdesign må dermed være enklere å produsere, mer miljøvennlige, bærekraftige og billigere, enn de eksisterende produktene. For å tilfredsstille disse betingelsene må konstruktøren ha gode kunnskaper om materialer, produksjonsprosess, styrkeberegning, fysikk, termodynamikk og strømningslære. (Husø, 2010)

2.1.1 Konstruksjonsfaser

Vi har arbeidet i ulike stadier for utvikling av designløsning. For utvikling av et konstruksjonsprodukt og prosjekt, vil man dele inn dette i følgende faser:

1. Prosjektdefinisjon
2. Forprosjektet
3. Detaljprosjektering
4. Produksjon

Prosjektdefinisjon

I den første fasen av konstruksjonsutviklingen vil man skape klarhet ovenfor utvikling av produktet. Oppdragsgiver vil fremstille utfordringer med eksisterende produkt, som for eksempel at produktet ikke fungerer optimalt, og eventuelle feil og mangler, og deretter foreslå endringer. Denne prosessen defineres som funksjonsbeskrivelse. Det neste trinnet er å etablere en kravspesifikasjon, hvor alle krav skal settes til produktet. Disse kravene kan inkludere krav fra følgende parter: oppdragsgiver, myndigheter, industristandarder, produksjonsanlegg og miljøtilsyn. (Husø, 2010)

Forprosjekt

I forprosjektet vil man produsere idéskisser og utarbeide alternative løsninger. Materialbeslutninger, hvor man evaluerer ulike materialtyper med hensyn til bærekrafts-, økonomiske og produksjonsperspektiver, vil forekomme under forprosjektet. Hensikten med forprosjektet, er å etablere et konsept. (Husø, 2010)

Detaljprosjektering

I detaljprosjektering vil man begynne modelleringsprosessen og gjennomføre styrkeberegningsstudium for å fullføre den endelige konklusjonsløsningen og valg av materialer. Modelleringsprosessen vil omfatte dimisjoneringsarbeid, og utvikling av konstruksjon som tilfredsstillende kravene hos arbeidsgiver, myndigheter og internasjonale standarder. Dokumentasjon av arbeidet gjøres kontinuerlig, gjennom hele prosjektets utvikling, men ved et ferdig framstilt konstruksjonsløsning vil man vedlegge tegninger for produksjon. Tegningene skal inneholde relevant informasjon for produksjonsoperatøren, og skal ikke gi grunnlag for feiltolkning. (Husø, 2010)

Produksjon

Konstruktøren sine beslutninger av materiale og produksjonsmetode har innflytelse for produktet. Valgt material og produksjonsmetoder er korrelert. Beslutninger under utvikling av konstruksjonsprodukt må sees i sammenheng med produktet sin funksjon og relevante krav. For å kvalitetssikre produktet er det viktig man dokumenter arbeidet og gjennomfører tilknyttede prøver, som f.eks. ikke-destruktiv testing (NDT) av sammenføyde elementer. (Husø, 2010)

2.1.2 Modellering

For dette prosjektet har det blitt produsert 3D-modeller, som skal brukes ved simuleringsanalyse og videre utarbeidelse for maskintegninger til produksjon. Mekaniske konstruksjoner blir framstilt med dataassisterte systemer (CAE). CAE-systemer inkluderer geometriske beskrivelser, visualisering, styrkeanalyse, bevegelsessimulering, generering av tegninger og tilrettelegging for produksjon. (Husø, 2010)

3D-modellering

Tredimensjonale modeller framstilles ved å tegne 2D-tegninger som blir ekstrudert i rommet. (Husø, 2010)

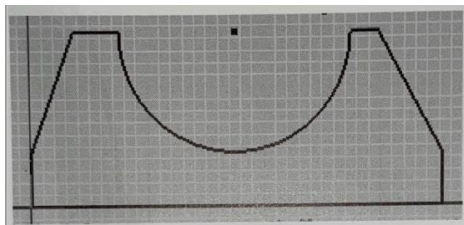


Figur 1 - 3D-modell av en eksosklemmer

Hentet fra (Husø, 2010)

Ekstrudering

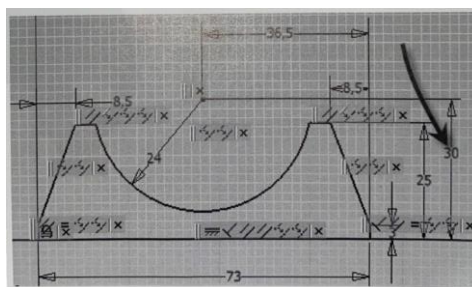
For framstilling av konstruksjonsprodukter, vil konstruktøren skissere en 2D-profil av produktet og ekstrudere det ut i rommet. Enkelte produkter vil bli konstruert med en rekke lag, som uthuling av materiale, eller hulling. (Husø, 2010)



Figur 2 - 2D-tegnet konstruksjon

Hentet fra (Husø, 2010)

For å fullføre tegningen, må den fullstendig defineres ved å påsette mål og begrensinger.



Figur 3 - Fulldefinert 2D-skisse

Hentet fra (Husø, 2010)

2.1.3 Maskintegninger

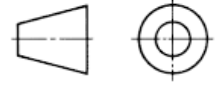
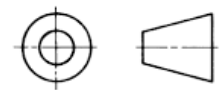
Vi har ferdigstilt maskintegninger som kan utnyttes for oppdragsgiver for produksjon av brakettløsningen. Maskintegninger er en informasjonsbærer. Tegningen skal kommunisere fremstillingen av konstruksjonen til et ferdig produkt. Forutsetningen er at man kommuniserer med samme språk, derfor må maskintegninger utformes etter noen bestemte regler, og skal være entydige og enkle å lese. De viktigste tegningene for mekaniske produkter er detaljtegninger og sammenstillingstegninger (Husø, 2010). Detaljtegning skal skissere hvordan den enkelte delen skal produseres. Sammenstillingstegning skal vise hvordan de ulike komponentene (delene) settes sammen til et ferdigstilt produkt.

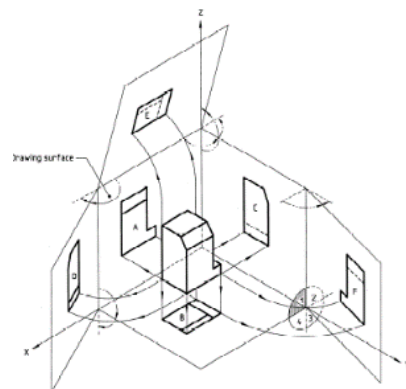
Projeksjonsmetode

Maskindeler som er framstilt i dataverktøy er tredimensjonale, dvs. at de har utstrekninger i tre retninger, x-, y- og z-retning. Maskintegninger har bare to dimensjoner. For at komponenten skal bli forståelig, må den vises fra flere forskjellige sider. Dette defineres som projeksjon av modellen, ulike projeksjoner defineres som riss. (Husø, 2010)

Konstruktøren må velge hensiktsmessige riss, for å få frem komponentens former, dimensjoner og eventuelle funksjoner. Vi skiller mellom følgende projeksjonsmetoder:

- (a) «first angle projection» som er den europeiske projeksjonsmetoden, hvor objektet er plassert i den første kvadranten.
- (b) «third angle projection» som er den amerikanske projeksjonsmetoden, hvor objektet er plassert i den tredje kvadranten. (Husø, 2010)

Projection	Symbol
First angle	
Third angle	



Figur 4 – Bilde til venstre: Projeksjonsmetoder. Bilde til høyre Rissplasing (First angle projection)

Hentet fra (Standard, 1999b)

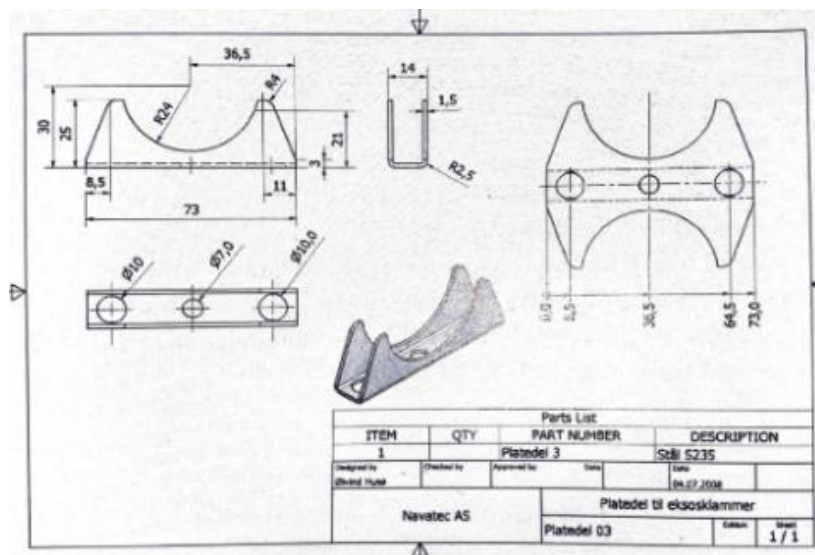
Valg av riss

Ved seks valgte riss-framstillinger, vil tegningen bli entydig, men i flere tilfeller vil færre riss være tilstrekkelig. Det er konstruktøren som gjør vurderingen om antall riss. Hovedriss er det risset som skal kommunisere mest informasjon. Ved behov for flere riss, velges de etter følgende strategi (Husø, 2010):

- Hold antall riss til et minimum, som viser nødvendig informasjon
- Unngå å gjenta detaljer

Detaljtegning

Det skal produseres en detaljtegning for hver komponent av produktet. Tegningen skal inneholde all relevant informasjonen, for å fremstille komponenten i en produksjonsprosess. Disse tegningene inneholder både synlige og skjulte konturer. Synlige konturer er vist med grove heltrukket linjer, mens stiplede linjer viser skjulte konturer. Målsetning påsettes for å vise de ulike målene til komponenten, og en detaljtegning vil inneholde, målgrenselinje, mållinje, og målverdien. Hull angis med diameter målet, og vises med symbolet \emptyset . For å framvise grensesnitt av en komponent, kan det gjøres et detaljsnitt av hovedrisset. Nederst på detaljtegningen lages det et tittelfelt, som gir informasjon om konstruktøren, kontrollør, materialtype, standarder og vekt. (Husø, 2010)



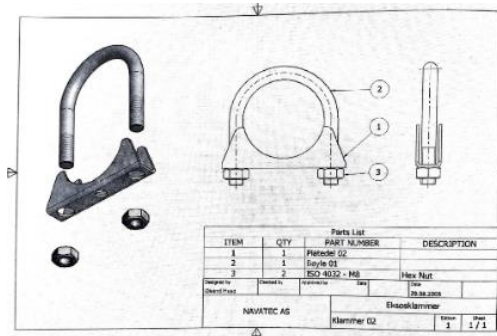
Figur 5 - Detaljtegning illustrasjon

Hentet fra (Husø, 2010)

Sammenstillingstegninger

Sammenstillingstegninger skal vise produktet sin oppbygging. Denne tegningstypen vil inneholde en stykkliste, (eng. Bill Of Materials). Stykklisten inneholder rader og kolonner som viser til posisjonsnummer og antallet av hver enkelt komponent i produktet.

Posisjonsnummeret er avmerket for hver komponent, og nummeret er sirklet inn. (Husø, 2010)

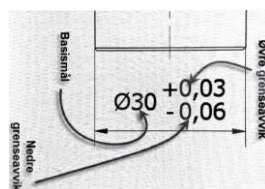


Figur 6 - Sammenstillingstegning illustrasjon

Hentet fra (Husø, 2010)

Toleranser

Det er ønsket å produsere enkelt-produkter med oppgitte mål, men begrensinger fra teknologi og produksjonsanlegg gjør dette krevende. Et avvik fra oppgitt basismål, innenfor en gitt begrensing, kan man tolerere. Et toleranseoppgitt mål er begrensinger for øvre og nedre grense. Basismål er det ønskede målet. Grenseavvik (øvre og nedre) er begrensinger for maskinering og produksjon av produktet. Grunntoleransen er differansen mellom øvre og nedre grenseavvik. Toleransegrader er internasjonale standarder og eksisterer i verkstedshåndboken fra Hartvig Hartvigsen, toleransegradene er definert av ISO og NS-ISO 2768-1 og NS-EN ISO 286-1. (Husø, 2010)

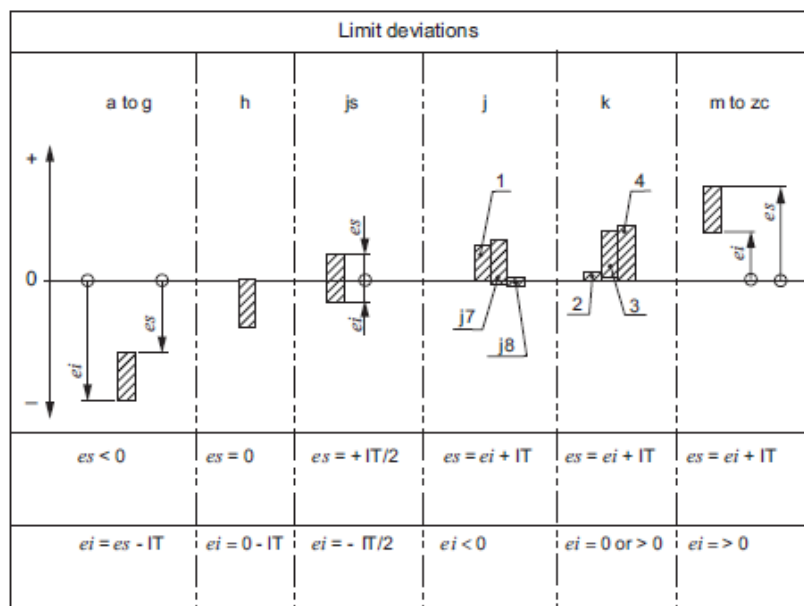
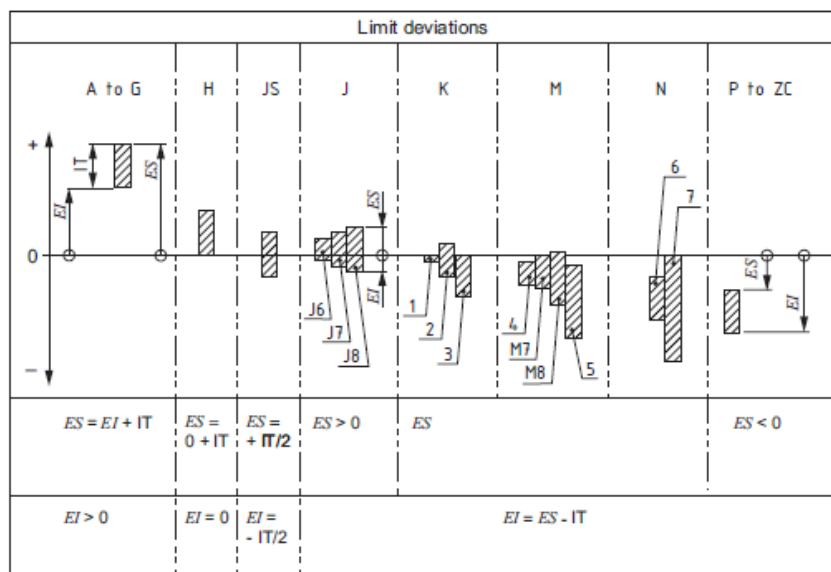


Figur 7 - Toleranseoppgitt mål (med grenseavvik)

Hentet fra (Husø, 2010)

Pasninger

Når komponenter skal sammenstilles ved at de skal innlemmes hverandre, så vil konstruktøren påsette et pasningsmål. Pasning er forholdet mellom komponentene som skal settes sammen. Det skilles mellom presspasninger, mellompasninger og klaringspasninger. Klaringspasning skal gi klaring mellom komponentene, dvs. at forskjellen på aksel- og boringsdiameter skal være positiv. Presspasning skal gi negativ klaring, dvs. at boringsdiameteren er mindre enn akseldiameteren. Mellompasning kan enten gi klaring eller pressmonn. (Husø, 2010)



Figur 8 - Pasningsområder (venstre boring og høyre aksling)

2.2 Elementmetoden

Det eksisterer flere forskjellige beregningsmetoder som anvendelse i designutvikling og produksjon. Finite Element Method (FEM), Finite Difference Method (FDM) and Boundary Element Method (BEM) er tre eksempler, hvor FEM er mest brukt i dag. Elementmetoden er en numerisk tilnærmende løsningsmetode av partielle differensiallikninger innen anvendt matematikk, med tilknyttende dataverktøy for beregning. For strukturelle analyser brukes elementanalyse for å løse, strukturelle-, vibrasjons- og termiske belastninger.

Elementberegninger vil inkludere et tredimensjonalt domene som blir inndelt til mindre regioner, kalt elementer. Elementene er kontinuerlige, og er produsert med enkel geometri, som trekkanter og firkanter i det to-dimensjonale domenet og tetraedre, pentaedre og heksaedre i det tredimensjonale domene. Sammenhengende elementer produserer ett nettverk av elementer, som defineres som et elementnettverk (eng. mesh). De kontinuerlige elementene forbindes av noder, hvor det opptrer krefter. Kraftene som opptrer ved nodene, skaper forskyvninger i elementnettet. Ved elementmetoden vil man algebraisk produsere et ligningssystem som krever kontinuitet i det kontinuerlige elementnettet, og skape likevekt av kreftene i konstruksjonens noder. (Burnett, 1987) og (Kurowski, 2018)

Et overordnet begrep er ved høyere elementkonsentrasjoner, vil man oppnå et mer realistisk resultat av elementberegningen. I områder hvor det opptrer høye spenningsamlinger, er det ønskelig å produsere et tettere elementnettverk. Ved etablering av et tettere elementnett, vil spenningskonsentrasjonen konvergere, og ved oppnådd konvergens, har man produsert et nøyaktig elementnett, som gir realistisk resultat. For dataverktøy og beregninger øker beregningstiden ved et større elementnett og kompleksitet, det er derfor gunstig å holde antall elementer til et minimum. Minimumsgrensen er ved et elementnett som gir et realistisk resultat og hvor spenningskonsentrasjonene konvergerer. (Kurowski, 2018) og (Ninive, 2018)

2.2.1 Lineære og ikke-lineære elementanalyser

For konstruksjonsanalyser ved elementberegninger, hvor analysebetingelsene er lineære vil forholdet mellom spenningen og tøyingsresponsen være lineært proporsjonal. Denne relasjonen kan defineres følgende: (Systems, 2014)

$$[F] = [K] \times [\delta]$$

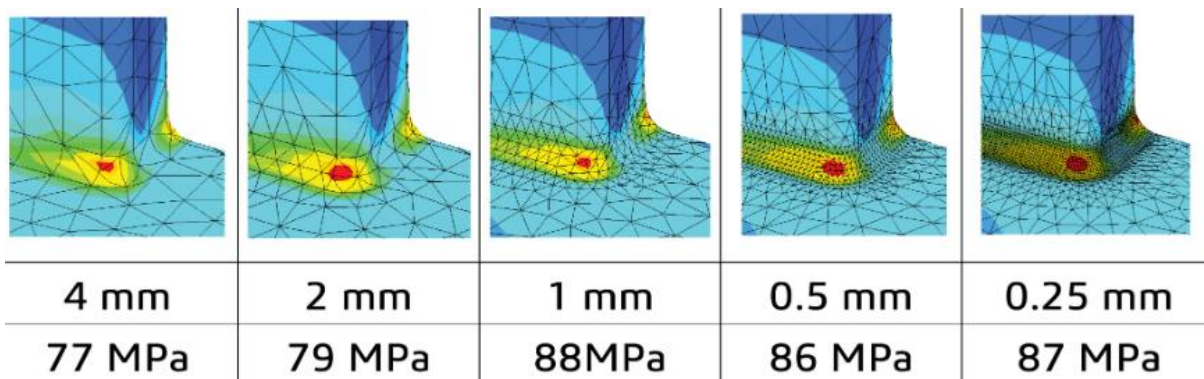
Vektoren $[F]$ defineres som kraft (fra eng. force), og er tilknyttet de eksterne belastningene på nodene i elementanalysen. Deformasjon er definert av vektoren $[\delta]$, og representerer de kollektive forflytningene som opptrer for hver av de individuelle nodene. Stivhet er angitt ved matrisen $[K]$, og er materialmotstanden for deformasjonen ved påkjent kraft. Stivhetsmatrisen er avhengig av geometrien til objektet samt dens materiale. I lineære elementanalyser er stivhetsmatrisen konstant for hele analysespektrumet. For analyser hvor vi opplever en endrende stivhet, ved lastbetingelsene og belastinger, er ikke en konstant stivhetsmatrise valid, og man må benytte ikke-lineær elementanalyse. (SolidWorks, 2017)

En lineær elementanalyse kan antas gyldig når følgende betingelser er ivaretatt:

- Materialene i konstruksjonen for elementanalysen følger Hookes lov, som vil si at spenningen er direkte proporsjonal med tøyningen.
- Forskyvningene av nodene forårsaker en lav grad til ingen endring av geometrien. Dersom deformasjonsgraden økes, og geometrien deformeres, kan det ikke lengre påses at analysen er lineær, og man må anta en ikke-lineær elementanalyse. (SolidWorks, 2017)

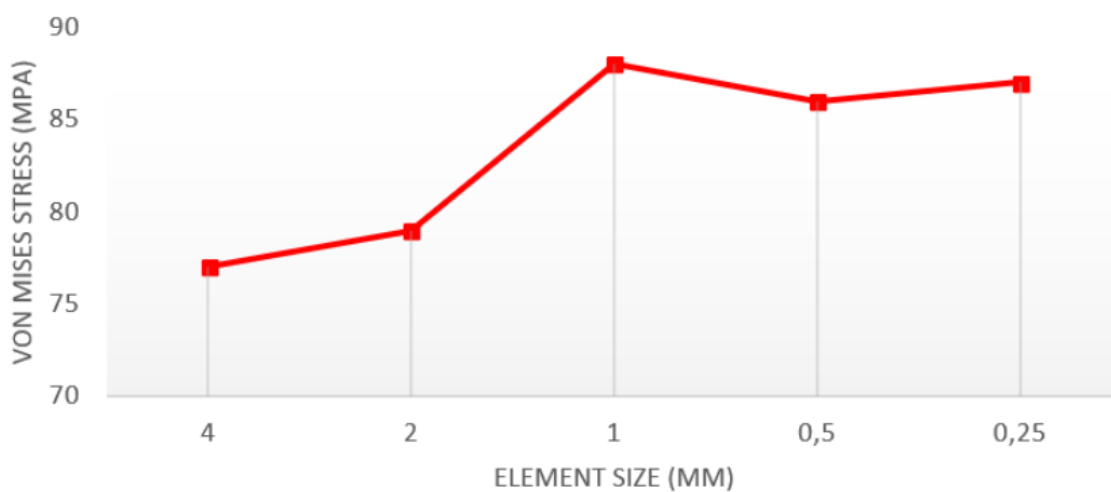
2.2.2 Spenningssingularitet

Spenningssingulariteter oppstår når spenningsnivået er økende i en uendelig grad. Dette kan illustreres ved elementberegning av en konstruksjon som har hjørnegeometri med en lav radie. Spenning er definert som kraft delt på areal. Når arealet og radien til dette hjørnet reduseres til nesten null, stiger spenningen mot det uendelige, og det oppstår en spenningssingularitet ved radien til hjørnet. I virkeligheten vil dette hjørnet ha en liten radie, og hvor denne spenningssingulariteten, ved elementberegning, kun er et matematisk fenomen. Det matematiske fenomenet oppstår da som en konsekvens av forenkling av virkeligheten. (SolidWorks, 2018). Spenningssingularitetene oppstår ved geometrier som har momentane overganger, som er typisk ved hjørnegeometrier. Tilfelle av spenningssingularitet kan også oppstå ved kontaktflater for forskjellige strukturer, fastholdningsområder eller hvor det påføres belastninger. Reduksjon og eliminering av singulariteter kan gjøres ved justeringer av elementnettverkstørrelsen. Introduksjonen av mindre elementnettverkkorn kan medføre en konvergens av spenningskonsentrasjonene, som gir oss et korrekt bilde av kreftene som oppstår ved belastninger av konstruksjonen. (SolidWorks, 2018)



Figur 9 - von Mises spenningsstudium ved ulike elementkornstørrelser

Hentet fra (SolidWorks, 2018)



Figur 10 - Konvergens av von Mises spenning

Hentet fra (SolidWorks, 2018)

2.3 SolidWorks Simulations

SolidWorks er en programvare som gir mulighet for produksjon av dataassisterte designløsninger. Programmet har utvidelse med tilknyttende elementberegninger for å utføre produktets strukturelle analyse. Denne utvidelsen er kjent som SolidWorks Simulations. Programmet tillater å gjøre nødvendige beregninger relatert til produktets levetid, og studium for optimalisering av konstruksjonsløsning.

2.3.1 Elementnettverk i SolidWorks Simulations

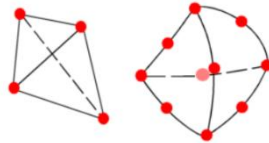
Ved strukturelle analyser vil programmet diskretisere modellen opp i flere elementer i et entydig elementnettverk. Finite Element Analysis (FEA) er den numeriske metoden som benyttes for å analysere en designkonstruksjon. Prosessen begynner ved å produsere en geometrisk modell, hvor programvaren vil oppdele modellen i flere elementer, sammenkoblet i et nettverk og fellespunkter, som er definert som noder. I elementberegninger vil programmet kartlegge modellen som et nettverk av diskrete sammenkoblede elementer. (SolidWorks, 2020b)

Produksjonen av elementnettverket kan gjøres ved den automatiske genereringsfunksjonen i programmet, som generer et globalt elementnettverk med en gitt elementstørrelse, toleranse og lokale nettkontrollspesifikasjoner. Det globale automatisk genererte elementnettverket blir produsert med hensyn til modellens volum, overflate og andre geometriske detaljer. Elementstørrelsen er avhengig av konstruksjonens geometri, dimensjoner og kontaktflatebetingelser. Tilnærmingen ved et automatisk generert elementnettverk gir et omtrentlig resultat, som kan være tilstrekkelig. Programmet gir mulighet for å spesifisere elementstørrelsen ved meshing-kontroll. Denne metoden kan gi en mer korrekt og nøyaktig analyseframgang. (SolidWorks, 2020b) (SolidWorks, 2020b)

Elementnettverket kan produseres i 3D tetraeder solidelementer, 2D trekantskallelementer eller 1-dimensjonale bjelkeelementer. Solidelementer er tilegnet for 3D-modeller. Skallelementer er tilegnet for tynne komponenter, slik som plater, bjelker og fagverk.

Solid mesh (solidelementer)

For solidelementer kan Solid Works Simulation produsere både første- og andre ordens elementer. I et elementnettverk av første orden bestående av tetraederelementer, vil kanter og flater være lineære, og denne egenskapen vil elementnettet beholde også etter deformasjon. Ved andreordens elementnett, bestående av tetraederelementer, kan både kanter og flater ha krumming, og graden av krumming kan endres ved deformasjon. (SolidWorks, 2020n)



Figur 11 - Lineærelement (til venstre) og parabolisk element (til høyre)

Hentet fra (SolidWorks, 2020n)

Shell mesh (skallelementer)

Når programmert genererer skallelementer, vil det produseres lineære trekantede skallelementer og eller paraboliske trekantede skallelementer. For lineære trekantede skallelementer, blir dette definert av tre hjørnenoder forbundet med tre rette linjer. Paraboliske trekantede elementer blir definert av tre hjørnenoder, tre midtsidenoder og tre paraboliske kanter. Når det gjøres studier som bruker skallelementer, blir tykkelsen på skallene automatisk trukket ut fra modellens geometri. (SolidWorks, 2020m)



Figur 12 - Lineært skallelement (til venstre) og parabolisk skallelement (til høyre)

Hentet fra (SolidWorks, 2020m)

For tynne konstruksjoner, slik som plater, kan disse objektene defineres med solidelementer. Et slikt elementnettverk vil bestå av et stort antall elementer og noder, siden det kreves en liten elementstørrelse. Dermed er slike konstruksjoner best egnet for elementnettverk av skallelementer. Overflatemodeller kan kun produseres ved skallelementer. (SolidWorks, 2020c)

2.3.2 Lineærelementanalyse: statistikanalyse

Lineær statistisk analyse gjøres ved beregninger av forskyvninger, belastninger, spenninger og reaksjonskrefter for effekten av påførte belastninger. Alle belastninger påføres sakte og gradvis til de når sine fulle størrelser. Etter å ha nådd sine fulle størrelser, forblir belastningen konstant. Antagelsen om konstant belastning gjør at programmet kan overse treghets- og dempende krefter som oppstår på grunn av ubetydelige små akselerasjoner. For lineære statistiske analyser gjøres følgende antagelser (SolidWorks, 2020d)

- Materialet under studium samsvarer med Hooks lov
- De geometriske endringene er små, som gjør at stivhet opptrer uendret.
- Belastningene er konstante i størrelse, retning og distribusjon.

2.3.3 Ikke-lineær elementanalyse

Ved ikke-lineære studier innebærer det å beregne resultatene ved forskjellige løsningstrinn (belastning og forskyvninger). Den numeriske metoden ved ikke-lineær analyse er komplisert. Når programvaren søker etter en riktig konvergens, gjøres dette med flere løsningstrinn og en rekke iterasjoner. Denne fremgangsmetoden gjør at ikke-lineær analyse blir krevende beregninger for datamaskinene, og er dermed tidskrevende. Resultatet fra analysen er tilgjengelig som en tidsfunksjon, dette kan vises som spenninger over ulike løsningstrinn. (SolidWorks, 2020e)

Iterative løsningsmetoder: Newton-Raphson

For denne løsningsmetoden blir en tangentiell stivhetsmatrise dannet og dekomponert ved hver iterasjon i et bestemt trinn. Newton-Raphson-metoden har en høy konvergensrate og produserer en kvadratisk konvergensrate. Den høye konvergensraten blir generert som en medfølge av hvordan den tangentielle stivheten blir dannet og dekomponert ved hver iterasjon. (SolidWorks, 2020f)

2.3.4 Lastekonfigurasjoner og fastholdninger

Lastekonfigurasjoner

Strukturelle lastekonfigurasjoner er nødvendig for å gjennomføre en lineær statisk analyse. De vanligste eksemplene på strukturelle lastekonfigurasjoner er trykkrefter, punktlaster, tyngdekrefter og sentrifugalkrefter.

Trykkrefter

Trykkrefter blir påført med en gitt belastning, jevnlig fordelt over en overflate. Disse trykkreftene kan påføres normalt på overflaten, eller gitt i en annen retning i forhold til overflaten. Den ekvivalente kraftstørrelse generert av trykk er lik trykkverdien multiplisert med arealet til overflateområdet. Imidlertid avhenger den netto ekvivalente kraften av geometrien til overflaten, samt kraftretningen for trykket. (SolidWorks, 2020i)

Punktlaster

Punktlaster er krefter, moment eller dreiemoment med jevn fordeling på en gitt overflate, kant eller et referansepunkt. Den definerte kraften fordeles på hver valgt overflate. (SolidWorks, 2020i)

Tyngdekrefter

Tyngdekraftbelastningen beregnes ved å multiplisere den spesifiserte tyngdeakselerasjonen med masse. Massen beregnes ut fra tetthetsverdien til materialet. (SolidWorks, 2020a)

Sentrifugalkrefter

Programvaren bruker de spesifiserte verdiene for vinkelhastighet, akselerasjon og massetettheten for å beregne sentrifugalkreftene. For ikke-lineære studier kan man definere tidsavhengig vinkelhastighet og akselerasjon. (SolidWorks, 2020g)

Fastholdninger

SolidWorks tilbyr flere forskjellige fastholdningskonfigurasjoner, og følgende fastholdninger er de vanligste Fixed geometry, Immovable, Roller/Sliding, Fixed hinge.

2.3.5 Kontakt i SolidWorks Simulation

Programvaren SolidWorks gir mulighet for ulike kontaktflater, disse brukes for å definere simuleringsanalysen og sammenkoblinger mellom ulike objekter i en sammenstillingsanalyse. Det skilles mellom bundet kontakt (eng. bonded contact) og fri kontakt (eng. free contact). Bundet kontakt vil medføre at to kontaktflater opptrer som sammensveiste objekter. For programmet vil det beregnes et elementnettverk, hvor nodene fra de ulike komponentene er tilkoblet til hverandre. I kontaktflater som defineres som fri kontakt, vil programmet beregne at disse to flatene ikke har noen begrensinger for bevegelse, og ved termiske studier vil programmet forhindre varmeoverføring. (SolidWorks, 2020l)

Node to Surface Contact

I node til overflatekontakt, vil programmet tilpasse forbindelsen mellom noder, ved en gitt distanse mellom disse nodene. Nodene vil ikke være i kontakt med hverandre. (SolidWorks, 2020l)

Node to Node Contact

I denne kontaktkonfigurasjonen vil noder være forbundet sammen, uten friheter. Denne metoden krever mindre beregningskraft, men har en større unøyaktighet ved konstruksjoner som har rotasjon. (SolidWorks, 2020l)

Surface to Surface Contact

Ved overflate-til-overflate-kontakt inkluderes forbindelse mellom noder, og mellom node og geometrisk overflate. Denne metoden gir størst nøyaktighet, men krever mye dataressurser. (SolidWorks, 2020l)

2.3.6 Høy grad av forskyvning (large displacement solution)

Dersom det oppstår store forskyvninger, kan programmet SolidWorks gi et mer nøyaktig analyseresultat ved å bruke såkalt large displacement solution. Beregningsmetoden er ikke-lineær, og programmet forutser endring av stivhet som en konsekvens av høy deformasjonsgrad. Stivhetsmatrisen blir utregnet ved flere iterasjoner, noe som resulterer i økt beregningstid. (SolidWorks, 2020k)

2.3.7 Submodellering i SolidWorks

Submodelleringsfunksjonen i SolidWorks gir mulighet for å oppdele den globale konstruksjonen til enkelte områder, for å gjennomføre separate analysestudier. Denne funksjonen er særdeles nyttig ved større konstruksjoner. Ved submodellering tillater dette brukeren å gjøre lokale analyser, med et fint elementnettverk. Submodellering bidrar med å overføre komplekse globale belastninger fra hele strukturen til lokale underregioner for å oppnå nøyaktige spenningsresultater i lokale regioner.

Submodellering er basert på St.Venants prinsipp, som forutsetter at distribusjonen av belastning og tøyning kun endres i nærheten av områdene for belastning. Ved å begrense området med submodellering, vil det dermed produsere et mer nøyaktig resultat. (SolidWorks, 2020h)

2.4 Konstruksjonsstål S355

Stål er legeringer av jern (Fe), med opptil 2.1% innlegering av karbon (C). Det skiller mellom to hovedgrupper av stål, (a) karbonstål og (b) legert stål. Konstruksjonsstål er det mest anvendelige materialet for produksjon og bearbeiding, og i dette kapitlet vil vi beskrive egenskapene til S355 konstruksjonsstål. For dette prosjektet anvendes S355J2G3, som er et tettet og finkornbehandlet stålmateriale.

2.4.1 Konstruksjonsstålets bakgrunn

Konstruksjonsstål har flere anvendelser som gjør dette materialet attraktivt. Dets gode sammenføyende egenskaper gjør at konstruksjonsstål brukes industrielt i en global skala. For produksjon av komponenter, påvirker sammenføying av objekter i et sveiseverksted konstruksjonsstålet sine fasthetsklasser og kvalitet. Dette er gjeldende for både ulegert, lav- og høylegert stål. Virkningen av sammenføyende termiske egenskaper hos materialer er dominerende for ulegert stål, som brukes for industribygg, olje- og gassektoren med bore- og produksjonsplattformer, skip og broer. Det overordnede målet for å fremstille konstruksjonsstål er betinget av dets styrke, seighet og sveisbarhet for større tykkelser, samt fremstilling med minst mulig bruk av legeringselementer for å holde kostnaden lav.

(Johansen, 2012a)

Karbonekvivalenten

Karbonekvivalenten er et empirisk uttrykk som anvendes for å vurdere konstruksjonsstålets herdbarhet. Det eksisterer ulike karbonekvivalenter, som varierer med forbehold av ulike legeringselementer, med hensyn til vekt og det betingede forholdet for karboninnhold. Karbonekvivalenten uttrykker motstandssikkerheten for utvikling av kaldsprekker og hydrogensprekker i området nær den varmepåvirkede sonen i sveisen. (Johansen, 2012a)

IIW (International Institute of Welding) definerer karbonekvivalenten følgende:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

(Standard, 2019b)

2.4.2 Gasser i stål

Stålmelter kan inneholde gasser, som oksygen (O₂), nitrogen (N₂) og hydrogen (H₂). Disse gassene er oppløselige i både flytende og fast stål. Oppløseligheten til gassene er avhengig av materialet sin temperatur og aggregattilstand. Oksygenatomene reagerer med karbon, og danner karbonmonoksid (CO) eller karbondioksid (CO₂). Denne reaksjonen er ofte uønsket da dette gjør stålet sprøtt. Nitrogen reduserer slagseigheten for stålmaterialet. Hydrogendannelse er uønsket for konstruksjonsstål, da hydrogen reduserer sveisbarheten. Hydrogenet i stålet vil forårsake porer i sveisen, dette oppstår særlig i den varmepåvirkede sonen hvor det oppstår herdesprekker. Overordnet er gasser i konstruksjonsstålet uønsket, og dette kan reduseres ved innlegering av deoksidasjonselementer ved tett eller fulltett stål. (Johansen, 2012a)

2.4.3 Konstruksjonsstål varianter

Det skilles mellom ulike hovedgrupper av konstruksjonsstål, avhengig av legeringsinnholdet. Ulegert stål inneholder under 2% legeringselementer, utenom karbon. Lavlegert stål inneholder en samlet legeringselementer mellom 2 – 6%. Høylegert stål inneholder en samlet andel legeringselementer på over 6%. Dette delkapittelet vil omfatte lavlegerte stålkonstruksjoner. (Johansen, 2012a)

Karbon stål (C-stål)

Denne konstruksjonsstål-typen inneholder karbon og mindre mengder av Mn, normalt mellom 0.4 – 0.7%. For tett og halvtett stål tilsettes Si. Denne ståltypen inneholder mindre mengder av legeringer, og er dermed billig å produsere. For C-stål er flytegrensen R_e ofte mellom 180 N/mm^2 – 280 N/mm^2 (Johansen, 2012a) og (Wikipedia, 2020b)

Karbon-mangan stål (Cn-Mn Stål)

Karbon-mangan stål har høyere grad av legeringselementer, sammenlignet med C-stål. Legeringselementene karbon og mangan er fasthetsøkende elementer, som medfører en redusert sveisbarhet. For karbon-mangan stål er mengden mangan begrenset til 1.0 – 1.8%, noe som resulterer i en flytegrense på 340 N/mm^2 (Thoresen), (Johansen, 2012a).

2.4.4 Høyfast stål (Finkornet stål)

For materialer som defineres som høyfast stål, med finkornbehandling eller C-Mn stål, oppnår man en flytegrense (Thoresen) på mellom 300 – 500 N/mm^2 . (Thoresen). Mikrolegering defineres som tilsetning av små mengder 0.01 – 0.1% av finkornede legeringselementer, til smelten av stål. Finkornede legeringselementer som anvendes er aluminium (Al), niob (Nb), vanadium (V) og titan (Ti). Disse finkornede legeringselementer vil reagere med karbons- og nitrogenelementene i stålsmelten. Reaksjonen mellom de finkornede legeringselementene og karbon- og nitrogenelementene danner karbider, nitrider og karbonnitrid, som produserer harde partikler eller austenitt-utskillinger. Størrelsene for disse partiklene er mellom $0.03 \mu\text{m}$ – $0.1 \mu\text{m}$. Når den tilstrekkelig mengde innlegerte finkornede legeringselementer, er et tilstrekkelig antall er nådd, vil dette forhindre bevegelse mellom kornene langs deres korgrenser, samtidig som det stanser videre kornvekst av austenitt ved varmvalsing og i senere nedkjølingsperiode etter avsluttet varmvalsing. (Johansen, 2012a)

Denne mikrolegeringen produserer en finkornet ferritt og eller ferritt-perlitt mikrostruktur, som vil gi en økt flytegrense i størrelsesorden på 50 – 150 N/mm^2 , når det sammenlignes med karbon-mangan stål. Slagseighet for denne ståltypen økes, og dette kan videre forbedres ved reduksjon av omslagstemperaturen på 50°C . Nitrider dannes for mikrostrukturen, ved at det låses fast nitrogenatomer i kornene. Sveisbarheten for mikrolegert stål opplever ingen endringer, og er lik den for Cn-Mn stål. (Johansen, 2012a)

For ståltyper av definisjon S235J2G3, S275J2G3 og SJ2G3, følger mikrolegert stål, og vil være finkornbehandlet. Denne oppgaven for brakettløsningen vil undersøke materialet S235J2G3. Innholdet i denne legeringen er gitt av tabellen under;

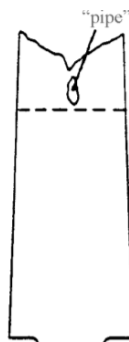
Tabell 1 – Kjemisk sammensetting av S355J2G3

Navn	C	Si (Maks)	Mn	P (Maks)	S (Maks)	Cr (Maks)	Mo (Maks)	Ni (Maks)	Cr+Mo+N i (Maks)	Al (Ronquillo)
S355J2G3	0.17	0.17	1.40	0.035	0.035	0.30	0.08	0.30	0.48%	0.020%
3	%	%	%	%	%	%	%	%		

Hentet fra (Standard, 1999a)

Tettet og fulltettet stål

Tettet stål dannes ved innlegering av deoksidasjonsmidler som tinn (Sn), mangan (Mn) eller aluminium (Al), som størkner uten avgivelse av gass. For tettet stål (Si + Mn) vil det indre porevolumet mangle i enkelte områder av den størknede stålblocken, det vil medføre at det dannes sugetrakter (eng. pipe). Før videre behandling av tettet konstruksjonsstål som for eksempel valsing, kreves det at området hvor det har oppstått sugetrakter, må skjæres, noe som resulterer i et gitt materialtap. Fulltettet stål defineres med at aluminium er brukt som legeringselement. For flere fulltettete stål benyttes også en finkornpraksis, som gir materialet fullstendig deoksidasjon, og samtidig produserer det finkornet mikrostruktur. For materialet med fulltettet stål, anvendes disse materialene hvor man stiller høye krav til sveisbarhet og bruddseighet, samtidig med en relativt høy flytegrense og fasthetsgrense på over 300 N/mm². (Johansen, 2012a)



Figur 13 – Tettet stål (Sugetrakt)

2.4.5 S355 – oppbygging (ferritt-perlitt struktur)

Konstruksjonsstålet S355J2G3 har en ferrittisk - perlittisk mikrostruktur fra kokillesmelten. For å danne konstruksjonsplatene av S355J2G3 vil størknet smelte bli behandlet med valsing og varmebehandling, dette produserer en finkornet kornstruktur, som er godt egnet for sveising. I dette delkapittelet vil vi undersøke materialet S355J2G3 sin oppbygging med valsing og varmebehandling. (Johansen, 2012a)

Bakgrunn for valsing og varmebehandling

S355J2G3 vil bli varmvalset, og varmvalsing opptrer ved temperaturer mellom 950-1200 °C. Temperaturen og hastigheten tilpasses slik at konstruksjonsstålet re-krystalliserer etter hvert valsestikk. Under varmvalsingen vil det dannes en fin austenittstruktur, da temperaturområdet er over stålet sin smeltetemperatur. Ved fullført valsing og nedkjøling vil austenittkornene begynne å omdannes til ferrittkorn, denne omdannelse av mikrostruktur begynner i temperaturområdet 700 – 750°C. Når grove austenittkorn omdannes til ferrittkorn, blir også disse nye dannede ferrittkornene grove. Innlegering av finkornselementer og finkornbehandling kan motvirke veksten av disse grove ferrittkornene, men stanser den ikke helt. De grove ferrittkornene er ikke ønskelig, da disse vil danne en vesentlig lavere flytegrense og sveisbarheten til materialet. For å tilfredsstille kravet om finkornet ferrittkornstruktur, kreves det en stegvis behandling med (1) varmvalsing, (2) normalisering, (3) kontrollert valsing og (4) termomekanisk behandling. (Johansen, 2012a)

1. – Varmvalsing

Varmvalsing for konstruksjonsstål foregår i et temperaturområde på mellom 950 - 1200°C. Ved valsingsprosessen vil det dannes austenittkorn, og under nedkjøling vil austenittkornene omdannes til ferritt- og perlittkorn. For materialer som er mikrolegert og har lavere platetykkelse enn 15 mm, er det mulig oppfylle kravene om flytegrense og omslagstemperatur. (Johansen, 2012a)

2a – Normalisering

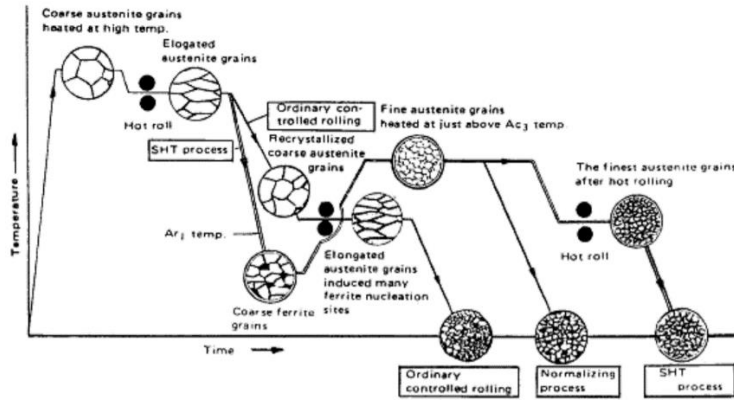
Normaliseringen oppstår når man har fullført varmvalsing og gjenoppvarmer materialet til 900°C. Denne gjenoppvarmingen vil føre til at de tidligere dannet ferritt- perlittkornene blir omdannet til austenittkorn. For nedkjøling etter normalisering vil austenittkornene bli omdannet til ferritt-perlitt med en betydelig forbedret kornfordeling. Et alternativ for normalisering er å gjennomføre kontrollert valsing etter fullført varmvalsing. (Johansen, 2012a)

2b – Kontrollert valsing

Kontrollert valsing gjennomføres for å forbedre kornstrukturen og materialets flytegrense og omslagstemperatur etter fullført varmvalsing. Kontrollert valsing kan gi tilnærmet de samme egenskaper som materialer som har vært normalisert. Denne metoden er godt egnet for stålmateriale som inneholder mikrolegeringsselementer, da valsing av materialer som inneholder mikrolegering er godt tilpasset for lave temperaturer. For stål som inneholder niob (Nb) og aluminium (Al) er kontrollert valsing gunstig, og kan produsere høye flytegrenser i området 450 – 500 N/mm² med fin ferrittstruktur. Denne metoden kan anvendes for å spare tid og energi. Besparelsen vil resultere i at det produseres et billigere stålmateriale. (Johansen, 2012a)

2c – Termisk behandling (Sumitomo High Toughness)

Termisk behandling er utviklet fra kontrollert valsing. For stålmateriale som er dannet ved termisk behandling, kombineres framstillingen av stålet og mikrolegeringsteknikker, som gir konstruksjonsstål med høy flytegrense, gode seighetsegenskaper og høy sveisbarhet. For termisk behandling oppstår det ferrittdannelse både i austenittkornene og i korngransene, noe som gir en veldig fin ferritt kornstruktur. (Johansen, 2012a)



Figur 14 - Skjematisk dannelse av fin-kornet ferritt kornstruktur for stålkonstruksjoner.

(a) Kontrollert valsing (eng. ordinary controlled rolling), (b) Normalisering (eng. Normalizing process) og (c) Termisk behandling (eng. SHT process). Hentet fra (Johansen, 2012a)

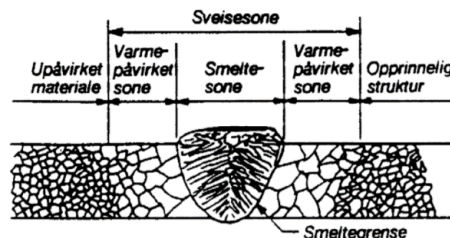
2.4.6 Konstruksjonsstålets sveisbarhet

Et materiale sin tilfredstillende av god sveisbarhet er betinget av hvorvidt dette materialet enkelt kan sveises med ordinære metoder og tilsetningsmaterialer, og at det kan oppnås en god sammenføyende prosess.

Strukturromvandling

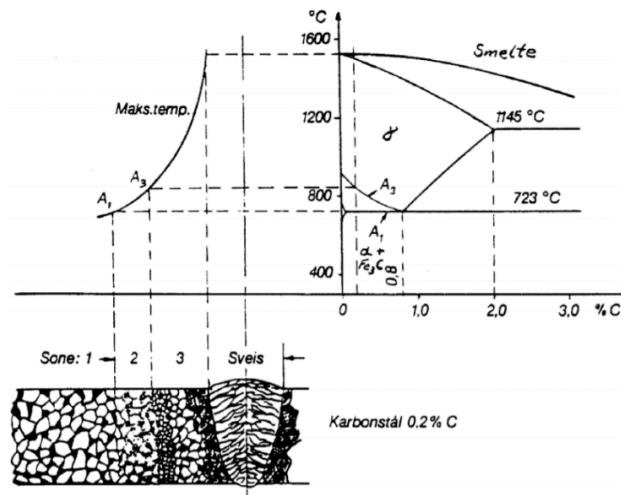
Ved sammenføyende prosesser og under sveiseforløpet oppstår det en kraftig oppvarming ved et gitt område etterfulgt av hurtig avkjøling. Dette resulterer i strukturromvandling i den varmpåvirkede sonen av grunnmaterialet (eng. HAZ). Det betegnes at den varmpåvirkede sonen er sonen som strekker seg fra sveisesentrum og utover med distanse som er 3 ganger platetykkelsen. For tykke plater er dette mindre, og for tynne plater er dette noe større.

(Johansen, 2012a)



Figur 15 - Stål og dens varmpåvirkede sone

Hentet fra (Johansen, 2012a)



Figur 16 - Konstruksjonsstål varmpåvirket sone (0,2% karbon)

Hentet fra (Johansen, 2012a)

- Sone 1: Temperaturen har ikke oversteget stålets omvandlingstemperatur A_1 (723°C), og stålet opplever ikke endret mikrostruktur. Opprinnelig ferritt- og perlitt struktur vedvarer.
- Sone 2: Temperaturer har opptrådd over omvandlingstemperatur A_1 og ligger i temperaturbredden A_1 og A_3 . I denne sonen vil det oppstå strukturomdanning.
Materialet i denne sonen er finkornet og duktilt
- Sone 3: I denne sonen har materialet blitt påvirket over A_3 temperatursonen.
Kornstrukturen etter nedkjøling er ferritt-perlittkorn, og i sonen som har fått konsentrert høye temperaturer blir det dannet grove korn, og mens i områder hvor det har vært lavere temperatur dannes det fine korn.
- Smeltesonen: I denne sonen vil kornene inneholde en kombinasjon av grunnmaterialet og tilsetningsmateriale fra sveisen, dette gir langstrakte grove korn med stengelkrystaller av ferritt og perlitt.(Johansen, 2012a)

2.5 Materialer

I dette kapittelet presenteres andre aktuelle materialer for dette prosjektet. Ulike typer materialer har ulike egenskaper og i dette prosjektet vil det gjøres en overordnet vurdering, med hensyn til parameterne hos oppdragsgiver Øveraasen.

2.5.1 A4-80 og AISI 316

A4-80 er et rustfritt stål som brukes på bolter i henhold til ISO 3506. Standarden beskriver mekaniske egenskaper for korrosjonsbestandige bolter av rustfritt stål. Rustfritt stål inneholder minimum 12% krom, og det betyr at man kan si at vi har høy korrosjonsbestandighet på boltene. Det dannes en tynn film på overflaten som hindrer videre oksydering og korrosjon. Jo mer krom desto mer beskyttelse mot korrosjon, i tillegg bidrar innhold av nikkel mot korrosjon (NS EN ISO 3506, 2009). Materialet er basert på det rustfrie syrefaste stålet AISI 316. 316 er et austenittisk krom-nikkel stål og kromlegeringen gjør at syrefast stål har den rustfrie egenskapen. Det betyr at ved bruk av denne legeringen får man en usynlig beskyttende hinne som bidrar til økt motstandskraft mot korrosjon. I tillegg fører tilført molybden til at stålet øker styrken til å tåle kjemiske påkjenninger. Dette er en av egenskapene som har størst betydning for valg av materiale i boltene til festebraketten (*Syrefast stål*, 2020).

Merking av rustfri stålqualität A4-80 på bolter er obligatorisk og har sin egen gruppeidentifikasjon. Stålgruppe A betyr Austenittisk, som medfører at stålet har gode egenskaper både ved høy og lav temperatur. Vi snakker om temperatur fra -200°C til $+800^{\circ}\text{C}$. Tallet 4 står for legeringsgraden og beskriver kjemisk sammensetning. I tillegg leveres rustfrie festemidler i tre forskjellige fasthetsklasser og i vårt tilfelle fasthetsklasse 80 som betyr $1/10$ av min. strekkfasthet i N/mm^2 (Nordstrand, 2001). A4-80 har en flytegrense på 600 MPa pga. kalddeformasjon, mens AISI 316 har en flytegrense på 260 MPa (*Teknisk katalog*, 2020).

Tabell 2 - Kjemisk sammensetning - syrefast stål A4

Navn	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 316 (A4)	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	16,5 – 18,5	2,0 – 2,5	10,0 – 13,0

Hentet fra (Standard, 2014)

Tabell 3 - AlSi1Mg

Legering	Tilstand	Flytegrense σ (N/mm ²)	Bruddfasthet σ (N/mm ²)	Hardhet
AISI 316 (A4)	Mykglødet		160	33
AISI 316 (A4)	Kaldutherdet	110	210	75
AISI 316 (A4)	Varmutherdet	260	300	105

Hentet fra (Johansen, 2009)

2.5.2 6082-T6

Aluminium er et fleksibelt materiale som gir oss unike muligheter i bruk på grunn av spesielle egenskaper. Egenskaper som lav vekt, korrosjonsbestandighet, høy styrke og resirkulerbarhet gjør at aluminium ofte er det foretrukne materialet i industrien. Bruken av aluminium hos en kreativ ingeniør kan være med på å bidra både innovativt og bærekraftig for samfunnet (*Aluminium*, 2020).

For å oppnå ønskede egenskaper benyttes ulike legeringselementer, og i 6082 T6 har legeringselementene magnesium (Mg) og silisium (Si) sine funksjoner. Magnesium øker styrken, hardheten, er korrosjonsbestandig samt bedrer sveisbarhet, mens silisium sammen med magnesium gir en herdbar legering og er i tillegg korrosjonsbestandig. For legering 6082 er leveringstilstand T6 en herdbar legering som oppnår sine egenskaper via varmebehandling fra en innherding og ved en varmeutherdet prosess. Maskinering eller kalddeformasjon er tilvirkningsmetoder som kan brukes til 6082 T6 (Johansen, 2009).

Tabell 4 - Aluminium 6082-T6 mekaniske egenskaper

Legering	Tilstand	Flytegrense σ (N/mm ²)	Strekfasthet σ (N/mm ²)	Tetthet
6082 T6	< 12,5 – 100 mm	240	295	2,7 g/cm ³

Hentet fra (Standard, 2019a)

2.5.3 Aluminium versus stål

Mekaniske egenskaper som materialets motstandsdyktighet mot flyt, fremstillingsprosessen, og den konstruktive utformingen er faktorer som vil være med på å påvirke beslutningen om hvilket materiale som velges. Det kreves forståelse for fordeler og begrensninger, for å ende opp med det materialet som er mest hensiktsmessig til det aktuelle formålet. Øveraasen har stort fokus på kvalitet, og ønsker selvsagt at festebraketten skal holde den standarden som er forventet. Valget av materiale må i stor grad baseres på hvilken funksjon komponenten skal ha (Johansen, 2009).

Aluminium har kommersielt vært i bruk i ca. 150 år, og er i dag mye brukt i industrien (Syrefast stål, 2020). På grunn av materialtekniske egenskaper kan aluminium være et alternativt valg, framfor stål som tradisjonelt blir brukt. Det er klart et alternativt valg som vi har vurdert som aktuelt for vårt produkt. Sammenligningsfaktorer som korrosjonsmotstand, massetetthet, elastisitetsmodul, strekkfasthet og plastisk deformasjon er faktorer som er viktige i denne vurderingen. Massetetthet er viktig for vekten av festebraketten. For aluminium er den 2.7 g/cm³ mot 7.8 g/cm³ for stål. Både strekkfastheten og plastisk deformasjon er høyere for stål og det betyr at materialet tåler mer før det brister og blir deformert. Når det gjelder flytegrensen ser vi at forskjellen mellom stål og aluminium ikke er vesentlig stor, 315 N/mm² i S355 mot 240 N/mm² i 6082 (Standard, 1999a) og (Standard, 2019c). De mekaniske egenskapene for disse materialene er inkludert som vedlegg fra kapittel 12, vedlegg 4 og vedlegg 7. Elastisitetsmodulen beskriver motstandsevne mot elastisk deformasjon, og vi har stor forskjell når det gjelder spenning og tøyning av materialene. Stålet er stivere enn aluminium som betyr mindre deformasjon før et eventuelt brudd oppstår. Dette er et kriterium som taler for valg av aluminium (Aasgaard, 2012),

Vi er avhengig av å ha et materiale som er sterkt og tåler stor vekt-belastning, i vårt tilfelle 6 tonn, og på grunn av høy strekkfasthet tåler stålet mer enn aluminium før det går til brudd.

Stålet har høy belastningstoleranse. Også sveiseprosessen blir påvirket ved valg av materiale da varmeledningsevnen til aluminium er tre ganger høyere enn tilsvarende for stål, samt høyere varmetvidelseskoeffisient. Dette kan resultere i utfordringer som deformasjon under sveising. I tillegg sett i et økonomisk perspektiv er stål gunstigere enn aluminium, da aluminium har en relativ høy materialpris pr.kg. Så dermed faller valget på konstruksjonsstål av festebraketten basert på vurderingen av disse materialegenskapene.

Tabell 5 - Egenskaper for aluminiumslegering 6082 og karbonstål S355 (Aasgaard, 2012),

Egenskap:	6082 AlMgSi	S355	6082/S355
Tetthet	2,7 g/cm ³	7,8 g/cm ³	1:3
Elastisitetsmodul	69 N/mm ²	190 N/mm ²	1:2.75
Strekfasthet	295 N/mm ²	490 N/mm ²	1:1.6
Plastisk deformasjon	270 kN/mm ²	340 kN/mm ²	1:1.3

Hentet (Aasgaard, 2012), (Standard, 1999a) og (Standard, 2019c)

2.6 Produksjonsmetode

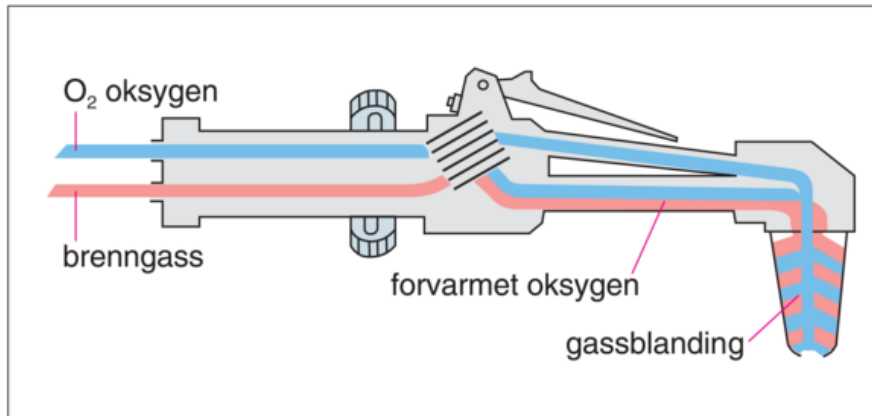
2.6.1 Oppdelende bearbeiding

Oppdelende bearbeiding er en felles betegnelse for metoder som skjærer, brenner og kutter i metaller for å få et stort emne til mindre emner. Verktøy som benyttes innenfor denne kategorien bearbeiding er ofte skjærebrenner, plasmakutter, platesaks, vinkelsliper og båndsg.

Brenngasskjæring og brenngass:

Brenngasskjæring er en forbrenningsprosess hvor en brenngass og oksygen går igjennom en brenner med en dyse eller sveisebend på. Denne gasskombinasjonen varmer opp stålet til antennelsestemperaturen som er på ca. 1200°C, som er ca. 400 grader under smeltetemperaturen. Når denne temperaturen er nådd trykker man ned et håndtak på pistolen som tilfører rent oksygen i en kraftig strøm. Oksygenet reagerer med stålet og blåser det brennende stålet ut av tverrsnittet man skjærer i. Skjæretemperaturen gjør at temperaturen

holdes imens man flytter brenneren i en rolig og jevn bevegelse bortover arbeidsstykket. (Industriskolen og BY-SA, 2018) (Baggerud og Almar-Næss, 2018)



Figur 17 - Oversiktsbilde av brenneren og gasstilførsel

Hentet fra (Baggerud og Almar-Næss, 2018)

Den mest brukte brenngassen er acetylen, men også andre gasser som propylen, propan og hydrogen blir brukt. Når det kommer til gassen som ikke er brennbar er det forskjell på hvor rent oksygenet er. Desto renere oksygen jo raskere reagerer det med metallet og dermed kan man skjære raskere også. Rett gass og munnstykke er alfa og omega for et godt resultat. Skjæremunnstykket velges ut ifra tykkelsen på materialet og hvilken gass man benytter. Munnstykker der hvor utgangshastigheten på oksygenet er høy øker skjærehastigheten. Med 15 spesielle brennere kan man skjære materialer med tykkelse opptil 2000mm. (Baggerud og Almar-Næss, 2018)



Figur 18 - Aktuelle skjæremunnstykker

Hentet fra (Industriskolen og BY-SA, 2018)

2.6.2 Sammenføyningsmetoder

Sammenføyningsmetoder er et felles begrep for metoder som sammenfører to materialer. Metoder som brukes er sveising, liming, lodding, skruing og nagling, og det er mange forskjellige kategorier under hver metode. Det er blitt gjort søk etter forskjellige sveisemetoder, da dette er mest relevant for denne oppgaven. Sveisemetoden som er brukt for å sveise sammen festbraketten er MAG sveising, en metode som trolig er mest brukt innenfor industrien.

Pressveising

Det finnes mange forskjellige sveisemetoder, men det kan kokes ned til to hovedgrupper. Det er pressveising og smeltesveising. Ved pressveising presses to deler sammen etter at de har blitt oppvarmet til en temperatur hvor materialene har blitt plastiske. I det de to plastiske fugeflatene presses mot hverandre oppstår det rekrySTALLISERING. Krystallene danner en sveiseforbindelse mellom de to emnene. En fordel med pressveising er at materialeegenskapene endrer seg lite etter at det er sveist sammen da materialet ikke har hatt en så høy temperatur at det har vært i smeltet form. Det vil da ikke dannes noen varmepåvirket sone tett ved sveisen, noe som det tradisjonelt blir ved smeltesveising. (Rødsås, Almar-Næss og Halmøy, 2018) (Industriskolen, 2018b)

Smeltesveising

Ved smeltesveising derimot blir materialene varmet opp til en høyere temperatur. Den høye temperaturen gjør at materialet smelter og flyter sammen med hverandre, når dette smeltebadet størkner får vi en sveiseforbindelse. Utstyret man trenger ved smeltesveising er noe enklere enn utstyret som blir benyttet ved pressveising da det ikke trenger noen ytre press. Smeltesveising er fortsatt en manuell oppgave mange steder i dag, selv om det finnes mange roboter som også utfører slikt arbeid. (Rødsås, Almar-Næss og Halmøy, 2018) (Industriskolen, 2018b)

MIG- og MAG sveising

MIG og MAG sveising er to veldig like sveisemetoder, da det kun er dekkgassen som blir brukt som er forskjellig fra den ene til den andre metoden (MIG; metal inert gas, MAG; metal active gas). Denne sveisemetoden fungerer slik at det er strømkilden som danner en lysbue mellom arbeidsstykket og sveisetråden som mates ut gjennom sveisepistolen. Denne lysbuen danner et sveisebad av arbeidsstykket og sveisetråden, når dette sveisebadet avkjøles dannes sveisen. Sveisetråden mates kontinuerlig ut gjennom sveisepistolen slik at man tilfører sveisebadet nytt materiale hele tiden, derav det kjente navnet “trådmater” på et slikt sveiseapparat. Sveisepistolen tilfører også dekkgassen til sveisebadet. Dekkgassen er forskjellig, ved MIG- sveising brukes en passiv dekkgass og ved MAG- sveising benyttes en aktiv dekkgass. Dekkgassen i MAG- sveising inneholder aktivt karbondioksid eller oksygen. MAG-sveising blir benyttet av en mye større gruppe enn de som benytter seg av MIG-sveising. MIG/MAG sveising blir brukt i mange sammenhenger verden over og er kanskje den mest brukte metoden å sveise på.

Teknikken for å sveise med MIG/MAG er forholdsvis enkel, sveiseren benytter seg av en sveisepistol som eneste verktøy for å utføre jobben. Sveisepistolen blir brukt for å tilføre tråden med tilsett materiale, dekkgassen samt strømmen som skal til for å lage lysbuen. Lysbuen tennes så fort bryteren på pistolen klemmes inn, deretter er det bare å føre pistolen i en jevn hastighet langs fugen som skal sveises. Det er viktig for sveisens kvalitet at sveiseren følger nøye med på sveisebadet som dannes, og holder rett avstand og posisjon på sveisepistolen i forhold til arbeidsstykket slik at kvaliteten på sveisen opprettholdes. (Kemppi, 2020b)



Figur 19 - MIG/MAG sveiseapparat

Hentet fra (Kemppi, 2020a)

2.6.3 Sponfraskillende bearbeiding

Sponfraskillende bearbeiding er et felles uttrykk for prosessen som fjerner materiale (spon) fra arbeidsemnet. Arbeidsemnet i dette tilfellet kan være alt i fra en stålplate til bolt i et plastmateriale. Når du skal bearbeide et arbeidsemne som er i stål eller aluminium er du avhengig av og ha rett utstyr og maskineri for å utføre dette. Maskinen som utfører dette, har som regel ett eller flere skjærende verktøy som fjerner materiale fra arbeidsemnet. Disse verktøyene lages i et spesielt hardt materiale for å kunne motstå varmen og kreftene som må til for å skjære i stål og andre harde materialer. Noen eksempler på typiske sponfraskillende maskiner er: bor-, frese-, dreie- og slipemaskiner. Disse maskinene kan være manuelt styrt eller datastyrt (CNC). I forbindelse med denne oppgaven har det blitt gjort søk etter teori om CNC fresing da det er relevant for å produsere en slik festebrakett oppgaven tar for seg. Hvilken del av festebraketten dette er aktuelt for er beskrevet nærmere under produksjonsmetoder. (Industriskolen, 2018a)

CNC fresing

CNC står for Computer numerical control, dette betyr med andre ord at fresemaskinen er datastyrt gjennom koder som forteller fresemaskinen hvilken retning verktøyet skal gå. Disse kodene blir plottet inn som en oppskrift på hvordan emnet gradvis skal bearbeides for å til slutt ha et ferdig produkt. Denne typen maskinering blir benyttet for å bearbeide et bredt spekter av materialer. Med en CNC fresemaskin kan man utføre mange forskjellige operasjoner ettersom hvilke verktøy man har tilgjengelig. Eksempler på dette er boring, planfresing og 3D fresing, hvor to akser flytter seg samtidig for å lage radier for eksempel. Følgende steg må gjennomgås for å gå fra råemne til ferdig produkt med en CNC fresemaskin:

- Designe en CAD-modell
- Konvertering av CAD-modellen til et CNC-program (CAM programvare)
- Sette opp CNC fresemaskinen
- Utføre freseoperasjonen



Figur 20 - eksempel på CNC fresemaskin

Hentet fra (Meidell, 2013)

Når operatøren setter opp fresemaskinen gjøres dette ved å feste råemnet i arbeidsbordet enten ved bruk av en skrustikke eller andre innfestingsmetoder, og finner frem de verktøyene som er nødvendig å ha for å produsere produktet. Noen CNC fresemaskiner har automatisk verktøybytte. De maskinene som har dette, får da en kode lagt inn som tilsier hvilket verktøy den skal bytte til før den fortsetter gjennom oppskriften av koder som er lagt inn på maskinen. Når freseoperasjonen er fullført og delen er produsert etter spesifikasjonene fra tegning og programmet som ble generert, går det ferdige produktet videre til etterbehandlingsfasen av produksjonen. Det finnes flere forskjellige utgaver av en CNC fresemaskin, blant annet med forskjellige antall akser hvorav en maskin med 3 akser er det simpleste, mens en med for eksempel 5 akser er av en mer avansert type fresemaskin. Maskinene med flere akser er dyrere enn de mer simple maskinene, og egner seg best til å lage avanserte produkter som krever høy standard og nøyaktighet. (Ronquillo, 2020)

2.6.4 Overflatebehandling

Overflatebehandlingen består i dette tilfellet av sandblåsing og lakkering med våtlakk.

Sandblåsing

Sandblåsing er fin sand sammen med trykkluft som fungerer slik at den skader overflaten i liten grad, noe som gjør at den urene overflaten som var på gjenstanden som sandblåses får en ny og ren overflate. Hos Øveraasen benytter de seg av små kuler av stål i stedet for kvartssand som er mest vanlig innenfor sandblåsing. Grunnen til at de benytter seg av små stålkuler hos Øveraasen er av den grunn at gjenstandene de sandblåser er av store og grove dimensjoner. Dette går da raskere og fjerner mer av overflaten som ofte har en del korrosjon, da delene ofte står ute til lagring uten korrosjonsbeskyttelse. (Wikipedia, 2015)

Lakkering

Lakk er en korrosjonshindrende overflatebehandling i tillegg til å være en dekorativ overflatebehandling. Lakken kan ha forskjellige tilsetninger som gjør at sluttproduktet får en korrosjonsbestandig overflate. Et eksempel på dette er grunningen Øveraasen benytter seg av. Den er tilsatt epoxy, noe som gjør at den tetter for vann og fukt slik at korrosjon ikke oppstår. På toppen av denne legges en vanlig pigmentert lakk for å få den fargen man ønsker på produktet.

2.7 Spennings- og tøyningskonsentrasjoner

Dette delkapittelet vil omfatte teorigrunnet for forståelse av de ulike kreftene som opptrer ved elementberegning og analyse.

2.7.1 Von Mises spenning

Von Mises spenning sammenfatter de ulike spenningskomponentene med deres ulike retninger i et tredimensjonalt mønster. Verdien av Von Mises spenningen viser til integriteten for den strukturelle konstruksjonen, betinget for dens materiale. Teorien fra von-Mises-Hencky viser at et materiale vil oppleve varig deformasjon når spenningskonsentrasjonene fra Von Mises spenningen når flytegrensen til materialet. (Kurowski, 2015)

2.7.2 D-verdi

D-verdien defineres som den teoretiske horisontale trekkraften mellom trekkvogn og trekkvognens transportverktøy, som for eksempel en tilhenger. D-verdien benyttes som grunnlaget for beregning av den horisontale referansekraften for dynamiske analyser av kjøreverktøy. Denne verdien benyttes til å velge ut en svingskivekobling som holder til beregnet D-verdi for det aktuelle vogntoget. I vårt tilfelle er dette traktoren og sope- og blåsemaskinen RS 200/400.

For tilkoblinger for svingskiver på traktor eller tilsvarende kjøretøy gjelder følgende formel:

$$D = g \times \frac{0.6 \times T \times R}{(T+R)-U}$$

Hvor:

T = Trekkvognens høyeste tekniske tillatte vekt i tonn.

R = Tilhengers høyeste tekniske tillatte lastevikt i tonn.

U = Svingskivens vertikallast i tonn

g = Tyngdeakselerasjonen (9.81 m/s²)

(lover, 1994)

2.8 Bærekraftperspektivet

2.8.1 Introduksjon

I en verden som utfordres av klimaendringer, er det en nødvendighet at mennesker som skal ta beslutninger har forståelse for implikasjonene av sine valg. Ingeniører skal bidra å hjelpe å løse utfordringene menneskeheten opplever, gjennom å gjøre de riktige valgene for å bidra med å redusere verdens klimautslipp. Det skal gjøres en bærekraftig utvikling. Bærekraftig utvikling er utvikling som tilfredsstillende dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstillende sine behov. (FN, 2017)

Bærekraftig utvikling styres av de tre bærekraftbjelkene økonomisk-, klima og sosial bærekraft. Den bærekraftige utviklingen skal bidra med å utrydde fattigdom, bekjempe ulikheter i samfunnene og stanse klimaendringer. I 2015 definerte FN sine 17 bærekraftsmål, som er en arbeidsplan for å nå visjonen om et bærekraftig verdenssamfunn. (FN, 2017)

2.8.2 Bærekraftig produksjon

Det er et felles ansvar for å nå våre klimamål. Bedrifter implementerer en rekke tiltak for å imøtekomme statelige og nasjonale krav om reduksjon av klimagasser. Bærekraft innen produksjon kan beskrives som en ansvarlig, miljøvennlig og økonomisk framturen som legger til rette for en robust og levedyktig virksomhet. I dette delkapittelet vil vi utforske enkelte tiltak som en produksjonsbedrift kan inkludere for å bidra i den bærekraftige utviklingen.

Reverse logistics

Reversert logistikk kan defineres som prosessen av planlegging, implementering, kontrollere effektiviseringen, sikre kostnadslave- varer og materialer. For bedrifter som inkluderer denne filosofien vil man evaluere produktets levetid, og sikre livssyklusen for produktet og gjenbruk av materialet ved endt levetid. Denne metoden kan også gi økonomisk vekst for bedriften, ved at den styrer vedlikeholdet av varen og kan gjenbruke materialet fra produktet når levetiden har endt. (Krakjewski, Malhotra og Ritzman, 2016)

Transport

Transporteffektivisering og evaluering av logistikkstrukturen hos en bedrift vil kunne medføre reduserte utslipp. Effektivisering med transport for lastebil, hvor bedriften kan gjennomføre transport av varer med fullastet lastebil, er et tiltak som bidrar til å redusere utslipp, ved å sikre reduksjon av antall transportreiser.

2.8.3 Livssyklusanalyse

Livssyklusanalyse er metoden for å evaluere miljøpåvirkninger av et produkt gjennom produktets livsløp, som inkluderer råvareuttak, produksjonsprosessen, bruk og til endt livsløp med avfallshåndtering. (Thomassen, 2020)

2.8.4 SolidWorks Sustainability

SolidWorks sitt programvaretillegg sustainability gir industrielle designere muligheten å evaluere deres produkt, materiale, transport og levetid i et bærekraftig perspektiv. Denne evalueringen skal gjøres for å minimere utslipp, og kartlegging av potensielle andre materialalternativer for produktet.

CML-metoden

Denne livssyklusanalyse-metoden ble utviklet av institutt for miljøvitenskap ved Universitet i Leiden i Nederland. CML-metoden er den mest brukte og blir ofte betraktet som den mest komplette metodikken for å gjennomføre livssyklusanalyse. Den bruker først og fremst europeiske data for å utlede sine miljøberegninger. Det eksiterer to ulike CML-metoder, CML-1996 og CML-2001. SolidWorks Sustainability, med 2020 versjon, anvender CML-2001 metoden. CML-metoden bruker mer enn 1700 ulike strømmer for å gjøre bærekrafts evaluering og livssyklusanalysen. (SolidWorks, 2020j)

3 Metode

3.1 Metodegrunnlag

Valg av metode beskriver måten vi har valgt å følge for å nå målet og komme fram til et resultat i oppgaven, samt til slutt en konklusjon. Metoden blir brukt som et verktøy og beskriver måten vi samler inn data på. Verktøyet gir oss en veiledning i hvordan gjøre undersøkelser av ulike fenomener på en systematisk gjennomtenkt måte. Systematikken går ut på innsamling av data, organisering, analysering og tolkning (Halvorsen, 2008).

Datainnsamlingen som blir gjort er på en måte byggesteinene i oppgaven, og metoden da en systematisert måte å gjennomføre denne prosessen på (Halvorsen, 2008). En god metode beskriver hvilke kunnskaper vi er ute etter og hva vi må samle inn av nødvendige data for å nærme oss et resultat. Resultatet som framkommer gjennom oppgaven, skal igjen beskrives på en enkel og interessant måte (Bjørnfot, 2019).

For å nå målet i oppgaven må vi foreta noen veivalg gjennom arbeidsprosessen, vi må velge om vi skal bruke en kvalitativ- eller en kvantitativ metode, eller begge deler for til slutt å konkludere. I tillegg må vi ha fokus på at dette gjøres på en måte som gir en troverdig konklusjon. For å sikre troverdighet kan vi validere og kritisk granske om vi har anvendt rett metode og teori, og om vi har gjennomført en studie som har ført til at vi har fått det resultatet vi ønsket å oppnå. Samtidig så skal metoden være etterprøvable, som betyr at andre skal kunne gjennomføre liknende studie på en annen måte og få nesten samme resultat (Bjørnfot, 2019). Halvorsen (2008) støtter dette i boken «å forske på samfunn», og sier at et sentralt krav i vitenskapen er at metoder og konklusjoner må kunne etterprøves.

Vi vil skrive litt generelt om hva som ligger i kvalitativ og kvantitativ metode.

3.1.1 Kvalitativ

Kvalitativt arbeid handler om å observere og beskrive et fenomen som man har studert eller forsket på. Selve undersøkelsen kan gjennomføres på ulike måter. Det er vesentlig å se på i hvilken grad det observerte er representativt, og kan dermed gjennomføres for eksempel via

intervjuer, som en slags bekreftelse på det observerte. Det kan dreie seg om observasjoner på en arbeidsplass eller ved å gjennomføre intervjuer av mennesker. På denne måten har man muligheten til å beskrive omverdenen med egne ord, på bakgrunn av observasjoner og svar fra intervjuer. Åpne intervjuer som vi har brukt i oppgaven er ofte ustrukturerte og samtalen styres av det informantene kommer med (Halvorsen, 2008). Intervjuguiden inneholder fokuspunkter knyttet opp mot problemstillingen. Vi har tatt utgangspunkt i en ustrukturert intervjuguide som har gitt oss en viss fleksibilitet i spørsmålsstillingen. Bakdelen med denne formen for intervju er som Halvorsen (2008) beskriver, at man ender opp med forskjellige spørsmål i intervjuene og har ikke samme grunnlag for sammenlikning av data. På den andre siden kan man ved ulik framstilling av spørsmål få fram ulike synsvinkler og dermed et større grunnlag og jobbe videre med.

Proessen med innsamling av data og selve analysen foregår som en samlet prosess ved kvalitativ tilnærming, mens i en kvantitativ tilnærming så har man først fokus på datainnsamling og videre tolkning og analyse. I litteraturen presiseres det at skillet mellom de to metodene ikke er like tydelig beskrevet, og man velger den metoden som passer til formålet for undersøkelsen, eller en kombinasjon av begge (Halvorsen, 2008).

3.1.2 Kvantitativ

Kvantitativ metode kan beskrives som gjennomføring av forsøk, forsøksdata og testresultater. Man får målbare data og må beskrive de valgene man har gjort i forhold til valg av materialer, parametere og forsøksserie. Argumentasjonen for hvorvidt det er spesielle kjennetegn som går igjen og leder til et resultat og gir troverdige konklusjoner, kan man gjennomføre ved å analysere kvalitativt (Bjørnfot, 2019). Kvantitativ metode kan også gjennomføres ved hjelp av standardiserte intervjuer eller ved bruk av spørreskjema. På denne måten har vi muligheten til å være konkrete i spørsmålsformuleringen, og i tillegg få en mer systematisk datamengde å analysere (Halvorsen, 2008). Det blir viktig å være tydelig på teori og spørsmåls-formulering før informasjons-innhenting, og man må ha klart for seg hva man ønsker å ha svar på. Denne metoden er lagt opp til at man kan stille samme spørsmål til mange mennesker og få en felles oppfatning eller mening som samtidig gjør det enklere å systematisere data (Halvorsen, 2008).

3.1.3 Empiri

Data som er samlet inn før et forsøk er utført, eller gjennom prosessen via observasjoner som man har gjort seg, kalles empiri (Bjørnfot, 2019). Vi snakker da om bruk av virkemidler som krav, forskrifter, standarder, produsentens krav, fagarbeideren, kunden og ressursbruk. Alle disse virkemidlene er vi avhengige av for å få tilstrekkelig med innsamlede data for å gå videre i prosessen.

3.1.4 Innsamling av data

I vår oppgave har vi brukt en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. Innhenting av data har foregått ved intervjuer, mailutveksling og samtaler. Vi har på en strukturert måte stilt åpne fakta-relaterte spørsmål fra hovedtemaet i oppgaven, altså kvalitativ metode.

Intervjupersonen har stått fritt til å svare på spørsmålene, og har i tillegg hatt mulighet for å ytre sine meninger på området. Vi har gjennomført intervjuene som en-til-en og ansikt til ansikt samtaler med personer som har erfaring på området. Underveis har vi hatt behov for mer informasjon, og har da benyttet oss av samtaler med de intervjuede for utdypning av informasjon. Videre har vi gjennomgått informasjonen fra intervjuene, og gjort en analyse og betraktninger som vi har tatt med oss inn i design- og konstruksjonsevalueringsfasen. I tillegg har vi hatt en del mailutveksling underveis samt samtaler for å få den informasjonen og dataene som vi har hatt behov for til å løse oppgaven.

I design- og konstruksjons fasen har vi i hovedsak brukt kvantitativ metode med å innhente tallfestede data, kjørt simuleringer via SolidWorks og analysert dataene. I tillegg har utført styrkeberegninger manuelt som har gitt oss et sammenlikningsgrunnlag, og som videre har ført til et resultat og en konklusjon. Underveis i prosessen har vi fokusert på å følge gjeldende regelverk og holdt oss innenfor det som er beskrevet i kravspesifikasjonen.

3.2 Gjennomføringer og avgrensinger

For dette bachelorprosjektet har det blitt gjort noen avgrensinger under prosjektets omfang. Avgrensingene er gjort i samsvar med samtaler, diskusjoner med Øveraasen, veileder og innen bachelorgruppen. Faktorer som har påvirket begrensingene i dette prosjektet er kunnskap, tid og ressurser. Avgrensinger for den enkelte aktivitet vil bli beskrevet for de respektive aktivitetene i et senere delkapittel. Følgende avgrensinger er gjort for det overordnede prosjektet:

- Prosjektet vil evaluere designet med økonomiske-, miljømessige og materialbeslutnings-parametere samt vurdere dens motstandsdyktighet for statiske og mekaniske laster. Designets motstandsdyktighet for tidsavhengige belastninger og varierende laster vil ikke evalueres i dette prosjektet.
- Prosjektet vil utelukkende evaluere designets motstandsdyktighet for statiske og mekaniske laster for materialene S355J2G3 og 6082 T6. Andre materialer vil ikke vurderes.
- Prosjektet sine elementberegninger gjøres ved statiske belastninger begrenset til gravitasjonsbelastninger og horisontale krefter fra beregnet D-verdi.

3.2.1 Aktivitet 1: Design

Gjennomføring

For å sikre utvikling av et tilfredsstillende design av braketten gjennomføres flere samtaler med Øveraasen for å gjøre iterasjoner av brakettløsning. Designet som fremvises i dette prosjektet er som et produkt av et kontinuerlig arbeid fra hver av kandidatene.

Avgrensinger

- Designkapittelet vil ikke inkludere en omfattende beskrivelse av produksjonsmetoder for framstilling av produktet og designet, dette inkluderes i aktivitet 4 – produksjonsmetoder.

- Designet vil inkludere konseptskisser som skal vise arbeidet som er gjort underveis.
- Designets konkretisering er gjort i samarbeid med veileder og teknisk sjef hos Øveraasen Jan Ivar Thorsrud, samt deres produksjonsavdeling med råd fra teknisk personell i produksjonsområdet.

3.2.2 Aktivitet 2: Elementberegning

Gjennomføring

For å evaluere designets respons fra ulike belastninger og designlaster er det gjennomført en elementberegning ved elementmetoden ved hjelp av dataverktøyet SolidWorks med støtteprogramvaren SolidWorks Simulations.

Avgrensinger

- Analysene gjennomføres ved en lineær materialmodell, dette er avgrensinger gjort med hensyn til forkunnskapene til kandidatene, samt det begrensede tidsrommet for dette prosjektet.
- Analysen vil gjøre materialavgrensinger, hvor det legges hovedvekt på materialet S355J2G3. Hovedvekten av analysen gjøres etter diskusjoner med Øveraasen, for produksjon av dette designet. Samtidig gjøres evaluering av alternative materialløsninger for å undersøke økonomiske eller miljømessige besparelser.
- Analysen med elementberegninger gjøres i henhold til standarder ISO 10303-104:2000.
- Analysen vil evaluere horisontale- og vertikale krefter som belastet på designet og beregninger av horisontalkrefter gjøres etter Europaparlaments- og rådsdirektiv ved beregning av D-verdi.
- Analysen vil omfatte opptredende kraft, og ikke maksimal Von Mises spenning for globalt scenario 2, dette er begrunnet av at analysemodellen sitt spenningsspektrum ikke ville konvergere til en gitt verdi.

- Analysen vil ikke inkludere optimalisering av strukturen. Formålet med analysen er å evaluere motstandsdyktighet ved ulike materialereller, og vurdere optimalt materiale for produksjon av braketten.
- Analysen vil forutsette at topplaten er i midtstillingskonfigurasjon, med to ledige boltehull på hver side av sideplaten. Det vil ikke gjøres elementberegning for andre konfigurasjoner.

3.2.3 Aktivitet 3: Manuell styrkeberegning

Gjennomføring

Styrkeberegning av skruer og dragarmbolter for å sikre at materialet tåler den belastningen som den blir utsatt for, samt kontrollere at den er under flytegrensen og har en tilstrekkelig sikkerhetsfaktor. I tillegg beskrives en dimensjonering av A-mål for sveiseforbindelsene.

Avgrensinger

- Vektfordelingen på de forskjellige skruene er en ukjent faktor som kan spille inn på skjærkreftene, vi velger derfor å beregne kreftene for alle boltene og vurderer derfor ikke en eventuell reduksjon av antall bolter i vår beregning.
- Konstruksjonen er designet slik at det kun er noen få sveiseforbindelser som er kritiske i forbindelse ved bruk av festebraketten. Resten av sveisene er kun for å holde festebrakettens form. Av den grunn har vi valgt å sette vår lit til fagarbeider innen sveis som har lang erfaring med å sveise store liknende konstruksjoner, og beskrevet dimensjoneringen av A-mål uten videre beregninger.

3.2.4 Aktivitet 4: Produksjonsmetoder

Gjennomføring

Produksjonsmetodene tar for seg de aktuelle metodene for å fremstille et ferdig produkt ved hjelp av midlene Øveraasen har tilgjengelig i sine fabrikklokaler. Det er også satt opp en

produksjonsplan på hvordan man kan produsere produktet på mest mulig effektiv måte samtidig som man opprettholder en god kvalitet.

Avgrensinger

- Produksjonsmetodene er satt på grunnlag av hvilke maskiner og utstyr som er tilgjengelig hos Øveraasen.
- Produksjonsgangen er satt i samarbeid med fagarbeidere ved Øveraasen.
- Produksjonsmetodene er manuelle og basert på at det er lavt kvantum det er snakk om å produsere.
- Prosjektet har ikke tatt for seg alternative produksjonsmetoder da dette ikke er relevant med tanke på hvilke produksjonsmidler Øveraasen har tilgjengelig. Utstyret og maskinene i fabrikklokalet er tilstrekkelig for å oppnå en god kvalitet på produktet.

3.2.5 Aktivitet 5: Økonomisk vurdering

Gjennomføring

Økonomisk vurdering gjøres ved dannelse av en selvkostkalkyle. Selvkostkalkylen vil inneholde kostnadselementer som er oppgitt av Øveraasen. Kalkylen produseres for å beregne varierende kostnadsbeløp ved ulike materialvalg.

Avgrensinger

- Selvkostkalkylen vil omfatte kostnadsevalueringer knyttet til materialene S355J2G3 og Aluminium 6082-T6.
- Selvkostanalysen er betinget av informasjon gitt av Øveraasen.
- Selvkostanalysen vil ikke inkludere materialsvinn som kan oppstå under framstilling av braketten.

- Prosjektet har ikke sett noe behov for å foreta markedsanalyse i forkant av prosjektet, da det allerede finnes et liknende produkt hos annen leverandør, og man antar at etterspørselen er til stede.

3.2.6 Aktivitet 6: Bærekraft-vurderinger

Gjennomføring

Bærekraft-vurderinger er knyttet til evaluering av designets og dens produksjonsmetodes totale miljøpåvirkning. Analysen vil gjennomføres med datapakken SolidWorks Sustainability som er et livssyklusanalyse-verktøy.

Avgrensinger

- Bærekraftsanalysen gjøres ved LCA-prinsippet og etter CML-metoden med SolidWorks og dataverktøyet SW Sustainability.
- Bærekraftsanalysen fokuserer på CO₂-utslipp og energiforbruk, og vurderer materialene etter deres totale miljøutslipp i deres levetid.
- For bærekraftsanalysen vil braketten antas å ha en levetid på 20 år.
- Bærekraftsanalysen vil foreta førstegangs forbruk av materialene S355J2G3 og Aluminium 6082-T6. Miljøutslipp ved å benytte seg av gjenbrukt materiale vil ikke inngå i analysen.
- Bærekraftsanalysen vil evaluere miljøpåvirkninger ved produksjon av braketten med både S355J2G3 og Aluminium 6082-T6 som materialer, og gi anbefaling knyttet til bærekraftperspektivet.

4 Aktivitet 1: Design

4.1 Metode

4.1.1 Designprosjekt

Forprosjekt design

Det første steget ved designprosjekt er forprosjekt. Forprosjektet består av innhenting av nødvendig informasjon fra Øveraasen, samt designet sine begrensninger og krav. Øveraasen hadde utviklet en tidligere skissert brakettløsning som kandidatene til dette prosjektet arbeidet videre med, for å forbedre konstruksjonen. Forberedelse av tidligere designløsning var tilknyttet bedring for produksjon i samarbeid med teknisk og verkstedspersonell. Den innhentede informasjonen fra Øveraasen ble studert og undersøkt for å kartlegge nøkkelverdier. Nøkkelverdiene for braketten var dens totale høyde og lokasjon av tilkoblingspunkter til trekkvognen.

Konseptutvikling

Det innledende arbeidet for utvikling av designløsning er knyttet til konseptutvikling, hvor det ble vurdert ulike løsninger knyttet til endelig produkt. I denne utviklingsfasen var prosjektet sitt fokus på nyskapende idéer, og det ble ikke vektlagt begrensninger til geometrisk framstilling eller motstandsdyktighet for mekaniske og statiske laster. Utvikling av konseptløsninger er grove skisser, som skal fremvise overgang til et konkret design. Flere løsninger ble vurdert med forbehold til Øveraasen sine spesifikasjoner for design. Samarbeidet med Øveraasen har vært en viktig faktor for å kvalitetssikre arbeidet med konkretisering av designet.

Konkretisering av design

Når flere konsepter hadde blitt utviklet i prosjektgruppen, ble arbeidet videreført med diskusjoner innen gruppen for å sikre en brakettløsning som tilfredsstillte kravspesifikasjonene hos Øveraasen, samtidig som det oppfyller kravene til produksjon og gjeldende standarder. I denne delen av designfasen, foregikk det diskusjoner av både kvalitative og kvantitative metoder innad i gruppen og med Øveraasen som samarbeidspartner. Den kvantitative metoden er knyttet til innhenting av relevant informasjon og datagrunnlag for konkretisering av designet, som geometriske mål, toleranser og begrensinger.

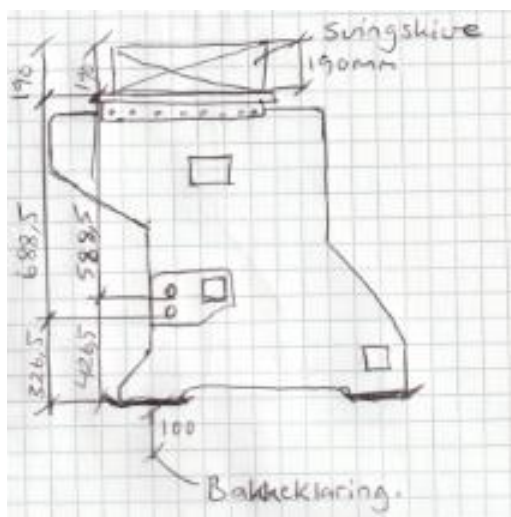
4.2 Resultat

Fokuset for dette prosjektet har vært å utvikle et design som er forsvarlig knyttet til økonomiske kostnader og produksjonsanvendelighet. Flere materialer har blitt vurdert under prosessen av designet, men konstruksjonsstålet ble identifisert som det optimale materialløsningen for dette designet. Designet som fremvises i dette prosjektet har blitt utviklet i samarbeid med teknisk sjef, Jan Ivar Thorsrud hos Øveraasen.

4.2.1 Geometriske begrensinger

Høydebegrensing

I oppgavebeskrivelsen fra Øveraasen fikk vi en kravspesifikasjon om at kjørehøyde på svingskiven skulle være på 1550 mm. Under designprosessen ble det gjort slik at den har to ulike innfestningshøyder til dragarmene. Det skiller 100 mm mellom de to. Dette ble gjort da det skaper mer allsidighet i forhold til type traktor man kan bruke for å feste braketten. Traktoren vi har hatt tilgjengelig som Øveraasen leverer med sope- og blåsemaskinen, er en Valtra T234. Dragarmene til den traktoren løfter maks 875 mm med standard dekkdimensjon bak. På grunn av usikkerheten rundt løftehøyde på andre traktorer samt at dragarmene ikke måtte løftes mye over horisontal stilling ble det laget to ulike innfestninger. Det ble tegnet en skisse som illustrerer målene fra de forskjellige festepunktene samt en tiltenkt bakkeklaring på 100 mm ved bruk.



Figur 21 - Håndtegnet skisse av kjørehøyde

Det ble gjort utregninger for å finne ut om dragarmene kunne løfte høyt nok til å oppnå en kjørehøyde på 1550 mm.

Løftehøyde dragarmer ved innfestning i det nederste hullbildet:

$$H = 1550 \text{ mm} - 878,5 \text{ mm} = 671,5 \text{ mm}$$

Løftehøyde i det nedre hullbildet inkludert bakkeklaring på 100 mm vil da være på 771,5 mm. Dette er innenfor hvor høyt traktoren løfter dragarmene og er dermed ok. Dragarmene vil ha en posisjon litt over horisontallinjen.

Løftehøyde dragarmer ved innfestning i det øverste hullbildet:

$$H_2 = 1550 \text{ mm} - 778,5 \text{ mm} = 771,5 \text{ mm}$$

Løftehøyde i det øvre hullbildet inkludert bakkeklaring på 100 mm vil da være på 871,5 mm. Dette er også innenfor hvor høyt traktoren klarer å løfte dragarmene, men de vil nå stå mye høyere enn horisontallinjen.

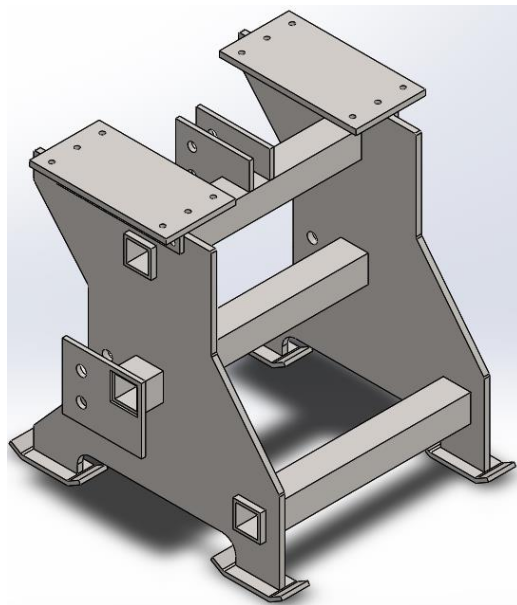
Festepunkter

Det er ingen spesifikke begrensninger ved festepunktene. En endring man må gjøre med traktoren i forbindelse med festepunktene dersom man ikke har det fra før er et hydraulisk toppstag. Dette er viktig i forbindelse med heve og senk operasjonen da de nedre dragarmene endrer lengde ettersom de justeres i høyden.

Dette gjør at festebraketten ikke står i vater til enhver tid. Med et hydraulisk toppstag kan man enkelt justere seg inn. For å enkelt vatre opp festebraketten kan man lime på to små vater på braketten både i traktorens kjøreretning og på tvers av traktoren.

4.2.2 Konseptutvikling

I den første designfasen ble innspill fra Øveraasen gitt for å utvikle en konseptløsning til ferdig utviklet brakettløsning, dette gjaldt høydebegrensinger og festepunkt for traktor. I kapittel 12 og vedlegg 8 fremvises de ulike konseptskissene. Overordnet er disse skissene veldig grove, og skal vise hvordan prosjektet arbeidet for å sikre et godt utviklet design. Figur 22 viser sammenstillingen for konseptet.



Figur 22 - Sammenstilling (Konseptskisse)

4.2.3 Konkretisering av design

Det videre arbeidet knyttet til utviklingen av brakettløsningen er gjeldende ved konkretisering av designet. I samtaler med Øveraasen og deres produksjonsavdeling med innspill fra ansatte, ble det gjort geometriske endringer fra konseptskisser til ferdig utviklet design. I kapittel 12, og vedlegg 9 – 12, vises det endelige designet.

Geometriske endringer

Strukturrammen

Strukturrammen er hovedkomponenten i designet, og sammenkobler de øvrige delkomponentene. Tegning av strukturrammen er vist i kapittel 12, vedlegg 11 og vedleggsfigur 57. I den opprinnelige utviklede sideplaten til konkretisert design, er det ikke store geometriske forskjeller. Fra konsept var det usikkerhet om antall boltehull, og det ble besluttet å ikke inkludere dem i denne fasen. Etter samtaler med Øveraasen, ble det anbefalt å inkludere 13 boltehull, som ville gi frihet til brukeren for festelse av topplaten og utstyr.



Figur 23 - Fra konsept til konkretisering (Strukturramme)

Bildet til venstre viser konseptskisse og bildet til høyre viser ferdig designet strukturramme

Avstivningsrør (Topp-/ bunnrør og mellom-rør)

De tre rørene i designet har som funksjon og avspenne de to sideplatene, og fordele krefter ved belastning. Topprøret vil bli sveiset med toppstaget. Det midterste røret vil sveises med sideplatene. Bunnrøret er avstivningsrør. Topp- og bunnrør har samme lengde, mens mellomrøret er forlenget for å imøtekomme bolteforbindelsene. Tegning av avstivningsrørene er vist i kapittel 12, vedlegg 11 og vedleggsfigur 58 og 60. De geometriske endringene fra konsept til konkret design, er avrunding av hjørner for å unngå skarpe sidekanter og utfordringer knyttet til sammenstilling ved produksjon og entring av hullet i strukturrammen.



Figur 24 - Fra konsept til konkretisering (Avstivningsrør)

Bildet til venstre viser konseptskisse og bildet til høyre viser ferdig designet avstivningsrør

Toppstag

Toppstagene er en del av traktorens tre-tilkoblingssystem for braketten. Dens høyde og posisjon er tidligere beskrevet i kapittel 4.2.1. Tilkoblingssystemet for traktoren vil festes til toppstaget med én bolt. Toppstaget er sveist fast til topprøret, og anbefalt sveis er kilsveis, a5. Tegning av toppstaget er vist i kapittel 12, vedlegg 11 og vedleggsfigur 61. Endringer fra konsept til konkretisering er avrunding av skarpe hjørnegeometrier og filing av ytre kanter.



Figur 25 - Fra konsept til konkretisering (Toppstag)

Bildet til venstre viser konseptskisse og bildet til høyre viser ferdig designet toppstag

Sideplate

I likhet med toppstaget, så er sideplatenes funksjon tilknyttet å være tilkoblingspunkter for braketten til traktorens tre-tilkoblingssystem. Designet har to sideplater, som sveises fast til det midtre røret, en på hver side. Både konsept og konkretisering inkluderte uthullet overflate for det midtre røret, denne funksjonen ble inkludert etter anbefalinger fra sveiserne hos Øveraasen. Sveiserne informerte om hvordan det ville være utfordrende å gjennomføre punktveiser, dersom uthuling ikke ble inkludert i designet. Tegning av sideplaten er vist i kapittel 12, vedlegg 11 og vedleggsfigur 59. Geometriske endringer fra konsept til konkretisert design inkluderer avrunding av hjørnegeometrier og fjerning av overfladisk materialet.



Figur 26 - Fra konsept til konkretisering (Sideplate)

Bildet til venstre viser konseptskisse og bildet til høyre viser ferdig designet sideplate

Støtteben

Støttebenene gir designet mulighet til å stå frittstående for brakett og verktøy ved parkering. Designet skal imøtekomme kravspesifikasjoner for motstandsdyktighet til vertikale belastinger ved 6000 kg, dette vil evalueres i kapittel 5. Denne konstruksjonen består av fire støtteben, som blir sveist fast til strukturen. Tegning av støttebenet er vist i kapittel 12, vedlegg 11 og vedleggsfigur 62. Geometriske endringer som har blitt gjort fra konseptutforming til et ferdig utviklet konkret design, er avrunding av topphjørne og filing av ytre kanter.



Figur 27 - Fra konsept til konkretisering (Støtteben)

Bildet til venstre viser konseptskisse og bildet til høyre viser ferdig designet støtteben.

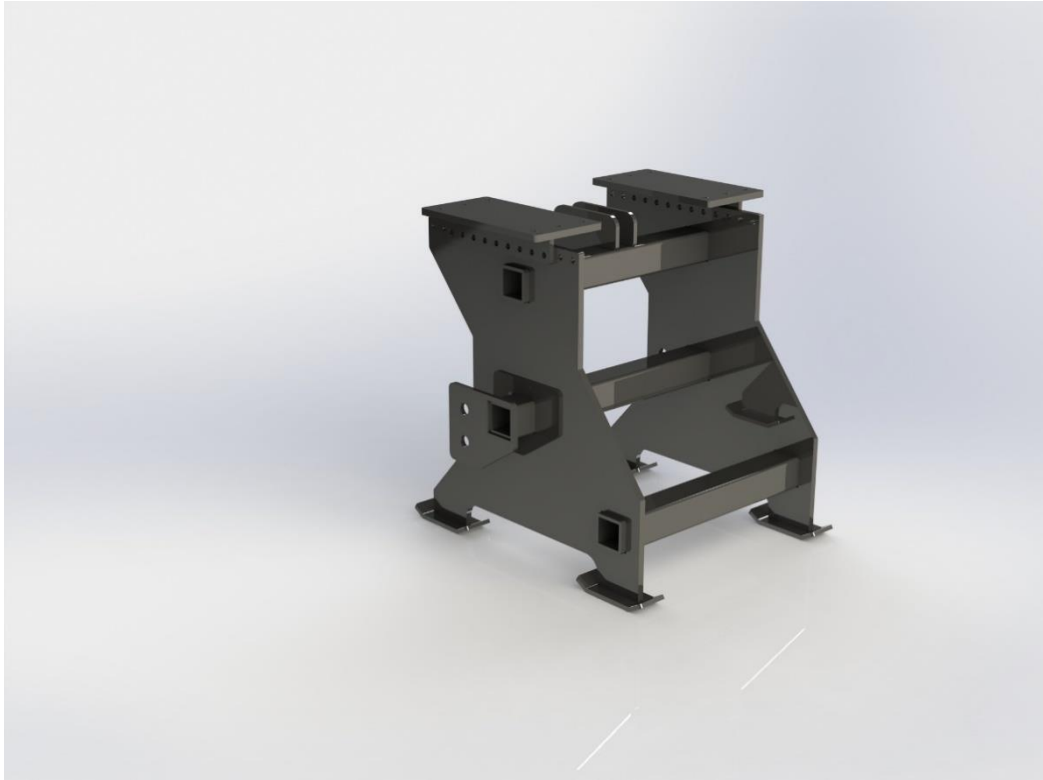
Topplate og låsemekanisme

Topplatens funksjon er å imøtekomme overgangsutstyret for å sikre at sope- og blåsemaskinene RS200 og RS400 kan transporteres med traktor som fremkomstmiddel. Designet har to topplater, festet til hver sine respektive strukturen. Ved utforming av topplatene var fokuset deres motstandsdyktighet for vertikal og horisontale belastinger, dette vil evalueres i kapittel 5. Topplatene sveises fast til komponentens låsemekanisme ved kilsveis. Tegning av topplate er vist i kapittel 12, vedlegg 11 og vedleggsfigur 63 og låsemekanisme vedleggsfigur 64. Geometriske endringer for topplate og låsemekanisme er avrunding av hjørner.

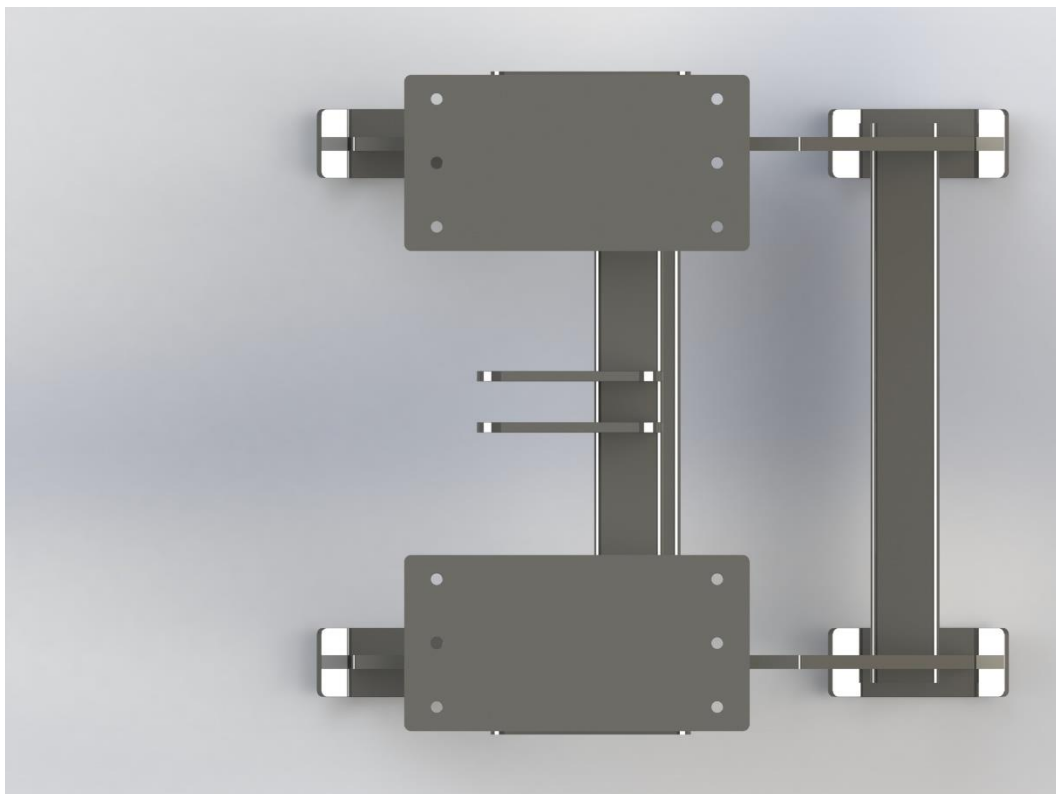


Figur 28 - Fra konsept til konkretisering (Topplate og låsemekanisme)

Bildet til venstre viser konseptskisse og bildet til høyre viser ferdig designet topplate og låsemekanisme



Figur 29 - Illustrasjonsbilde av ferdig utviklet design



Figur 30 - Illustrasjonsbilde brakett (ovenfra)

5 Aktivitet 2: Elementberegning

5.1 Metode

5.1.1 Forarbeid

Forarbeidet var definert å omfatte de ulike kritiske scenarioene for konstruksjonen og dens design. Elementberegning og elementanalyse med SolidWorks Simulations var betinget som den egnede metoden for å utføre en overordnet strukturell elementberegning. Denne begrensningen er knyttet til konstruksjonsdesignets komplekse geometri og sammensetting av flere kontaktflater, som gjør SolidWorks Simulations til et velegnet dataverktøy for å utføre denne analysen. Kandidatene i dette prosjektet valgte å benytte seg av programvaren SolidWorks Simulations, som følge av deres kunnskaper for dette programmet, samt begrensede kunnskaper for andre elementberegning-programmer, og i tillegg støtte fra fagpersonell i Øveraasen og sensor til denne oppgaven. Tilegning av kunnskaper for arbeidet med elementberegning er gjort ved gjennomgang av faglitteratur i emnet elementmetoden (TEK2001), samtaler med faglærer, sensor samt kontaktpersonell fra Øveraasen.

Når oppgaven hadde definert utformingen av konstruksjonsdesignet, begynte man arbeidet med elementberegning av utarbeidet designløsning. Arbeidet knyttet til elementberegningen viste seg å være utfordrende og tidskrevende, og resulterte i mye tidsforbruk for å definere analysemodellens begrensninger for å fremkalle et empirisk korrekt avbilde av konstruksjonens belastningsspektrum. Forskjellige fastholdinger og lastekonfigurasjoner ble utprøvd for å gi en korrekt struktur for analysemodellen og til ulike scenarioer. Det oppsto utfordringer knyttet til konvergenstudium, og dette var betinget av programvarens produksjon av elementnettverk som dannet singularitetspunkter. Dette ble korrigert ved å innføre endringer av designets geometri med inkludering av avbøyninger for enkelte skarpe kanter.

5.1.2 Analysescenario

I samarbeid med Øveraasen og veileder for oppgaven ble det utarbeidet ulike scenarioer som skulle undersøkes for en elementberegningsanalyse, og designets sikkerhetsfaktor. Det ble fastslått å undersøke konstruksjonens motstandsdyktighet for frittstående belastninger av verktøyet RS200 eller RS400 og horisontale krefter for brakettløsningen under transport av verktøyet RS200 eller RS400. For hvert scenario gjøres det vurdering av øvrige alternative materialer som har vært beskrevet i kapittel 2. De øvrige scenarier er beskrevet nedenfor.

Global analyse Scenario 1

Designløsningen av braketten må ha mulighet til å motstå den vertikale gravitasjonsbelastningen ved å bære vekten av verktøyene RS200 og RS400 når disse står frittstående tilkoblet til braketten.

Global analyse Scenario 2

Designløsningen av braketten må ha mulighet til å motstå de horisontale kreftene ved akselerasjon og oppbremsing ved transport av verktøyene RS200 eller RS400. De horisontale kreftene som beregnes er betinget av D-verdien.

Lokal tilpassing for Scenario 1

For å produsere et korrekt avtrykk av kreftene som opptrer i konsentrasjonen ved vertikal gravitasjonsbelastning, kreves det å gjøre lokal tilpassing av elementnettet, inntil det oppstår en konvergens.

Lokal tilpassing for Scenario 2

Det gjennomføres en lokal tilpassing av elementnettet og dens størrelse for scenario 2, likt som det blir gjort for scenario 1. Denne tilpassingen gjøres for å sikre korrekt avbildning av kreftene som opptrer i brakettkonstruksjonen.

5.1.3 Materialdata og materialmodeller

Materialdataen har blitt inkludert i elementberegning av braketten innen SolidWorks. Materialet som anvendes er beskrevet i kapittel 2.4 og 2.5, og datamaterialet er inkludert som vedlegg i kapittel 12, vedlegg 4 og 7. Elementberegningen forutsetter en lineær modell for analysen, som tidligere nevnt i kapittel 3.2.3. Dette forutsetter at materialene blir fullstendig beskrevet av deres elastisitetsmodul og Poisson-tallet.

5.1.4 Lastkonfigurasjon

Lastekonfigurasjonene er betinget av de ulike analyse-scenariene for dette prosjektet og med avgrensinger i samarbeid med veileder og Øveraasen. For de betingede scenariene oppstår det to ulike lastkonfigurasjoner, som inkluderer vertikal last når braketten er frittstående og bærer verktøyet og horisontal last når braketten er under transport.

Vertikale laster (Gravitasjonskrefter)

Vertikale laster er knyttet til vektbelastninger og tyngden som hviler på brakettkonstruksjonen når den står frittstående. Øveraasen krevde at designløsningen må kunne bære 6000 kg.

Tyngdekraftene fordeles for hver av de to topplate og fordelingen skjer etter følgende modell:

$$F = M \times g$$

Horisontale laster (D-verdi)

Horisontale laster er knyttet til D-verdien for tilhengerutstyr for traktorer. Bakgrunnen for D-verdi er beskrevet i kapittel 2.7.2. For beregning av de horisontale kreftene betegnes både akselerasjon med økende fart, og oppbremsing. Dette medfører at horisontalkreftene vil opptre i to retninger, avhengig av kjøreretningen og kjøremønster. Horisontalkrefter etter utregnet D-verdi opptre etter følgende modell:

$$D = g \times \frac{0.6 \times T \times R}{(T + R) - U} \text{ (kN)}$$

5.1.5 Akseptkriterier

Vurderinger knyttet til om analysen tilfredsstillende, er betinget av to akseptkriterier, deriblant tillatt spenning og tillatt forskyvning og nedbøyning. Den akseptable spenningen som tillates er benyttet etter kravene fra DNVGL-ST-E273, som formulerer at spenningen ikke skal overstige 85% av flytegrensen. Flytegrensene til materialene er beskrevet i kapittel 12 og vedleggene 4 og 7. For den tillatte nedbøyningen er dette gjort i samarbeid med Øveraasen, som krevde at konstruksjonen ikke skulle ha en høyere nedbøyning enn 5 mm.

Tabell 6 - Akseptkriterier spenning

Navn	Tilstand (tykkelse)	Flytegrense MPa	Maksimal tillatt spenning MPa
S355J2G3 (1.0570)	> 100 mm	315	267,75
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	< 12,5 – 100 mm	240	204

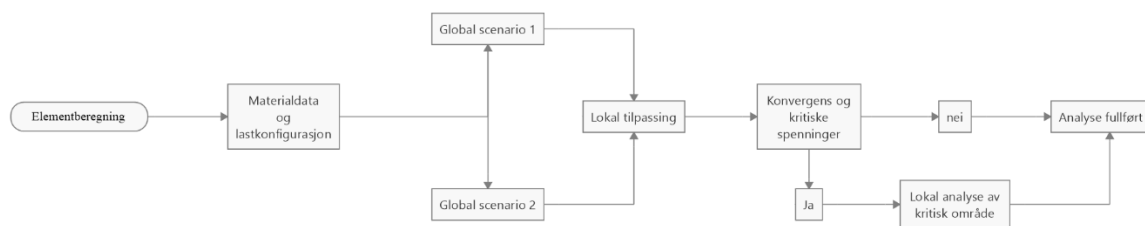
5.1.6 Fremgangsmetode for elementberegning

Analysemodeller og konstruksjon

For å produsere et elementnettverk som er hensiktsmessig, med tilgjengelige dataressurser og begrenset tid, ble det vektlagt å produsere et globalt elementnettverk med lokal tilpasning for enkelte områder (eng. mesh control). Den globale analysen ble gjort ved et definert «fint-mesh» på elementstørrelsesorden 22.5 mm, samtidig ble det gjort forenkling av bolteforbindelser med tilknyttede fastholdinger. For å få et nøyaktig avbilde av spenningskonsentrasjonene som opptrer ved belastning av konstruksjonen, ble det gjort en lokal tilpasning i områder hvor kreftene forplanter seg.

Materialvurderinger

Analysemodeller med både globale og lokale tilpasninger ble vurdert i henhold til akseptkriterier for å evaluere materialets motstandsdyktighet for flyt samt motstand mot mekaniske og statiske bevegelser. Materialet aluminium 6082-T6 eksisterte ikke i SolidWorks Simulations sin datapakke, og dermed måtte vi produsere et egendefinert materiale. For å oppnå dette inkluderte vi de relevante materialdataene, som flytegrense, elastisitetsmodul, Poissons tallet og øvrige parametere for å gi programmet mulighet å simulere. Materialdataene ble hentet fra standarden NS-EN 573-3:2019.



Figur 31 - Skjematisk prosess for fremgangsmetoden for elementberegning

5.1.7 Tolkning av resultater

Resultatene fra elementberegninger er knyttet til begrensinger som er inngått i analysemodellen. Det er dermed viktig at resultatene sees i sammenheng med framgangsmåten for å definere modellen. Det er en sammenheng mellom de ulike konfigurasjonene og resultatene som disse konfigurasjonene produserer, deriblant lastekonfigurasjoner, fastholdinger og materialvalg. Resultatene ble vurdert og tolket av alle medlemmer i gruppa, og det utøvdes faglig tyngde ved tolkning av resultatene. I alle modeller oppførte materialene seg lineær-elastisk.

Globalt scenario 1 og 2

For globalt scenario 1 ble det vektlagt fokus på utvikling av konvergens av krefter som opptrer i konstruksjonen, for å definere den maksimale opptredende kraften og vurdere den i tråd med akseptkriteriene. Globalt scenario 1 inkluderer et fint elementnettverk på størrelse av 22.5 mm for hvert element.

I likhet med globalt scenario 1, ble det for globalt scenario 2 fokusert på konvergens og sammenligne kreftene med akseptkriteriet. For globalt scenario 2 ble det brukt et fint elementnettverk på størrelsen av 22.5 mm for hvert element.

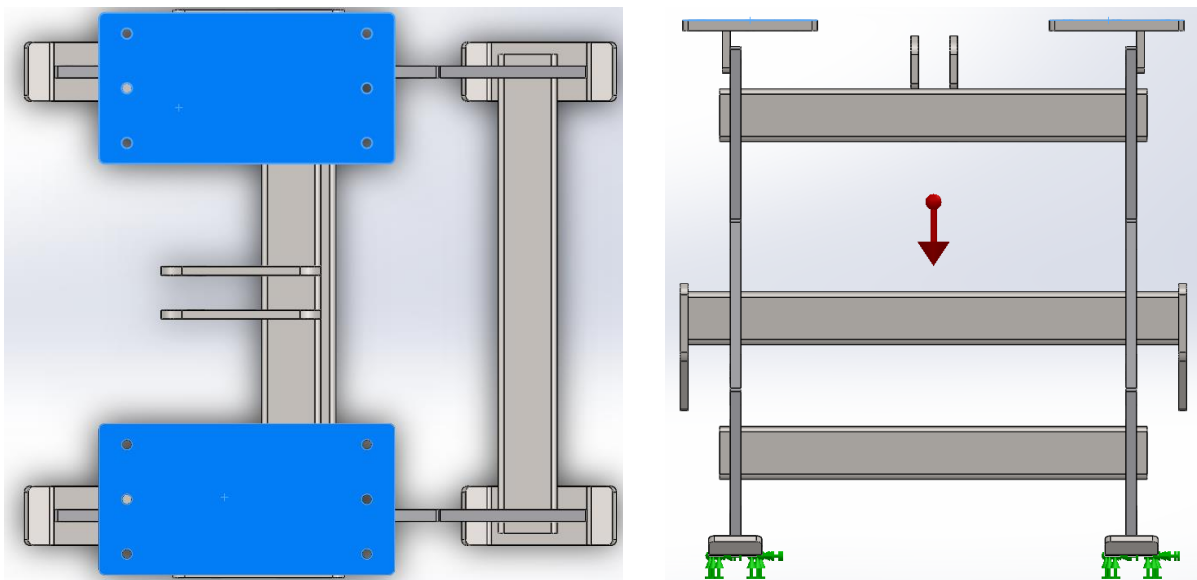
Lokal tilpassing

For hvert globalt scenario ble det gjort en lokal tilpassing for konstruksjonen. Ved å inkludere mindre elementstørrelse hvor det oppstår størst spenningskonsentrasjoner, gir dette mulighet for å gi et korrekt avbilde av belastningene og nedbøyningen for braketten i ulike scenarioer. Utfordringer var knyttet til å ikke skape et høyt forfinet elementnett.

5.1.8 Analysemodell

Globalt scenario 1

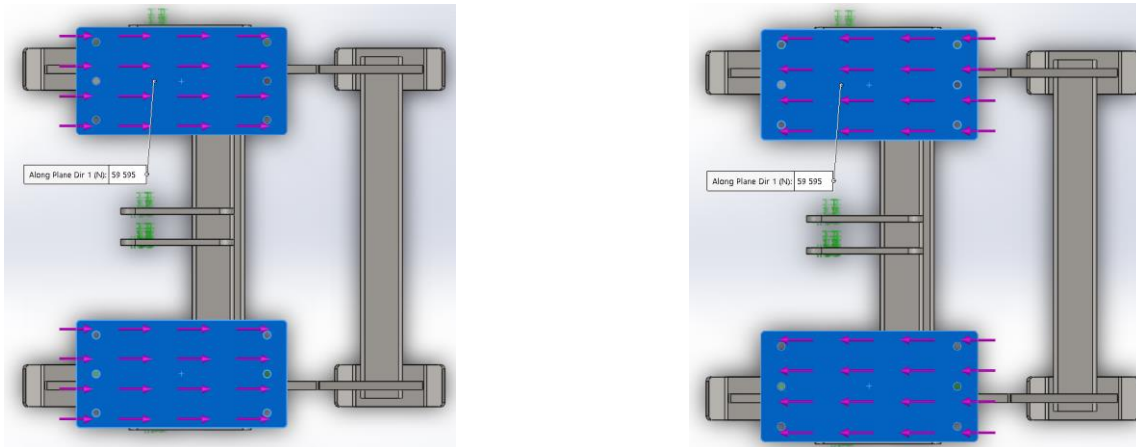
Globalt scenario 1 er tilknyttet braketten sin motstandsdyktighet for kompresjon når konstruksjonen skal bære en vertikallast på 6000 kg. For dette scenarioet betegnes at vekten fordeles for hver av topplatene og belastningene av kreftene er tilknyttet gravitasjon. Fastholdinger gjøres av brakettens bein.



Figur 32 - Framstilling globalt scenario 1

Globalt scenario 2

Globalt scenario 2 er tilknyttet braketten sin motstandsdyktighet for horisontale spenninger. De horisontale kreftene opptrer under transport og dimensjonen av kreftene er betinget av D-verdien. For dette scenarioet undersøkes D-verdien både ved akselerasjon og nedbremsing, som medfører ulike kraftretninger. Fastholdinger gjøres ved områder med bolt-forbindelser og skrueforbindelser.



Figur 33 - Framstilling av globalt scenario 2

Lokal tilpasning

For globalt scenario 1, ble det identifisert at topplaten og dens låsemekanisme var områder hvor kreftene opptrådte. Her ble elementnettverket justert for å gi et korrekt bilde av spenningskonsentrasjonene. For globalt scenario 2 ble traktorens trepunkts-tilkoblingspunkter identifisert som områder hvor kreftene opptrådte, her ble elementnettverket justert.



Figur 34 - Områder med opptrædende krefter, som krever lokal tilpasning

5.2 Resultat

5.2.1 Lastkonfigurasjoner

Resultatet av lastekonfigurasjonene er knyttet til de to ulike globale scenarioene og er følgende;

Globalt scenario 1

For dette scenarioet skal braketten motstå vertikale belastinger på 6 tonn.

$$F = M \times g$$

Hvor;

F = Kraft

M = Vekt (Thomassen)

g = Tyngdeakselerasjonen (9.81 m/s²)

$$F = 6000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 58\,860 \text{ N}$$

Globalt scenario 2

For dette scenarioet skal braketten motstå horisontale belastinger tilknyttet D-verdi som er følgende:

(T) Totalvekten av trekkvognen, som er 13,5 tonn.

(R) Tillatt tilhengerlast som er 18 tonn.

(U) Svingskivens vertikallast, som er 6.0 tonn.

$$D = g \times \frac{0.6 \times T \times R}{(T+R)-U}$$

(lover, 1994)

$$D = 9.81 \times \frac{0.6 \times 13.5 \times 18}{(13.5+18)-6.0} \text{ (kN)} = 56.1 \text{ kN}$$

Denne horisontale kraften fordeles likt for hver av de to ulike topplatene til braketten. Tallene som er satt for R og U er oppgitt fra ekstern veileder hos Øveraasen. Trekkvognens høyeste tillatte vekt i tonn er hentet fra vognkortet til traktoren.

5.2.2 Globalt scenario 1

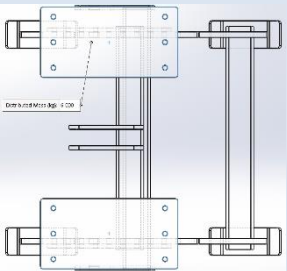
Materialdata

Tabell 7 - Materialdata for globalt scenario 1

Navn	Tilstand (tykkelse)	Flytegrense MPa	Maksimal tillatt spenning MPa	Strekfasthet Mpa	Massetthet
S355J2G3 (1.0570)	> 100 mm	315	267,75	490	7,8 g/cm ³
AW-Al- Si1MgMn (6082 - T6)	< 12,5 – 100 mm	240	204	295	2,7 g/cm ³

Krefter

Tabell 8 - Kraftkonfigurasjon for globalt scenario 1

Lokasjon	Størrelse	Retning
<p>Topplate (fordelt vekt)</p> 	58 860 N	Negativ y-retning

Fastholdinger

Tabell 9 - Fastholdinger for globalt scenario 1

Område	Type
	Fixed Geometry

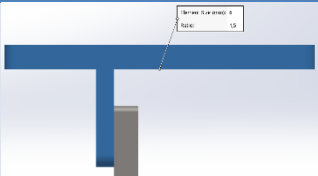
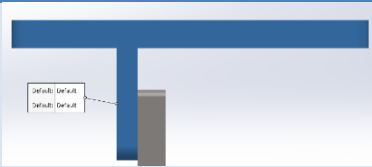
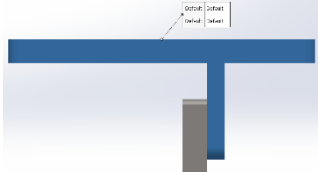
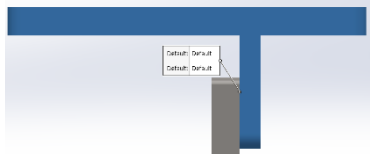
Elementnettverk

Tabell 10 - Elementnettverk for globalt scenario 1

Navn	Tilstand
Elementnettverk type	Solid elementnettverk
Elementnettverk brukt	Standard elementnettverk
Jacobian poeng	4
Elementstørrelse	22.5 mm
Toleranse	1,125 mm
Elementkvalitet	Høy (fint elementnett)
Maksimalt størrelsesforhold	15,749
% av elementer med størrelsesforhold < 3	97,7%
% av elementer med størrelsesforhold > 10	0,0391%
Antall noder	387315
Antall elementer	242746
Antall frihetsgrader (DOF)	1 160 037

Elementnettverk forfinet (lokal tilpasning)

Tabell 11 - Lokal tilpasning for globalt scenario 1

Område	Element størrelse	Område	Element størrelse
 <p>Topplate (venstre)</p>	6 mm	 <p>Topplate låseforbindelse (venstre)</p>	6 mm
 <p>Topplate (høyre)</p>	6 mm	 <p>Topplate låseforbindelse (høyre)</p>	6 mm

5.2.3 Konvergenstudie scenario 1

For konvergenstudiet for scenario 1, sammenlignes maksimal Von Mises spenning mot antall frihetsgrader (DOF) i elementnettverket. Et korrekt produsert elementnettverk vil tyde at Von Mises spenningen konvergerer mot en gitt grense.

Globalt Scenario 1

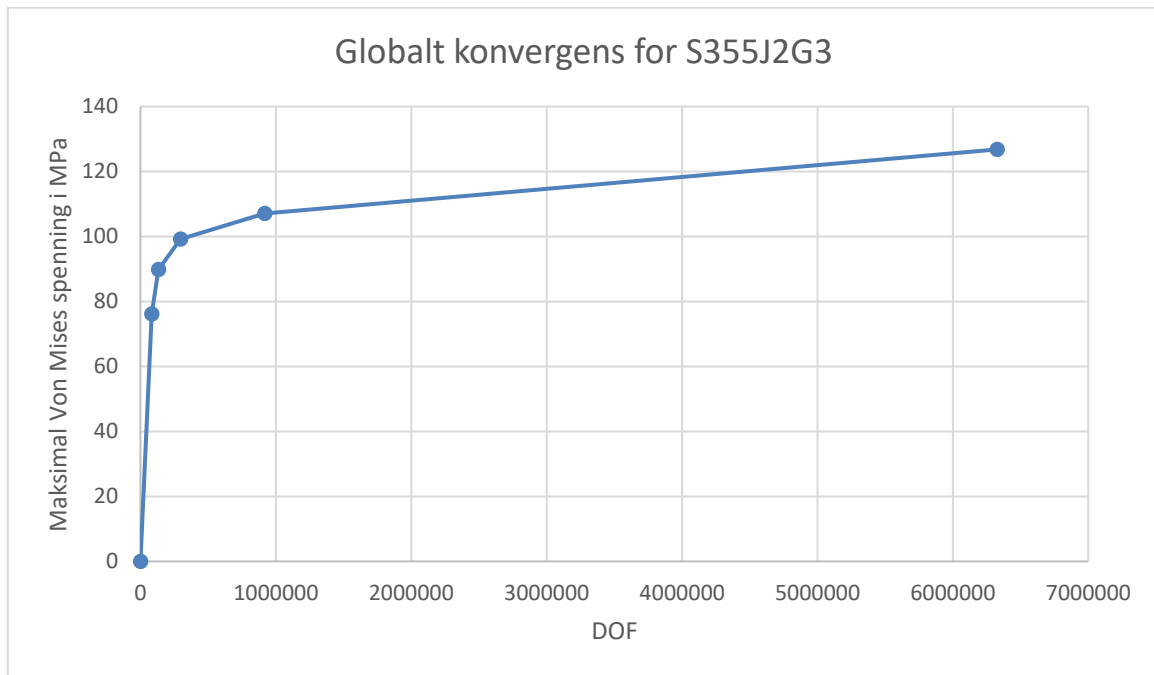
I det globale konvergenstudiet ble elementnettverkstørrelsen for hele konstruksjonen justert for å undersøke om konvergens oppsto. Elementstørrelsen varierte fra 90 mm til 6 mm.

Grunnen til at vi ikke brukte ytterligere forfinet elementnett, er at dette krever mye datakraft og tidligere forsøk, viste til at konvergens ikke ville oppstå. Tabell 12 viser resultatene fra det globale konvergenstudiet.

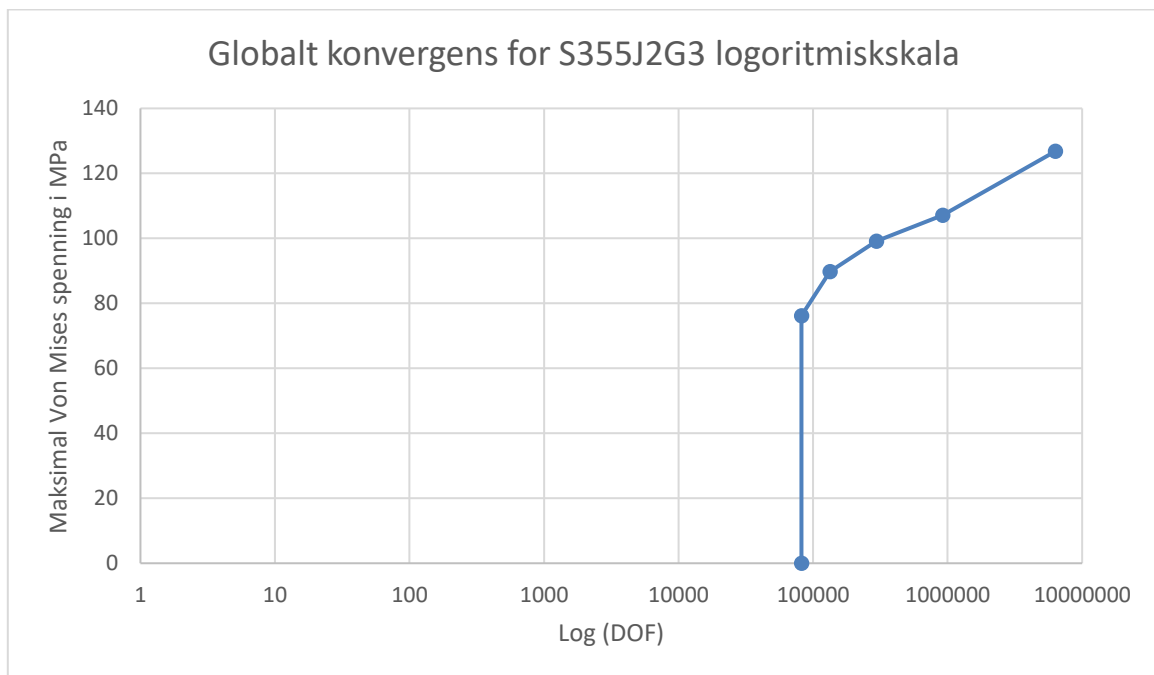
Tabell 12 - Globalt konvergenstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3

Mesh	1	2	3	4	5
Elementstørrelse	90 mm	45 mm	22.5 mm	12.5 mm	6 mm
Antall elementer	14076	23122	52622	175550	1357272
Antall DOF	81930	133875	295676	917784	6327384
Maksimal Von Mises spenning (MPa)	76.18	89.82	99.19	107.1	126.8
Beregningstid (sekunder)	2	2	5	14	104

Global konvergenstudiet (fra globale scenario 1)



Figur 35 - Globalt konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3



Figur 36 - Globalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmskala)

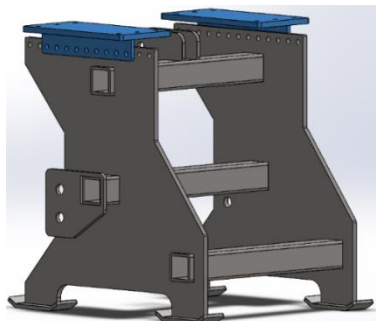
Lokal tilpasning konvergens (fra globalt scenario 1)

Lokalt (fra scenario 1)

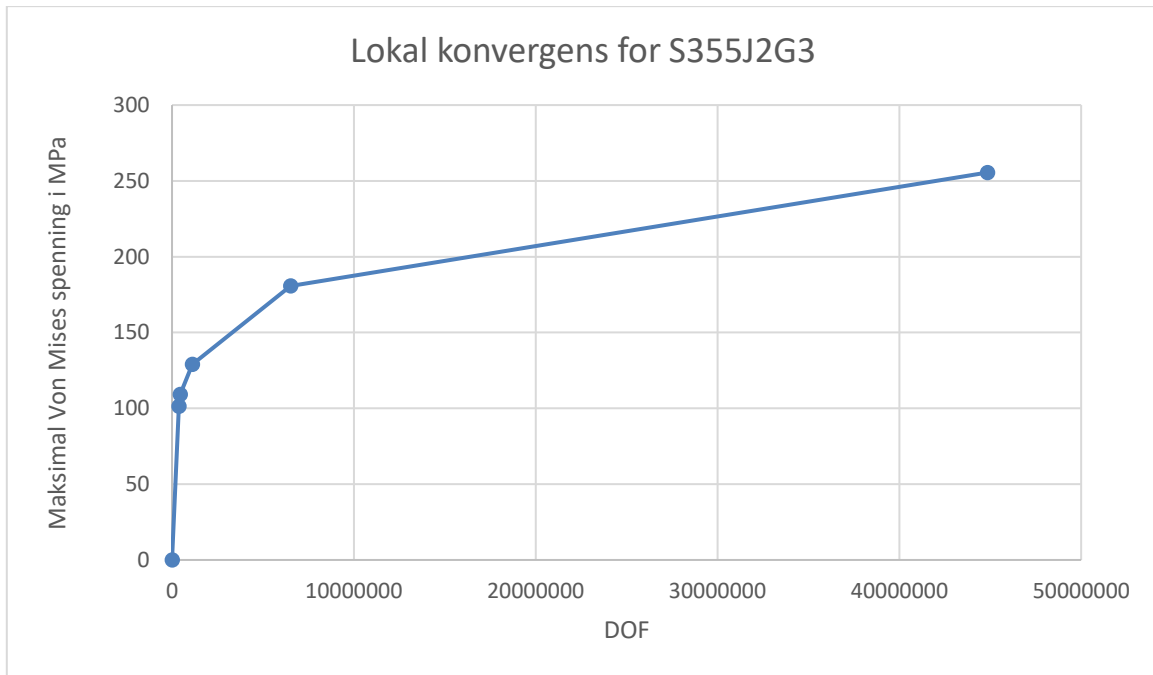
For det lokale konvergensstudiet, var den globale elementnettverkstørrelsen satt til 22.5 mm, hvor det ble gjort forfinet elementstørrelse i områder som opplevde høye spenningskonsentrasjoner. For scenario 1 oppsto det høye spenningskonsentrasjoner for topplaten og dens tilkoblingskomponent til strukturen. Lokalt i spenningsområdene, ble elementstørrelsen justert til mellom 18 – 1.5 mm. Tabell 13 viser til resultatene ved lokal elementnettverk justering.

Tabell 13 - Lokalt konvergensstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3

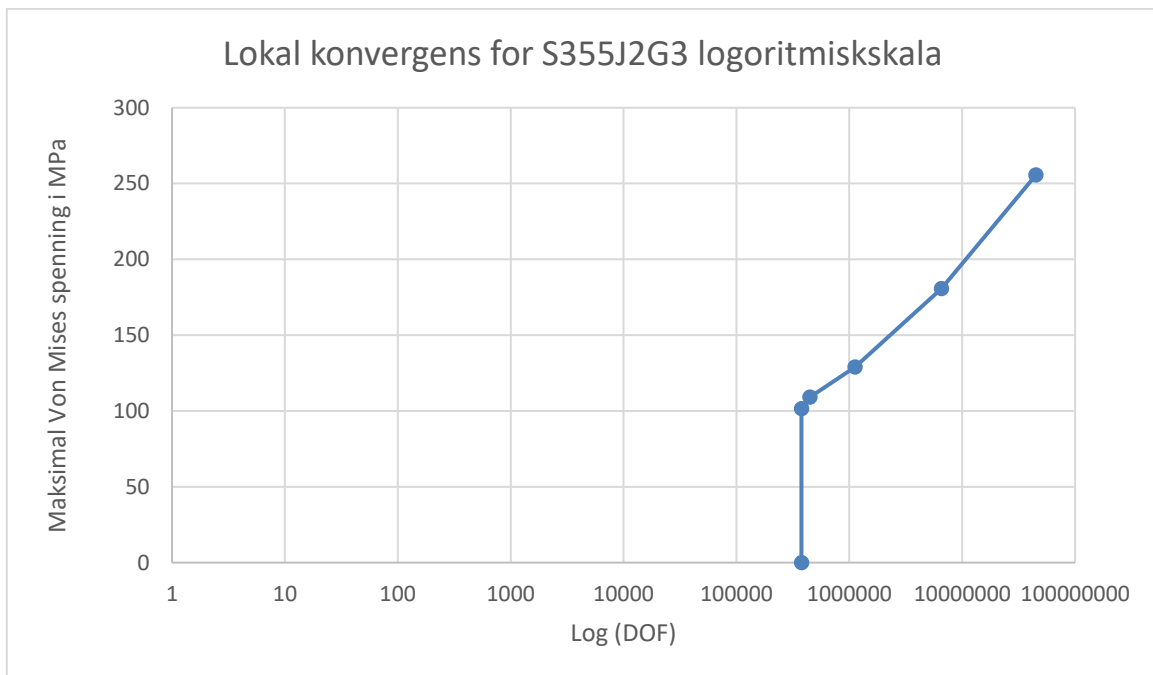
Mesh	1	2	3	4	5
Elementstørrelse	18 mm	12 mm	6 mm	3 mm	1.5 mm
Antall elementer	71367	85890	235285	1497624	10739400
Antall DOF	376632	445944	1123362	6525378	44840120
Maksimal Von Mises (MPa)	101.4	109.1	129.0	180.7	255.5
Beregningstid (sek.)	6	8	22	132	1360



Figur 37 Områder med lokal element-tilpasning



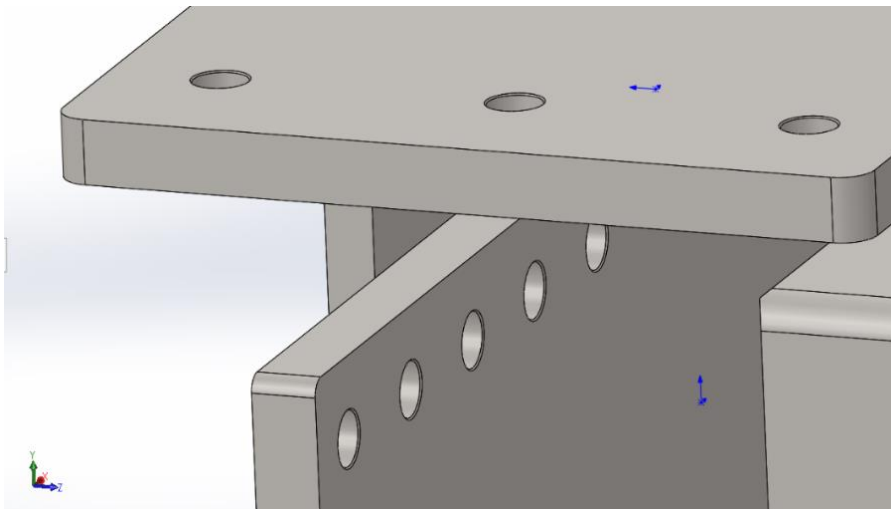
Figur 38 - Lokal tilpasning konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3.



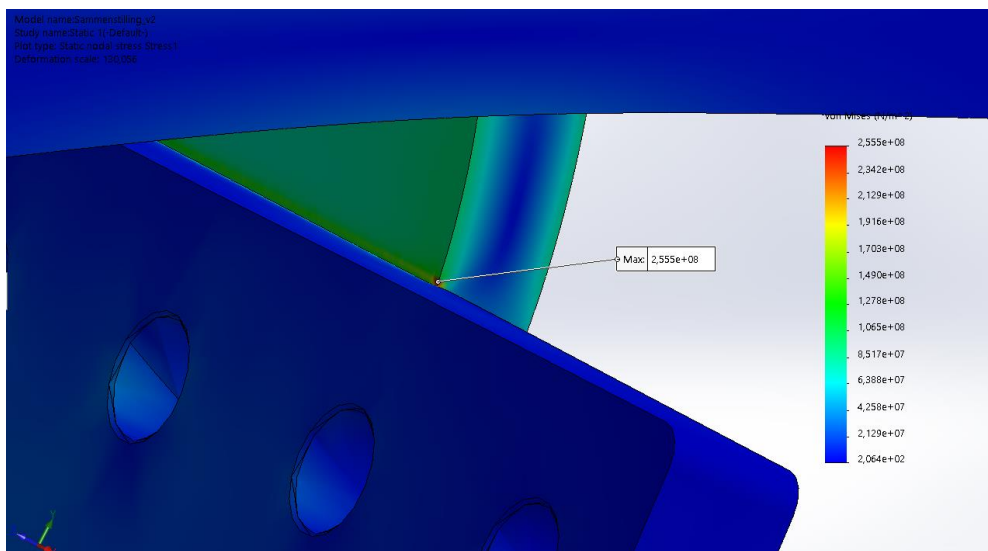
Figur 39 - Lokalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmskala)

Bakgrunn for manglende konvergens:

For konvergensstudiet av både globalt elementnettverk og lokalt tilpasset elementnettverk oppstår det ikke konvergens av maksimal kraft. Bakgrunnen for manglende konvergens av maksimal Von Mises spenning er knyttet til brakettens designgeometri. For komponenten som forbinder topplaten til strukturen, er det enkelte skarpe kanter. I disse områdene oppstår det singulariteter, og ved forfinet elementnettverk i disse områdene, vil dette resultere i en økt maksimal Von Mises spenning. Videre konkluderer resultatet at de jevnlig opptrædende Von Mises konverger, lest av Figur 41 til omtrentlig 106 MPa.



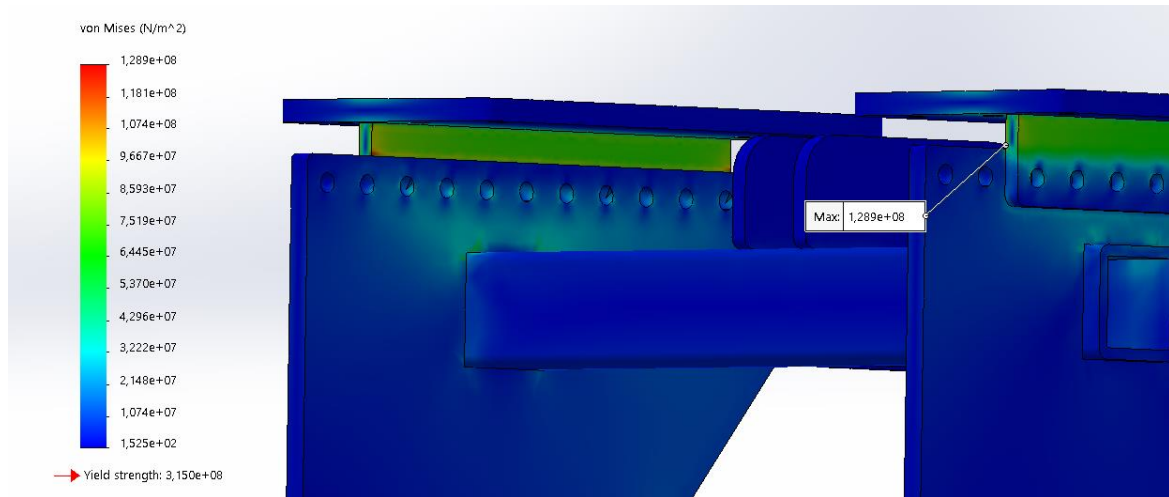
Figur 40 - Topplate låseforbindelse komponent og dens skarpe kanter



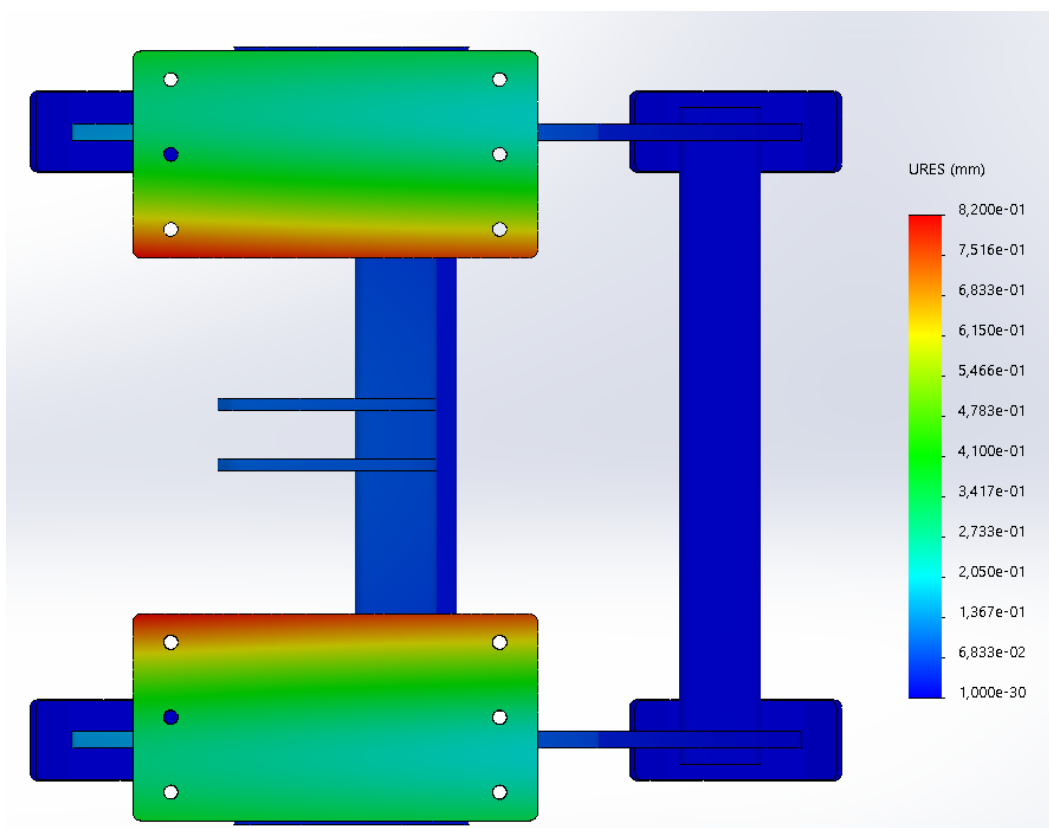
Figur 41 - Singularitet på topplatens låseforbindelses-komponent

5.2.4 Resultat globalt scenario 1

S355J2G3 – 1.0570



Figur 42 - Von Mises spenning S355J2G3 (Globalt scenario 1)



Figur 43 - Nedbøyning og forskyvning S355J2G3 (Globalt scenario 1)

Tabell 14 - Resultater globalt scenario 1

Materiale	Maks Von Mises spenning (MPa)	Maks nedbøyning (mm)	Akseptkriteriet spenning (% av grense)	Akseptkriteriet deformasjon (% av grense)
S355J2G3	128.9	0.82 mm	0.48%	0.164%
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	126	2.42 mm	0.62%	0.484%

Akseptkriterier spenning: $\frac{\text{Maksimal tillat spenning}}{\text{Von Mises spenning}} \cdot 100\%$

Akseptkriterier deformasjon: $\frac{\text{Maksimal tillat nedbøyning}}{\text{Faktisk nedbøyning}} \cdot 100\%$

Vedlegg 1 og vedlegg 2 viser informasjon om analysen og resultat.

Konklusjon og diskusjon fra globalt scenario 1

Resultatet fra scenario 1 viser at både konstruksjonsstålet S355J2G3 og aluminiumslegeringen 6082-T6 er gode kandidater for material. Aluminiumet opplever en høyere grad av nedbøyning og maksimalspenning er nærmere tillatt akseptkriteriet. I dette studiet har vært det blitt brukt teoretiske verdier, og trolig vil forholdet variere ved bruk av brakettkonstruksjonen. Tabell 15 viser maksimale vertikallastinger.

Tabell 15 - Maksimal vertikal last

Materiale	Maks vertikal belastning	Grad av overbelastning	Von Mises spenning	Nedbøyning (mm)	Akseptkriteriet spenning (% av grense)	Akseptkriteriet deformasjon (% av grense)
S355J2G3	12500 kg	108%	267.76	1.72 mm	1 %	0.344%
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	9750 kg	62.5%	204.5	3.931 mm	1 %	0.786%

Tabell 15 viser hvordan konstruksjonsstålet kan oppleve større overbelastninger før materialet når sin akseptgrense (DNV-ST-E273). Både aluminiumet 6082-T6 og konstruksjonsstålet S355J2G3 kan overbelastes, med graden av overbelastningen er ulik for disse materialene.

5.2.5 Globalt scenario 2

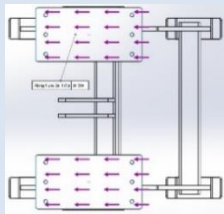
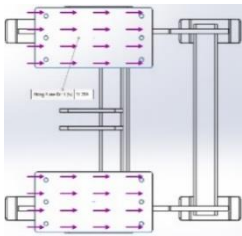
Materialdata

Tabell 16 - Materialdata for globalt scenario 2

Navn	Tilstand (tykkelse)	Flytegrense MPa	Maksimal tillatt spenning MPa	Strekkfasthet (enhet?)	Massetetthet
S355J2G3 (1.0570)	> 100 mm	315	267,75	490	7,8 g/cm ³
AW-Al- Si1MgMn (6082 - T6)	< 12,5 – 100 mm	240	204	295	2,7 g/cm ³

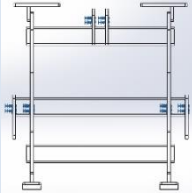
Krefter

Tabell 17 - Kraftkonfigurasjon for globalt scenario 2

Lokasjon	Størrelse	Retning
Topplate (Akselerasjon) 	26050	Negativ x-retning
Topplate (Nedbremsing) 	26050	Positiv x-retning

Fastholdinger

Tabell 18 - Fastholdinger for globalt scenario 2

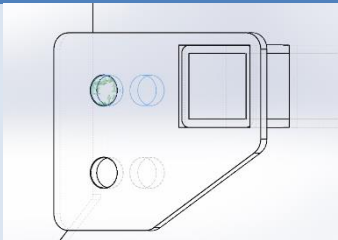
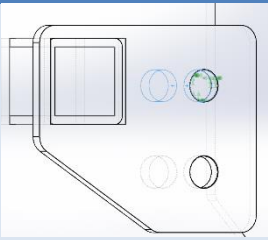
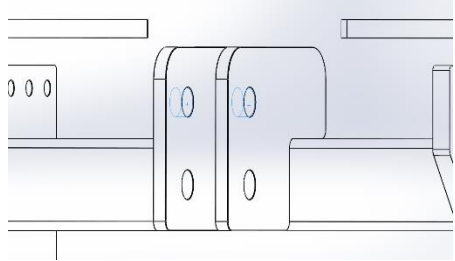
Område	Type
<p>Tre-punkts tilkoblingssystemet</p> 	Fixed Geometry

Tabell 19 - Elementnettverk for globalt scenario 2

Navn	Tilstand
Elementnettverk type	Solid elementnettverk
Elementnettverk brukt	Standard elementnettverk
Jacobian poeng	4
Elementstørrelse	22.5 mm
Toleranse	0.05625 mm
Elementkvalitet	Høy (fint elementnett)
Maksimalt størrelsesforholdet	40.982
% av elementer med størrelsesforholdet < 3	97,5%
% av elementer med størrelsesforholdet > 10	0,373%
Antall noder	1084900
Antall elementer	723387
Antall frihetsgrader (DOF)	3024210

Elementnettverk forfinet (lokal tilpasning)

Tabell 20 - Lokal tilpasning for globalt scenario 2

Område	Element størrelse	Område	Element størrelse
 <p>Sideplate (nede venstre)</p>	0.75 mm	 <p>Sideplate (nede høyre)</p>	0.75 mm
 <p>Toppstaget</p>	0.75 mm		

5.2.6 Konvergenstudie scenario 2

Konvergenstudiet er gjennomført i to forsøk, det første forsøket undersøker konvergens med globalt elementnettverk, det andre konvergenstudiet undersøker konvergens med forfinet elementnettverk i områder hvor det oppstår høy spenningskonsentrasjon. I likhet med det tidligere konvergenstudiet fra scenario 1, vil det undersøkes maksimal Von Mises spenning i forhold til antall frihetsgrader (DOF).

Globalt Scenario 2

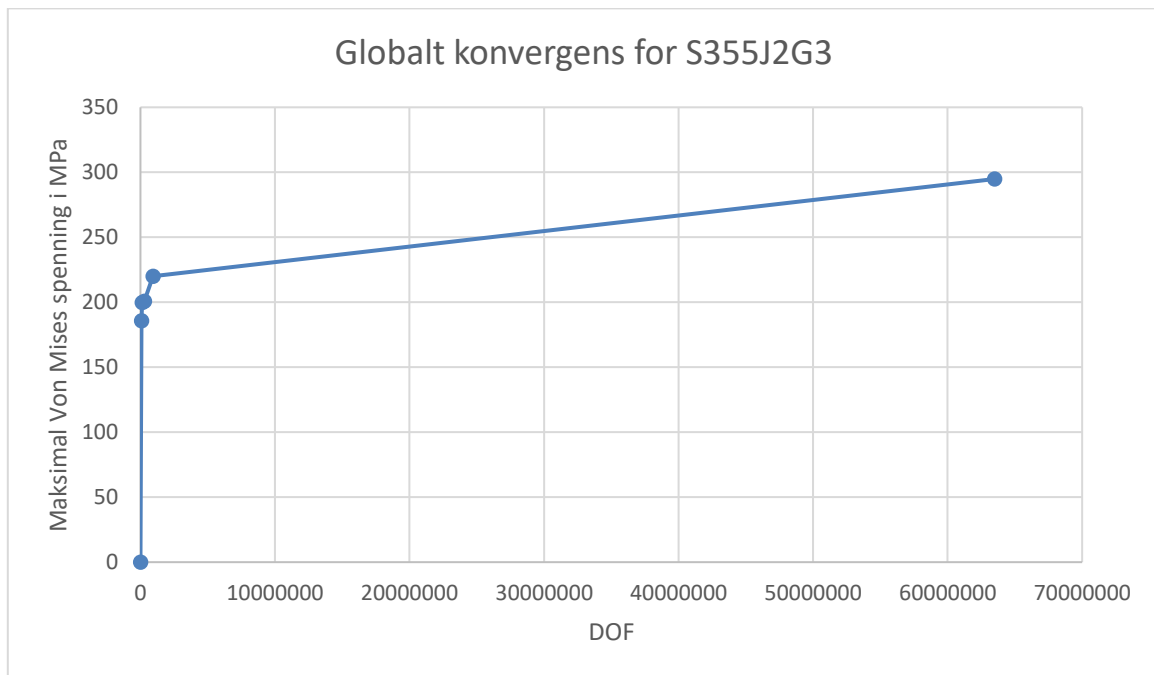
I konvergenstudiet med det globale elementnettverket konvergenstudiet er parameteren elementnettverkstørrelsen for hele brakettkonstruksjonen den eneste påvirkende faktorene for undersøkelse av konvergens. Elementnettverkstørrelsen justeres for å undersøke om konvergens oppstår. Elementstørrelsen ble justert imellom 90 – 6 mm. Ytterligere justeringer ble ikke gjennomført, på grunn av at dette ville vært ført til tidkrevende databeregninger.

Tabell 21 viser resultatene fra det globale konvergenstudiet.

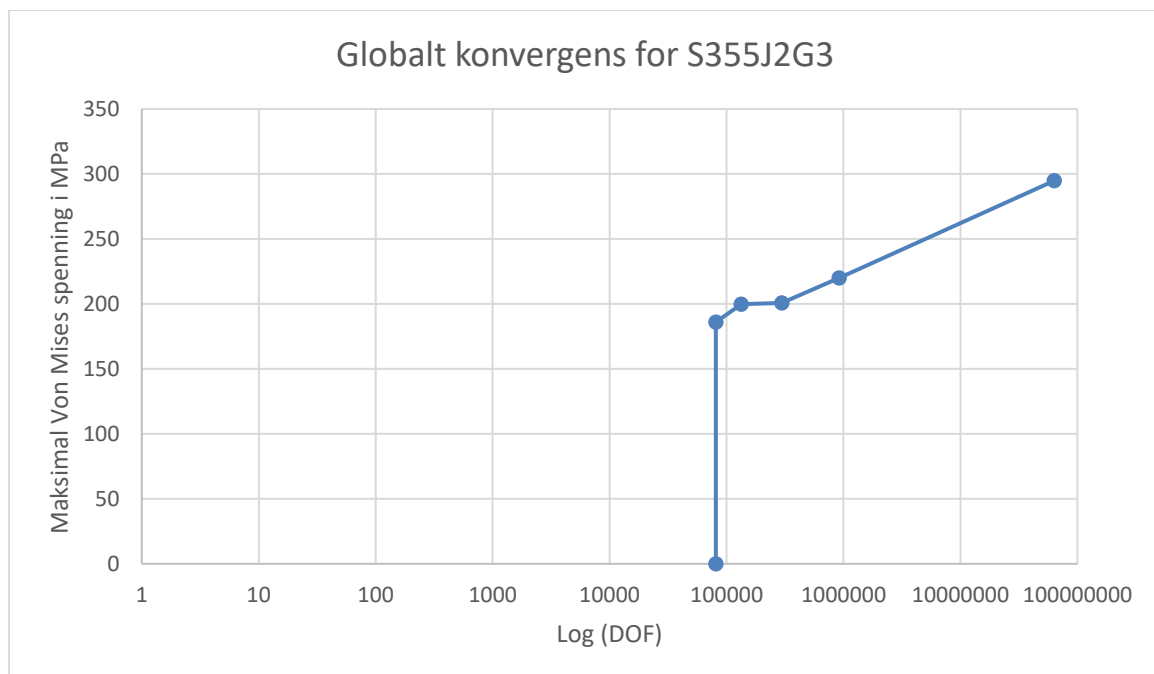
Tabell 21 - Globalt konvergenstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3

Mesh	1	2	3	4	5
Elementstørrelse	90 mm	45 mm	22.5 mm	12.5 mm	6 mm
Antall elementer	14076	23122	52622	175550	1357272
Antall DOF	80988	133353	297450	921282	63475432
Maksimal Von Mises (MPa)	185.9	199.77	200.8	220.1	294.8
Beregningstid (sek.)	2	2	5	14	115

Global konvergenstudiet (fra globale scenario 2)



Figur 44 - Globalt konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3.



Figur 45 - Globalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmisk skala)

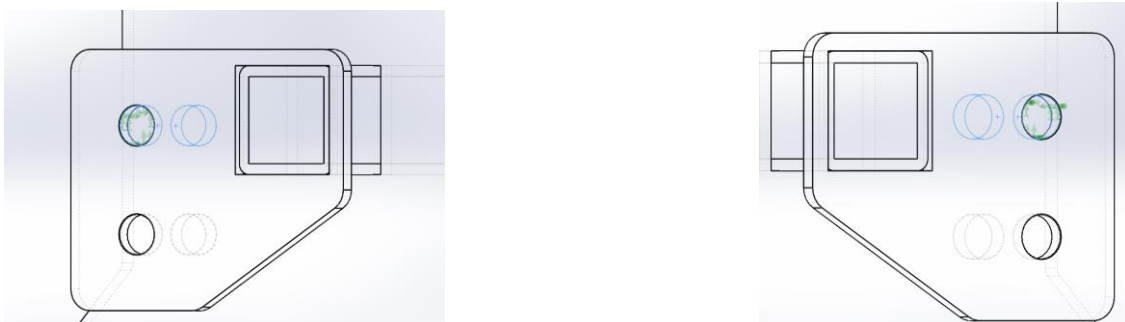
Lokal tilpassing konvergens (fra globalt scenario 2)

Lokalt (fra scenario 2)

For konvergensstudiet med lokale elementnettverk ble områder med høy spenningskonsentrasjon identifisert, hvor man gjorde lokale tilpassninger av elementnettverkstørrelsen. I scenario 2 ble fastholdings-lokasjonene definert som kritiske områder hvor det oppsto høye spenningskonsentrasjoner. Det globale elementnettet for det lokale konvergensstudiet ble satt til 22.5 mm, med forfinet elementnettstørrelse i områder hvor det oppsto høye spenningskonsentrasjoner for å undersøke om konvergens oppsto.

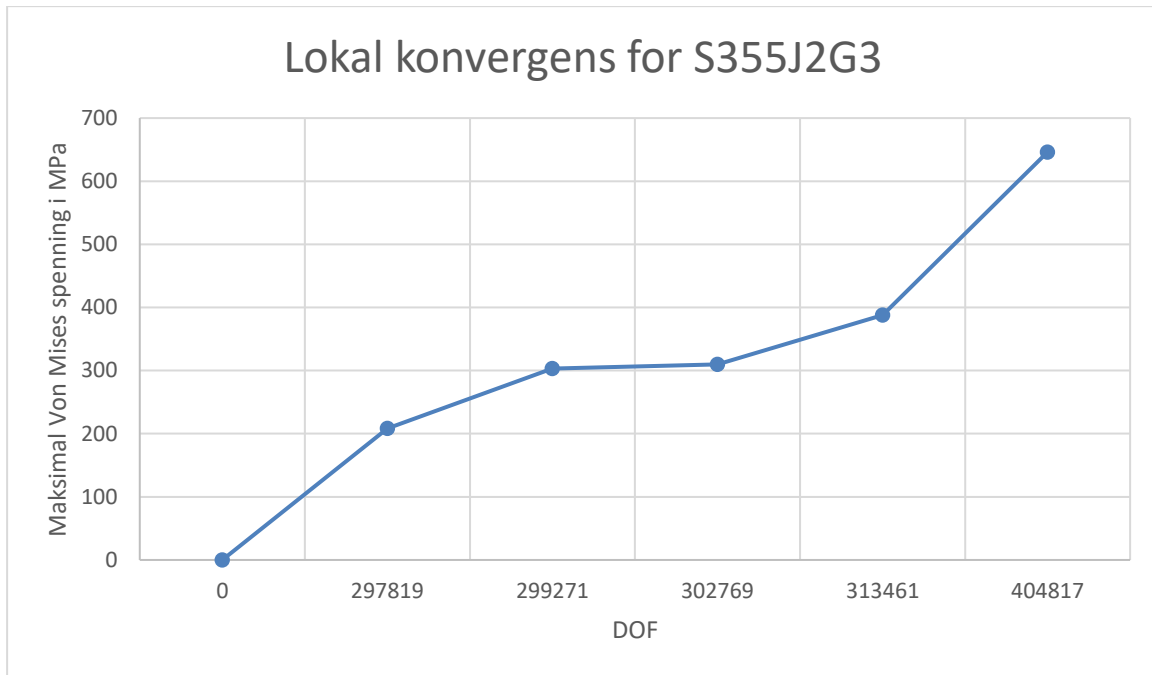
Tabell 22 - Lokalt konvergensstudium av vertikale gravitasjonskrefter for S355J2G3

Mesh	1	2	3	4	5
Elementstørrelse	18 mm	12 mm	6 mm	3 mm	1.5 mm
Antall elementer	52721	53097	54145	57643	81601
Antall DOF	297819	299271	302769	313461	404817
Maksimal Von Mises (MPa)	208.2	303.2	309.8	388.1	646.3
Beregningstid (sek.)	5	5	5	5	8

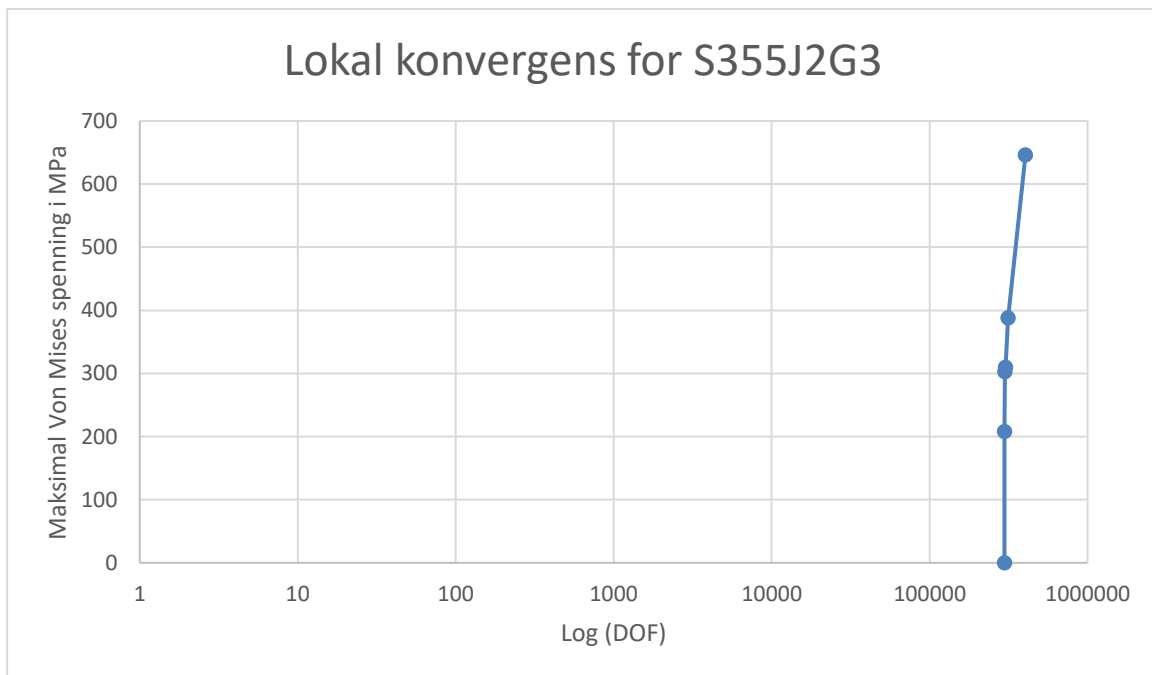


Figur 46 - Lokal tilpassing (Konvergensstudiet)

Øvre boltehull i sideplate og strukturrammen, som er festepunkt til traktor



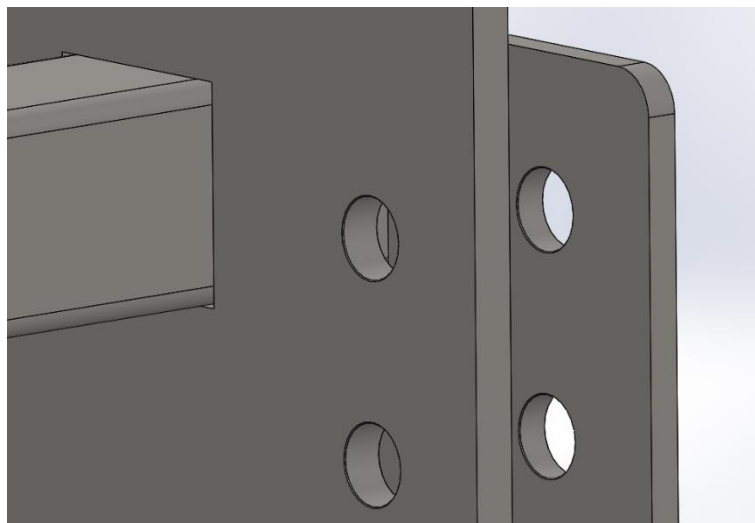
Figur 47 - Lokal tilpasning konvergenstudium med maksimal Von Mises spenning for S355J2G3



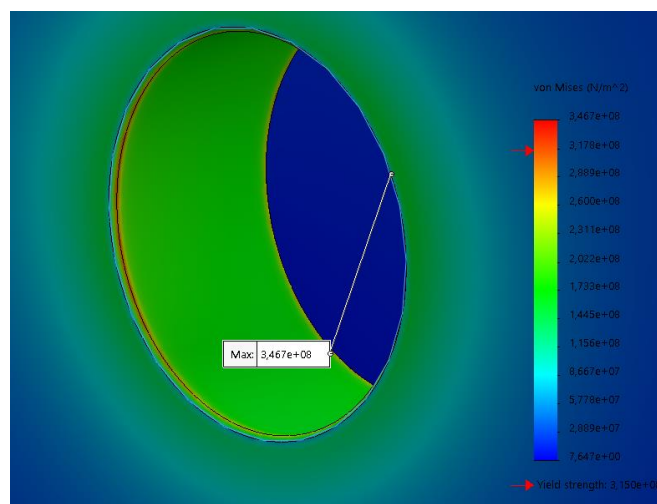
Figur 48 - Lokalt konvergenstudium for S355J2G3. (Logaritmisk skala)

Diskusjon konvergenstudiet

Konvergenstudiet for scenario 2, med horisontale belastninger viser at maksimal Von Mises spenning ikke konvergerer. I likhet med tidligere konvergenstudiet for scenario 1, så opplever SolidWorks Simulations for scenario 2, utfordringer knyttet til ugunstig kompleks strukturell geometri, slik som skarpe kanter ved hullene i toppstaget og strukturrammen. Reduksjon og forfinet elementnett, vil medføre økt maksimal Von Mises spenning. Den opptredende spenningen, sett fra Figur 50, er omtrentlig 210 MPa. For globalt scenario 2 anvendes opptredende kraft og ikke maksimal Von Mises spenning, da maksimal Von Mises spenning forekommer som et resultat av en singularitet og gir dermed gir ikke korrekt verdi.



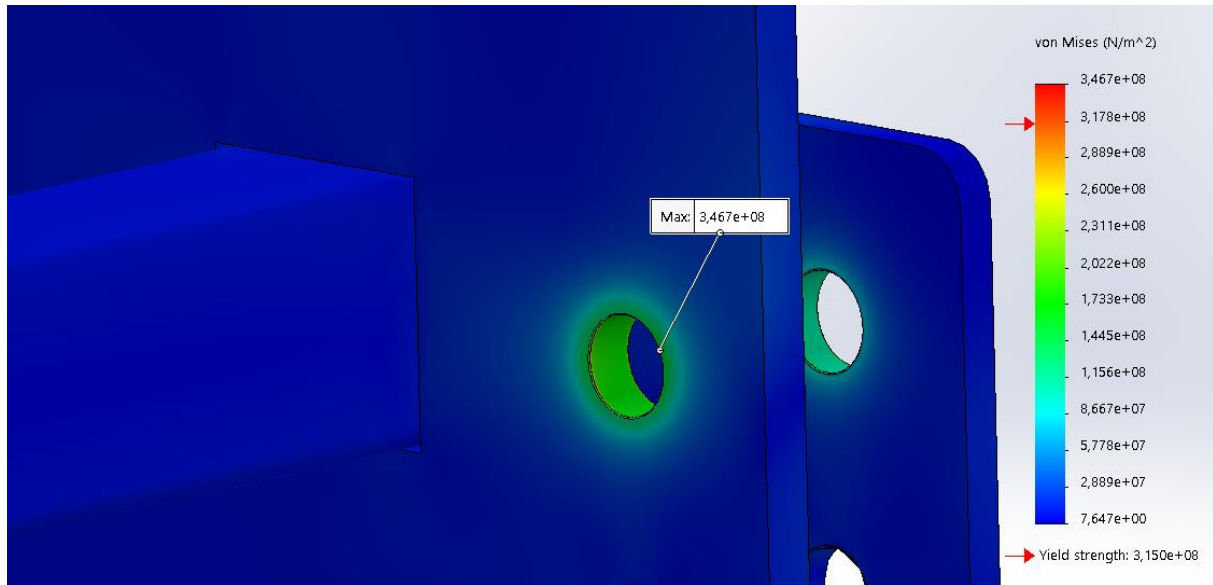
Figur 49 - Skarpe kanter for strukturrammen og boltehull



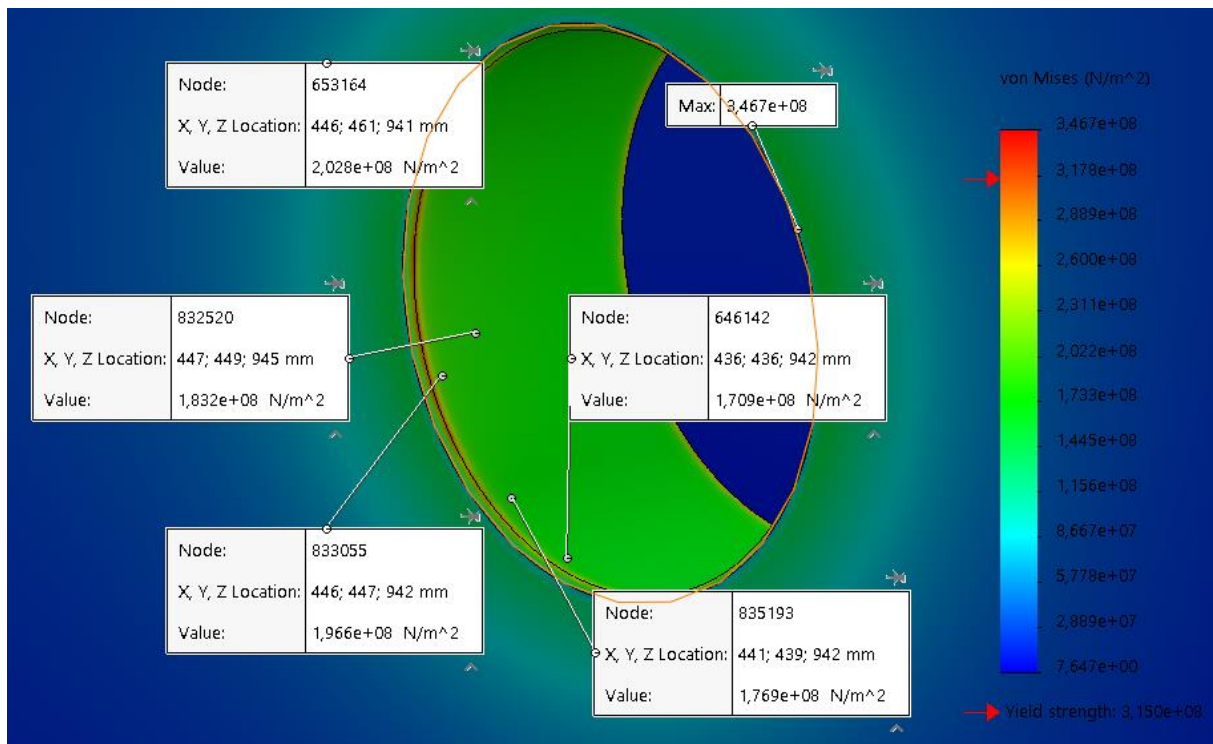
Figur 50 - Singularitet ved kantlinjen til hullet

5.2.7 Resultat globalt scenario 2

S355J2G3 – 1.0570: Akselerasjon

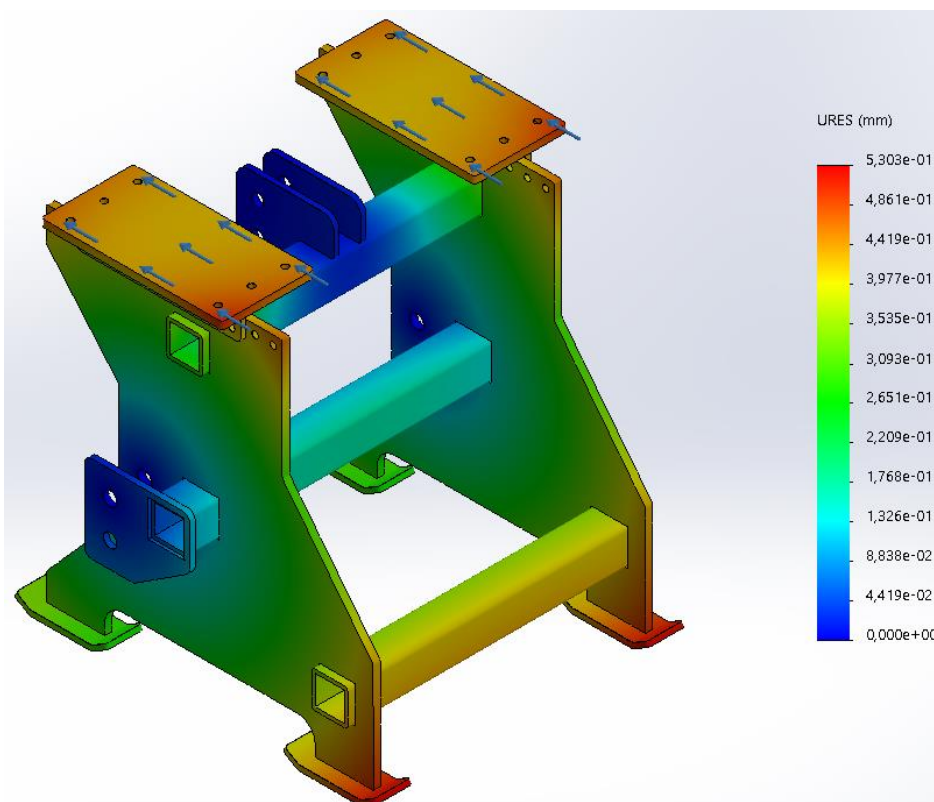


Figur 51 - Von Mises spenning S355J2G3 (Globalt scenario 2)



Figur 52 - "Probing" i SolidWorks Simulations

Viser opptredende kraft på omtrent 210 MPa



Figur 53 - Nedbøyning globalt scenario 2 (S355J2G3 akselerasjon)

Tabell 23 - Resultater globalt scenario 2

Materiale	Opptredende Von Mises spenning (MPa)	Maks nedbøyning (mm)	Akseptkriteriet spenning (% av grense)	Akseptkriteriet deformasjon (% av grense)
S355J2G3	210	0.53	0,784%	0.106%
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	210	1.645 mm	1.03%	0,329%

Akseptkriterier spenning: $\frac{\text{Maksimal tillat spenning}}{\text{Von Mises spenning}} \cdot 100\%$

Akseptkriterier deformasjon: $\frac{\text{Maksimal tillat nedbøyning}}{\text{Faktisk nedbøyning}} \cdot 100\%$

Vedlegg 1 og vedlegg 3 viser informasjon om analysen og resultatet. Både akselerasjons- og nedbremsingsstudiet, med endringer av horisontale kraftretninger, viste at belastningene og nedbøyningen var tilnærmet lik for begge kraftretningene.

Konklusjon og diskusjon fra globalt scenario 2

Resultatet fra scenario 2 viser at utelukkende at konstruksjonsstålet S355J2G3 er egnet for dette designet. For aluminiumslegeringen 6082-T6 viser analysen at horisontale belastinger nærmer seg flytegrensen til dette materialet, og kreftene som opptrer er utenfor akseptkriteriet (DNV-ST-E273). Horisontale krefter oppstår som følge av trekkreftene fra trekkvogn (traktoren). Disse horisontale kreftene er betinget av D-verdi, som er utregnet fra kapittel 5.2.1. D-verdien er en teoretisk verdi, og braketten (tilhengeren), kan oppleve høyere horisontale krefter avhengig av kjøremønsteret til trekkvognen, eller veiforholdene. Tabell 24 viser maksimale horisontalbelastinger. Verdiene i denne tabellen, bør sees i sammenheng med at konvergens ikke ble oppnådd, og dermed er den maksimale horisontalbelastningen som er tillatt den opp tredende Von Mises spenning og ikke maksimal Von Mises spenning. Dette ble beskrevet nærmere i kapittel 5.2.6.

Tabell 24 - Maksimal horisontal last

Materiale	Maks horisontal belastning (Halvorsen)	Grad av overbelastning	Von Mises spenning (Opp tredende)	Nedbøyning (mm)	Akseptkriteriet spenning (% av grense)	Akseptkriteriet deformasjon (% av grense)
S355J2G3	75 kN	33.6%	265	0.714 mm	1 %	0.1428%
AW-Al-SiMgMn (6082 - T6)	56.1 kN	0%	210	1.86 mm	1.03 %	0.786%

5.2.8 Vurdering av materialer

For elementberegningsstudiet var utgangspunktet at både konstruksjonsstålet S355J2G3 og aluminiumslegeringen 6082-T6 kunne være attraktive materialer for dette brakett designet. Elementberegningen konkluderer med at S355J2G3 er det mest aktuelle materialet som skal brukes for dette designet. For at aluminiumslegeringen skal anvendes krever dette strukturelle endringer på braketten, dvs. oppdimensjonering av tykkelse for å gi bedre motstandsdyktighet mot mekaniske og statiske belastninger. I dette prosjektet vil ikke dette undersøkes.

6 Aktivitet 3: Manuell styrkeberegning

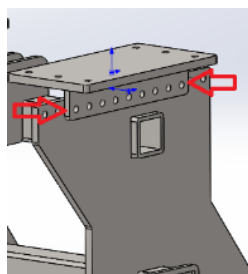
I dette kapitlet tar vi for oss manuell styrkeberegning av skruer ved montering og under kjøring, samt beregning av dragarmsbolt til toppstaget. I tillegg har vi beskrevet dimensjonering av A-mål på sveiseforbindelser.

6.1 Resultat

6.1.1 Styrkeberegning

Håndberegning av skruer ved montering

I henhold til tegningen over har vi totalt tretti bolter og muttere som forbinder platene under svingskivens plassering med de to tykke platene vertikalt nedover. Se Figur 54 for illustrasjon av hvor bolteforbindelsen er plassert. I tillegg blir det montert tre dragarms-bolter på traktorens tre-punktsoppheng bak, disse er av standardisert størrelse etter hvilken kategori det er på traktoren. I vårt tilfelle er traktoren av kategori 3. Da er boltene til de nedre trekk-armene $\text{Ø}37$ og boltene til toppstaget $\text{Ø}32$. De to nedre boltene festes i det midtre firkanttrøret ($10 \times 100 \times 100$ L=930) og den øverste boltene festes i to små plater ($15 \times 200 \times 270$) som er sveist på det øverste firkanttrøret.



Figur 54 - Illustrasjon på plassering av skruene som er beregnet.

Vi styrkeberegnet boltene for å sikre at materialet tåler den belastningen som det blir utsatt for, samt kontrollere at den er under flytegrensen og har en tilstrekkelig sikkerhetsfaktor. Vi

velger 10.9 som fasthetsklasse på boltene, hvor tallet 10.0 står for strekkfastheten, og 0.9 betyr at flytegrensen er 90% av strekkfastheten. Ifølge ISO 3506 skal boltene være merket i henhold til standarden. Vi velger å bruke låsemutter med samme fasthetsklasse som boltene. Øveraasen har oppgitt at det mest sannsynlig vil brukes M16x2 som betyr at vi har metriske gjengemål, spissgjenger med diameter på 16 og gjengestigning 2. Materialkvaliteten som vi tar utgangspunkt i er syrefast stål (A4), som velges for at boltene skal tåle de påkjenningene de blir utsatt for, samt at det er en av de mest vanlige rustfrie stålkvalitetene som er beregnet for anvendelser i utendørs i kystklima (*Teknisk katalog*, 2020).

Boltene i henhold til ISO 898-1, M16x2 metriske bolter har en nominell diameter 16mm, gjengestigning gjenger 2 mm, fasthetsklasse er 10.9, nominell strekkfasthet 1000 N/mm², flytegrense $\sigma_f = 900 \text{ N/mm}^2$ (NS-EN ISO 898-1, 2013). Antatt lengde på boltene er 50mm.

Skruegjenger - grove								
Nom dia. d = D	Stigning P	Toleranse	Stor diameter d		Midtdiameter d ₂		Liten diameter d ₃	
			maks mm	min mm	maks mm	min mm	maks mm	min mm
M4	0.7	6g	3.978	3.838	3.523	3.433	3.119	3.002
		6e	3.944	3.804	3.489	3.399	3.085	2.968
M5	0.8	6g	4.976	4.826	4.456	4.361	3.995	3.869
		6e	4.940	4.790	4.420	4.325	3.959	3.833
M6	1.0	6g	5.974	5.794	5.324	5.212	4.747	4.696
		6e	5.940	5.760	5.290	5.178	4.713	4.562
M8	1.25	6g	7.972	7.760	7.160	7.042	6.438	6.272
		6e	7.937	7.725	7.125	7.007	6.403	6.237
M10	1.50	6g	9.968	9.732	8.994	8.862	8.128	7.938
		6e	9.933	9.697	8.959	8.827	8.093	7.903
M12	1.75	6g	11.966	11.701	10.829	10.679	9.819	9.602
		6e	11.929	11.664	10.792	10.642	9.782	9.565
M14	2.0	6g	13.962	13.682	12.663	12.503	11.508	11.271
		6e	13.929	13.649	12.630	12.470	11.475	11.238
M16	2.0	6g	15.962	15.662	14.663	14.503	13.508	13.271
		6e	15.929	15.649	14.630	14.470	13.475	13.238

Figur 52 - Gjengetabell ISO-metriske gjenger

Hentet fra (*Teknisk katalog*, 2020)

Fra teknisk tabell med verdier som fyller kravene i ISO 3506 er nominelt spenningsareal $A_s = 157 \text{ mm}^2$, og tiltrekningsmoment for M16 er på 300 000 Nmm som blir utgangspunktet i videre beregninger (*Teknisk katalog*, 2020).

For å kunne beregne spenningene som oppstår, ønsker vi å finne aksialkraften F som ligger langs akselen til boltene. Bruker mål gjenger midtdiameter $d_m = 14.583 \text{ mm}$, nøkkelvidde $N=24$ (*Teknisk katalog*, 2020) og gjengevinkel på 60 grader fra NS 1073(Hartvigsen, 2007). Hullets diameter er 17 mm.

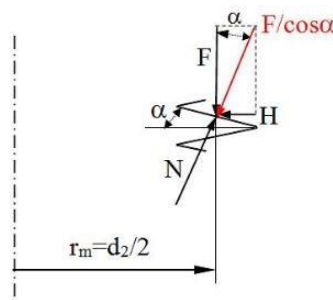
Friksjonen defineres som motstanden mot glidning, og koeffisienten er et forholdstall som beskriver forholdet mellom friksjonskraften og normalkraften. I henhold til tabell i vedlegg f legger vi friksjonskoeffisienten 0.15 som grunnlag for videre utregning. Valget er gjort ut ifra at skruene smøres med fett under montering. (*Teknisk katalog*, 2020).

Tiltrekningsmomentet består av et vrimoment som skal overvinne friksjonskraften på gjengeflaten mellom bolt og mutter, og for å overvinne friksjon mot underlaget regner vi ut et friksjons-kraftmoment (Johansen, 2009).

$$M = M_v + M_s$$

$$M_v = F \times \tan(\varphi + \varepsilon_1) \times r_m$$

$$M_s = \mu \times F \times r'_m$$



Figur 55 - Gjengevinkel, aksialkraft og normalkraft

Hentet fra (Johansen, 2019)

Vi har ut fra Tingstad basert på DIN 931/933 funnet tiltrekningsmomentet 300.0 Nm og vi vil videre finne aksialkraften F for å kunne beregne spenningen som oppstår. Likningen for F er som følger:

$$F = \frac{M}{(\tan(\varphi + \varepsilon_1) \times r_m + \mu \times r'_m)}$$

I henhold til tabell (*Teknisk katalog*, 2020) så bruker vi en friksjonskoeffisient lik 0.15 på grunn av smurt skrue ved montering.

Mellomregning for likningen blir:

$$\tan \varphi = \frac{P}{\pi \times d_m} = \frac{2}{\pi \times 14.583} \Rightarrow \varphi = 2.499 = 2.5^\circ$$

$$\tan \varepsilon_1 = \frac{\mu}{\cos \alpha} = \frac{0.15}{\cos \frac{60}{2}} \Rightarrow \varepsilon_1 = 9.8^\circ$$

$$r'_m = \frac{N + d_h}{4} = \frac{24 + 17}{4} = 10,25 \text{ mm}$$

$$r_m = \frac{d_m}{2} = \frac{14.583}{2} = 7.29 \text{ mm}$$

Ved å løse likningen for aksialkraften F så får vi følgende:

$$F = \frac{300000}{(\tan(2.43 + 9.8) \cdot 7.29 + 0.15 \cdot 10,25)} = 96226,33 \text{ N}$$

For å beregne opprettede spenning og forlenging bruker vi følgende likninger:

$$\sigma_d = \frac{F}{A_s} = \frac{96226,33 \text{ N}}{157 \text{ mm}^2} = 612,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = \frac{M_v}{W_p} = \frac{M_v}{\frac{\pi}{16} \times d_i^3} = \frac{F \times \tan(\varphi + \varepsilon_1) \times r_m}{\frac{\pi}{16} \times d_i^3}$$

$$\tau_v = \frac{96226,33 \times \tan(2,5 + 9.8) \times 7.29}{\frac{\pi}{16} \times 13.389^3} = 324,5 \text{ N/mm}^2$$

Dermed blir opprettede spenning under montering:

$$\sigma_j = \sigma_{opptr} = \sqrt{\sigma_d^2 + 3\tau_v^2} = \sqrt{612,9^2 + 3 \times 324,5^2} = 831,6 \text{ N/mm}^2$$

Sikkerhet mot flytning for boltene ved bruk av tiltrekningsmomentet:

$$n_F = \frac{\sigma_F}{\sigma_j} = \frac{900,0 \text{ N/mm}^2}{831,6 \text{ N/mm}^2} = 1,08225$$

Forlenging ved bruk av Hooke's lov med E-modul $200\,000 \text{ N/mm}^2$:

$$\delta_1 = \frac{M_v \cdot l}{A_s \cdot E_s \cdot \tan(\varphi + \varepsilon_1) \cdot r_m} = \frac{300000 \cdot 50,0}{157 \cdot 200000 \cdot \tan(2,5 + 9,8) \cdot 7,29} \Rightarrow \delta_1 = 0,3 \text{ mm}$$

Opprettede spenning er innenfor stålets flytegrense, og vi anser dermed boltene som robuste nok til å tåle belastningene som de blir utsatt for under monteringen.

Håndberegning av skruer under kjøring

Opptredende spenning under belastning:

$$\sigma_j = \sigma_{oppotr} = \sqrt{\sigma_d^2} = \sqrt{612,9^2} = 612,9 \text{ N/mm}^2$$

Resultantkraft under kjøring:

$$F_{res} = \sqrt{56100^2 + 60000^2} = 82141 \text{ N}$$

Resultantkraft med sikkerhetsfaktor:

$$F_{res \times 1,5} = 82141 \times 1,5 = 123211,5 \text{ N}$$

Skjærkraft per skrue:

$$\tau = \frac{F}{n \times n_a \times \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{123211,5}{18 \times 1 \times \frac{\pi \times 14,583^2}{4}} = 41 \text{ N/mm}^2$$

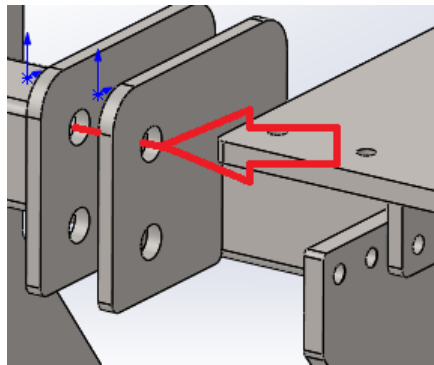
Totale spenninger i bolter under kjøring:

$$\sigma_j = \sigma_{oppotr} = \sqrt{\sigma_d^2 + 3\tau^2} = \sqrt{612,9^2 + 3 \times 41^2} = 617 \text{ N/mm}^2$$

Ut ifra beregningene som er gjort på boltene som fester topplatene viser disse at vi er langt under den tillate spenningen til en 10.9-bolt, som er 900 N/mm². Basert på dette kan vi si at det ikke er nødvendig med så mange som ni bolter per side av festebraketten. Man kunne brukt fem bolter per side og det ville holdt med de lastene vi har beregnet med her. På en annen side velger vi å beholde de ni boltene vi har designet med i utgangspunktet, fordi vektfordelingen på de forskjellige skruene er en ukjent faktor som kan spille inn på skjærkreftene. Vi har valgt å neglisjere boltene som holder svingskiven da disse kun utsettes for skjærspenning under kjøring og ikke er utsatt for konstant vertikal belastning samt resultantkrefter under kjøring slik som boltene som holder topplatene er, noe som gjør at boltene til topplatene har en større risikofaktor. Som vi også ser fra skjærkraftberegningen er vi godt under bristepunktet for brudd. Beregningene som er blitt gjort er basert på at platene som skruene holder sammen sitter helt inntil hverandre og at friksjon mellom platene ikke er til stede. Når platene sitter helt inntil hverandre oppstår det ingen spenning på grunn av moment. (Johansen, 2012b)

Beregning av dragarmsbolt til toppstaget

Dragarmsboltene som holder det hydrauliske toppstaget til festebraketten, har et standard mål på Ø32mm for en kategori 3 traktor som vi opererer med i oppgaven. Vi har valgt å fordele kreftene D-verdi og vertikal egenvekt fra sope- og blåsemaskinen RS200/400 som til sammen skaper en resultantkraft på 82141 N som ble beregnet sammen med bolteberegningen i forrige avsnitt. Denne resultantkraften fordeler vi likt mellom de tre dragarmsboltene som er koblingspunktene mellom traktor og festebrakett da vi ikke har kjente tall på hvor mye av resultantkraften som virker på hver av de tre boltene. Dette vil også påvirkes av forskjellige scenarioer under kjøring og bruk. Derfor vil det å fordele kreftene likt på alle de tre dragarmsboltene gi oss en god indikasjon om en kategori 3 traktor er tilstrekkelig til å bli brukt sammen med denne festebraketten og en sope- og blåsemaskin koblet til. Standard dimensjon på dragarmsboltene på en traktor av kategori 3 er Ø37 nede (2 bolter) og Ø32 oppe (1 bolt).



Figur 56 - Illustrasjon på plassering av dragarmsbolt til toppstaget som er beregnet.

Kraft som virker på toppstagsbolt:

$$F = \frac{82141}{3} = 27380,33 \text{ N}$$

Denne kraften må igjen deles på to da boltene skjærer om to flater.

$$F_{toppbolt} = \frac{F}{2} = \frac{27380,33}{2} = 13690,17 \text{ N}$$

Skjærkraft som virker på toppbolt:

$$\tau = \frac{F_{toppbolt}}{\pi * r^2} = \frac{13690,1667}{\pi * 16^2} = 17,02 \text{ N/mm}^2$$

Velger en sikkerhetsfaktor på 1,5 for bolten:

$$\tau_{1,5} = 17,0223258 * 1,5 = 25,5 \text{ N/mm}^2$$

Totale jevnførende spenninger i bolten:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{0 + 3 * 25,5^2} = 44,2 \text{ N/mm}^2$$

Beregningene er basert på at boltene er laget av S355J2G3 konstruksjonsstål og dermed er totale jevnførende spenninger altså her kun skjær i toppbolten langt lavere enn 355 N/mm², noe som gjør at bolten holder kreftene den er utsatt for. Siden boltene nede er av større diameter og dermed større arealsnitt enn den oppe neglisjeres beregningen av disse basert på resultatet av beregningene på toppbolten. (Johansen, 2012b)

Dimensjonering av A-mål på sveiseforbindelser

Konstruksjonen er designet slik at det er kun noen få sveiseforbindelser som er kritiske i forbindelse med bruk av festebraketten. Det er sveisene som fastholder topplaten mot svingskiven og det er ørene som fester toppstagbolten. Resten av sveisene er kun for å holde festebrakettens form. Av den grunn har vi valgt å høre på fagarbeider innen sveis som har lang erfaring med å sveise store liknende konstruksjoner, om hvilket A-mål vi burde ha på denne konstruksjonen vi har designet. Det ble anbefalt et A-mål på 5mm, som er halve veggtykkelsen av firkanttrørene som er 100x100x10 mm. Støttebeina som hele braketten står på mot bakken har en platetykkelse på 10mm, dermed blir samme A-mål brukt her også. På sveiseforbindelsene som er sett på som kritisk under bruk og belastning har vi valgt et A-mål på 7mm.

7 Aktivitet 4: Produksjonsmetoder

Her er det blitt gjort intervju med fagarbeidere hos Øveraasen for å få innspill om hvilke produksjonsprosesser en må igjennom for å få produsert festebraketten på mest mulig effektiv måte samtidig som man opprettholder en god kvalitet. Det ble gjort besøk hos bedriften for å se på hvilke maskiner og produksjonsmidler de hadde tilgjengelig.

7.1 Resultat

7.1.1 Valg av produksjonsmetoder

Produksjonen av festebraketten vil foregå internt hos Øveraasen, da de har alt av nødvendig utstyr for å produsere dette produktet på en effektiv og god måte. Av nødvendig utstyr er det nødvendig med sandblåser, lakkanlegg, automatisk skjæremaskin, sveiseapparat, knekke, kappsag, oppspenningsverktøy, CNC fres og fagarbeidere til å utføre de forskjellige trinnene. Hele produksjonsprosessen starter med råmaterialene i form av plater og rør. Sandblåsing vil foregå i to omganger for de store sideplatene, først før skjæringen av platebitene i skjæremaskinen. Deretter før lakkering og ferdigstilling av festebraketten. Grunnen til at man sandblåser før skjæring og bearbeiding av emnene, er på grunn av de fordelene det drar med seg under skjære- og sveiseprosessen. Dersom platen er helt ren uten glødeskall og urenheter vil skjæresnittet bli mye renere og få en mindre grad, dette fører til mindre bearbeiding av overflaten ved sammenstilling senere i produksjonsprosessen. Skjæringen vil også ta mindre tid da Øveraasen har en skjæremaskin som benytter en automatisk skjærebrenner styrt av en datamaskin. Skjærebrenneren bruker lang tid på å varme opp glødeskallet i overflaten av platen før den kan begynne og skjære seg gjennom resten av materialet i platen.

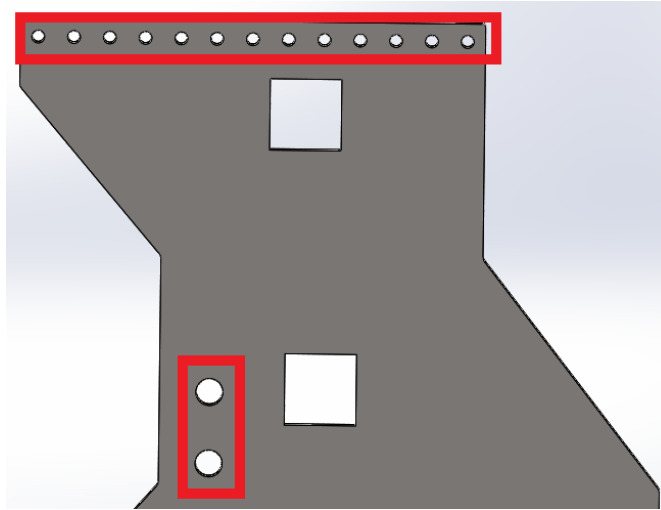
Sveiseren slipper også å slipe ren overflaten på platen hvor den skal sveises, noe som kutter ned produksjonstiden og er kostnadsbesparende.



Figur 57 - automatisk skjærebrenner

Dermed er det tid spart på to stasjoner samt at kvalitet og innbrenning på sveis er opprettholdt. Rørene kappes i kappsag før de går til sandblåsing. Siden disse kommer i lange lengder som ubehandlet emne er dette mest praktisk. Neste steg i prosessen er sammenføring i form av sveis. Siden Øveraasen har stor nok CNC fres til å frese hullene etter sammenføring er det mest hensiktsmessig og kostnadsnyttig å utføre maskineringen etter sveising da materialene vil kunne vri seg noe under sveising samt at det er tidsbesparende for sveiseren og slippe unna all oppspenning som kreves for å få alle hullene i braketten til å stemme overens med hverandre. Dersom man maskinerer etter sammenføring er det garantert at hullene passer overens med hverandre og man har eliminert en feilkilde som potensielt vil fordyre produksjonen av festebraketten. Det eneste som må maskineres før sammenføring er platene som sitter imellom de store platene hvor bolten til toppstaget skal festes. Denne får man ikke tilgang til etter at man har sveist alt sammen.

Før sveisingen begynner må sideplatene skrus fast i sveisebordet for å forhindre at platene slår seg av varmen under sveising. I tillegg til å skru sideplatene fast til sveisebordet kan man unngå at emnene slår seg ved å sveise i riktig rekkefølge. Med dette menes det at man sveiser på en side og deretter på motsatt side mens platen fortsatt er varm for å trekke platen tilbake motsatt vei som den først vridde seg. Platen vil vri seg mot siden man først sveiser på. Dette skjer på grunn av restspenninger i materialet som en konsekvens av varmen materialet utsettes for under sveisingen.



Figur 58 - eksempel på hull som skal bores i CNC fresemaskin

Etter sammenføring av festebraketten skal alle hull freses i en CNC fresemaskin slik at hullbildet skal stemme. Dette er essensielt da det er flere bolteforbindelser som skal passe med hverandre blant annet for å kunne forskyve svingskiven frem og tilbake i forhold til traktoren. Her er det viktig at operatøren av CNC maskinen tar nytt nullpunkt på hver av sideplatene før fresing av hull da de kan ha forskjøvet seg nok under sveising til at det kan bli problematisk å få inn bolteforbindelsene dersom hullene ikke havner eksakt på linje med hverandre.

Etter maskinering av festebraketten går produktet videre til overflatebehandling. Her vil den først sprøytes med et sjikt korrosjonsbestandig epoxy som er tett og forhindrer vann i å trenge gjennom inn til stålet. Dette er korrosjonshindrende og gjør at produktet holder sin kvalitet og styrke gjennom årenes bruk. Deretter sprøytes den i et sjikt med en RAL-farge etter kunden sitt ønske. Festebraketten har da en holdbar og robust overflate som beskytter mot alle ytre påkjenninger den vil få gjennom sin levetid. (Bergseng, 2020)

8 Aktivitet 5: Økonomisk vurdering

8.1 Metode

Ved fremstilling av konstruksjonen har vi fått informasjon om prisoverslag på materialkostnader og timepris på fagressurser av Svein Fremstad som er daglig leder i Øveraasen. For selvkostanalysen betinges det at Øveraasen allerede har et egnet produksjonslokale med verktøy og utstyr for produksjon av brakettløsningen. Dette medfører at selvkostanalysen ikke vil inkludere ekstra kostnad for innkjøp av produksjonsverktøy og verkstedlokaler. Svein Fremstad har gitt prisinformasjon for innkjøp av materialene S355J2G3 og aluminiumslegeringen 6082-T6. Konstruksjonsstålet S355J2G3 har en innkjøpspris hos Øveraasen på 8.80 kr/kg. Aluminiumslegeringen 6082-T6 har en innkjøpspris på 70.00 kr/kg. Kostnads- og budsjettkalkyler har tatt utgangspunkt i kiloprisen for materialene som undersøkes, og det vil ikke inkluderes materialsvinn som kan oppstå under produksjon og fremstilling av produktet.

Selvkostanalysen vil ikke inkludere desimaltall, og det avrundes til nærmeste heltall. Daglig leder, Svein Fremstad, har opplyst at timeprisen for en produksjonsarbeider er satt til 650 kr. Denne timeprisen inkluderer helligdager, forsikring og arbeidsgiveravgift. I kapittel 5.2.8 opplyste prosjektet ble det nevnt hvordan brakettkonstruksjonen må oppdimensjoneres med bruk av aluminiumslegeringen 6082-T6 for å motstå mekaniske belastinger. Selvkostanalysen som fremlegges vil ikke inkludere de tenkelige oppdimensjoneringene for designet med aluminium, som også vil endre vekten av braketten.

8.2 Resultat

8.2.1 Selvkostanalyse

Tabell 25 - Følgende kostnader er benyttet i selvkostanalysen:

Selvkostanalyse	Materialer	Antall	Kg. pr. plate Stål/alu.	S355J2G3 8.80 kr pr.kg	6082-T6 70.00 kr pr.kg
Direkte materialer:	PL 15x15x270	2	6.5/2.25	115 kr	315 kr
	PL 15x240x290	2	8.5/2.94	150 kr	412 kr
	RHS 10x100x100 L=810	2	0.81/0.28	14 kr	39 kr
	RHS 10x100x100 L=930	1	0.93/0.32	8 kr	22 kr
	PL 15x100x265	4	2.3/0.8	81 kr	224 kr
	PL 20x900x950	2	136/47.08	2394 kr	6591kr
	PL 15x80x450	1	41/14.19	361 kr	993 kr
	PL 20x255x500	1	8.7/3.01	77 kr	211 kr
	Skruer M16x2/skiver	30		543 kr	543 kr
	Låsemutter M16	30		99 kr	99 kr
	Drag bolter	3		855 kr	855 kr
	Lakk	7 L		557 kr	557 kr
Direkte lønn:	Maskinering/boring	6t.	650kr	3900 kr	3900 kr
	Kapping/skjæring	9.5t.	650kr	6175 kr	6175 kr
	Sveisearbeider	21.5t	650kr	13975 kr	13975 kr
	Sandblåsing/lakkering	4t.	650kr	2600 kr	2600 kr
Indirekte kostn./tilvirkning:	Forbruksmateriell			800 kr	800 kr
	Gasskjæremaskin			500 kr	500 kr
	Saging			400 kr	400 kr
	Programmering CNC			400 kr	400 kr
	MAG sveisemaskin			500 kr	500 kr
Tilvirkningskost				34504 kr	40111 kr
Salg og administrasjon			10%	3450 kr	4011 kr
Selvkost				37954 kr	44122 kr
Fortjeneste	av selvkost		20%	7591 kr	8824 kr
Salgspris u/mva.				45545 kr	52946 kr
Salgspris m/mva.			25%	56931 kr	66183 kr

8.2.2 Vurderinger av kostnadsoversikten

Vurderinger tilknyttet andre kostnader som rekruttering og opplæring vises ikke i dette budsjettet, men er en kostnadsbærer hos bedriften. Ved å investere med intern opplæring hos Øveraasen, vil dette hjelpe å sikre en effektiv organisering, fremdrift og kvalitet ved gjennomføring av produksjonen, dette viser heller ikke budsjettet.

Den utregnede salgsprisen viser at det er ulike kostnader ved valg av forskjellige materialer. Selvkostanalysen viser at aluminiumslegeringen 6082-T6 er mer kostbart enn konstruksjonsstål legeringen S355J2G3. Økonomisk lønnsomhet for bedriften vil tilsi at konstruksjonsstål alternativt prioriteres. I kapittelet 2.5 fra teorigrunnet så vi at aluminium har noen materialfysiske egenskaper som er attraktive sammenlignet med konstruksjonsstål. Lav vekt, styrkeegenskaper og korrosjonsegenskaper er noen fordeler, men konklusjonen faller på S355 da det er det mest hensiktsmessige materialet. Prosjektet vil konkludere med at konstruksjonsstållegeringen av økonomiske prinsipper er det gunstigste materialvalget. Dette viderefører anbefalinger fra kapittel 5 (elementberegning).

Systematiske forbedringer og standardisering av prosesser vil påvirke lønnsomhet. Dette vil medføre varierende kostnader ved anvendelse av nye metoder eller ny teknologi for å produsere braketten. Selvkostanalysen har ikke inkludert teknologiske framsteg i dens kalkyle. Det er tenkelig at Øveraasen vil jobbe med forbedring av produksjonsprosessen som vil resultere i økt lønnsomhet.

Lønnsomhet er et viktig aspekt som må vurderes opp mot det som allerede finnes på markedet av lignende produkter. Vurderingen som man må ta i etterkant av et prisoverslag, er om man vil øke den totale fortjenesten ved å produsere produktet selv, eller om det blir mer lønnsomt å kjøpe festbraketten fra en annen leverandør. Dersom man velger å produsere produktet selv blir salgsprisen styrt av tilsvarende produkter som allerede finnes på markedet. Det blir da viktig å sikre et design som er sikkert, brukervennlig og i henhold til det kunden ønsker, for å få konkurranse fortrinnet i markedet. Øveraasen har som mål og levere med kvalitet, og er fleksible. Det antar at dette også ligger bak noe av suksessen til firmaet, som ledende på utvikling og konstruering av snøryddingsutstyr.

9 Aktivitet 6: Bærekrafts-vurderinger

9.1 Metode

9.1.1 Forarbeid

Forarbeidet er tilknyttet definering av de ulike parameterne som vil påvirke analysen for bærekrafts-vurdering. SolidWorks sin datapakke og programvareutvidelse SolidWorks Sustainability gir mulighet å gjennomføre livssyklusanalyse for konstruksjoner, og ble vurdert som et egnet verktøy for å gjennomføre bærekrafts-vurderinger. Dette dataverktøyet er en tilnærming for energibehov og miljøutslipp ved bruk av CML-metoden. I denne rapporten vil kandidatene fremlegge datamateriale tilknyttet bærekraft for konstruksjonsstål og aluminium. Både datamaterialet og livssyklusanalysen inngår i vurderingsgrunnlaget og konklusjonen.

Bakgrunnen for bærekraftsanalysen er at kandidatene i dette prosjektet ønsket å gi en faglig helhet for beslutninger knyttet til materialvalg og designløsning. Fra elementberegningen i kapittel 5 var både konstruksjonsstållegeringen S355J2G3 og aluminiumslegeringen 6082-T6 kandidater for materialvalg. Resultatet fra elementberegningen i kapittel 0, viste resultatet at konstruksjonsstål er best egnet for denne brakettløsningen, med liten til lav holdbarhet for aluminiumslegeringen 6082-T6. Dette resultatet gav fortsettelse for beslutninger om produksjonsmetoder, som vist i kapittel 7. I kapittel 7.1, omfattet kandidatene en produksjonsmetode for konseptet av brakettløsningen med forbehold av konstruksjonsstålet S355J2G3 som det valgte materialet.

Hensikten med kapittel 9, er å dokumentere de ulike bærekraftsprinsippene ved utvikling av løsningen for braketten. Her vektlegges energiforbruk og miljøutslipp ved produksjon av designet brakettløsning, som vist i kapittel 4, med enten konstruksjonsstål S355J2G3 eller aluminiumslegeringen 6082-T6.

9.1.2 SolidWorks Sustainability prosess

Materialkonfigurasjon

Materialer er valgt fra datamaterielliste i SolidWorks, eventuelt har en delkomponent eller sammenstilt produkt forutbestemt materialekonfigurasjon.

Produksjonsfremstilling

I SolidWorks Sustainability har brukeren av programvaren mulighet å definere produksjonslokasjon. Det kan velges mellom Nord- og Sør-Amerika, Europa, Asia, Japan, India og Australia.

Energiforbruk – levetid

Energiforbruk i produktets levetid er en parameter som gjør det mulig å inkludere eventuelle forbruksutslipp ved anvendelse og bruk av produktet.

Transport – Produksjon

I dataverktøyet SolidWorks Sustainability er det mulig å inkludere transport fra produksjon til kunde.

Avfallshåndtering – End of Life

Dette parameteren vurderer produktets bærekraft med forbehold om hvordan materialet gjenbrukes etter endt levetid. Forhåndsinnstillingene er 25% resirkulering av materiale, 24% forbrenning, og 51% av produktets materiale til avfall.

9.1.3 Analysescenario

For bærekraftsanalysen gjøres det en livssyklusstudie av utviklet designløsning for brakettkonstruksjonen. Analysen vil vektlegge lavest mulig energiforbruk og klimagassutslipp.

9.1.4 Materialdata og materialmodeller

For bærekraftsanalysen ble materialdataene hentet fra SolidWorks sin materialepakke. Materialet som benyttes for analysen er konstruksjonsstållegeringen S355J2G3 og aluminiumlegeringen 6082-T6, disse materialene er beskrevet i kapittel 2.4 og 2.5, og datamaterialet er inkludert som vedlegg i kapittel 12, vedlegg 4 og 7.

9.2 Resultat

9.2.1 SolidWorks Sustainability konfigurasjon

Parameterne vil identifisere analysemodellen for bærekrafts-vurderinger som er gjort med dataverktøyet SolidWorks Sustainability.

1. Materialkonfigurasjon

For bærekraftsanalysen vil det vurderes miljøutslipp og energiforbruk ved både S355J2G3 og aluminiumslegeringen 6082-T6. Disse materiale er beskrevet i kapittel 2.4 og 2.5. Vedlagt informasjon om kjemisk sammensetting og fysiske egenskaper er inkludert i tabellene fra kapittel 12 og vedlegg 4 og 7. Vi har tidligere nevnt hvordan SolidWorks ikke har inkludert materialdataen om aluminiumslegeringen 6082-T6, dette ble løst ved å velge en tilsvarende legering som har like egenskaper og materialdata som 6082-T6 legeringen. For bærekraftsanalysen ble aluminiumslegeringen 6082-T6 erstattet av 6063-T6.

2. Produksjonsfremstilling

Produksjonslokasjon

Ulike lokasjoner for produksjon og sammenstilling av produkt vil gi ulike grader av utslipp, knyttet til kontinentets energiinfrastruktur og energikilder. I dette prosjektet ble Europa valgt som parameter.

Produksjonsmetode

Ulike produksjonsmetoder har ulike energikomponenter. For denne bærekraftsanalysen ble stemplet og formet produksjon via metallplater valgt, og inkluderte SolidWorks Sustainability sine forhåndsbestemte innstillinger.

3. Energiforbruk

Energiforbruk produksjon

Denne parameteren angir direkte energibehovet for sammenstilling av produktet. Fra kapittel 8.2, var den betinget arbeidstimeantallet til 41 timer. Det antas at det daglige energibehovet i produksjonsverkstedet er på 60 kWh. For fem produksjonsdøgn, med åtte timers arbeidsskift, gir dette et totalt energiforbruk på 300 kWh for produksjon av braketten.

Levetid

Levetid er en parameter som påvirker sluttresultatet av miljøpåvirkninger, en lavere levetid vil gi høyere miljøpåvirkning. For dette prosjektet ble det besluttet at produktet skal ha en levetid på minst 20 år. I analysemodellen ble det satt som betingelse at produktet ikke krever energitilføring i sin levetid.

4. Transport

Transport vil påvirke klimautslippene fra produktet. Denne parameteren påvirkes av transportfartøy og distanse. I denne analysen velges trailer og distanse på 250 km.

5. Avfallshåndtering

End of Life

End of life symboliserer miljøpåvirkning ved graden av resirkulering og hvor mye av produktet som må sendes til avfallsdeponi. For konstruksjonsstål kan 85% gjenvinnes, resterende sendes til avfallsdeponi (Institute, 2020). For aluminiumslegeringer kan 100% av materialet gjenvinnes. (Association, 2020)

9.2.2 Parameteroppsett med SolidWorks Sustainability LCA

Tabell 26 - Parameter livssyklusanalyse i SolidWorks Sustainability livssyklusanalysen

Livssyklusanalyse med SolidWorks Sustainability				
Produksjonsfremstilling				
Materiale	Forbrukslokasjon	Energitype	Energimengde	Forventet levetid
S355J2G3	Europa	Elektrisitet	300 kWh	20 år
6082-T6	Europa	Elektrisitet	300 kWh	20 år
Levetid				
Materiale	Forbrukslokasjon	Energitype	Energimengde	Levetid
S355J2G3	Europa	-	-	20 år
6082-T6	Europa	-	-	20 år
Transportkonfigurasjon				
Materiale	Truck	Tog	Båt	Fly
S355J2G3	250 km	-	-	-
6082-T6	250 km	-	-	-
End of Life				
Materiale	Resirkulering	Forbrenning	Avfall	
S355J2G3	85 %	0 %	15%	
6082-T6	100 %	0 %	0%	

9.2.3 Livssyklusanalyse SolidWorks Sustainability resultat

Tabell 27 - Livssyklusanalyse (CML-metoden) resultater med SolidWorks Sustainability

Livssyklusanalyse med SolidWorks Sustainability					
Karbonutslipp					
Materiale	Materialspezifikk	Produksjonsspesifikk	Forbruksspesifikk	Transportspesifikk	End of Life
S355J2G3	1.2E+4 kg CO2e	1500 kg CO2e	0 kg CO2e	79 kg CO2e	34 kg CO2e
6082-T6	3.0E+4 kg CO2e	1200 kg CO2e	0 kg CO2e	1.3 kg CO2e	0 CO2e
Totalt for S355J2G3	1.3E+4 kg CO2e				
Totalt for 6082-T6	3.2E+4 kg CO2e				
Energiforbruk					
Materiale	Materialspezifikk	Produksjonsspesifikk	Forbruksspesifikk	Transportspesifikk	End of Life
S355J2G3	1.5E+5 MJ	2.8E+4 MJ	0 MJ	1200 MJ	24 MJ
6082-T6	3.8E+5 MJ	1.4E+4 MJ	0 MJ	19 MJ	0 MJ
Totalt for S355J2G3	1.8E+5 MJ				
Totalt for 6082-T6	3.9E+5 MJ				
Luftsyring					
Materiale	Materialspezifikk	Produksjonsspesifikk	Forbruksspesifikk	Transportspesifikk	End of Life
S355J2G3	34 kg SO2e	6.6 kg SO2e	0 SO2e	0.369 kg SO2e	0.013 kg SO2e
6082-T6	210 kg SO2e	16 kg SO2e	0 SO2e	6.11E-3 kg SO2e	0 kg SO2e
Totalt for S355J2G3	41 kg SO2e				
Totalt for 6082-T6	220 kg SO2e				
Vannforurensing					
Materiale	Materialspezifikk	Produksjonsspesifikk	Forbruksspesifikk	Transportspesifikk	End of Life
S355J2G3	3.1 kg PO4e	0.318 kg PO4e	0 PO4e	0.084 kg PO4e	0.059 kg PO4e
6082-T6	6.5 kg PO4e	0.619 kg PO4e	0 PO4e	1.41E-3 kg PO4e	0 kg PO4e
Totalt for S355J2G3	3.5 kg PO4e				
Totalt for 6082-T6	7.1 kg PO4e				

I kapittel 3.2.6 ble det oppgitt om begrensning knyttet til gjenbruk av materialene. Livssyklusanalysen med SolidWorks Sustainability, vil analysere bærekraftperspektivet for konstruksjonen ved å anta at materialene er i førstegangsforbruk. Dette vil resultere i at aluminiumslegeringen 6082-T6 har et høyere energibehov og miljøutslipp. Resultatet viser at aluminium har et høyere karbonutslipp på 146%, 117% høyere energibehov, 437% høyere luftsyring og 102% høyere vannforurensing sammenlignet med konstruksjonsstål. Med dette grunnlaget anbefaler kandidatene S355J2G3 som materialvalg med hensyn til bærekraft og miljøet.

9.2.4 Materialdata for miljøpåvirkninger ved stål og aluminium

Tabell 28 skal viser det ulike energibehovene og miljøutslippene ved produksjon per tonn av konstruksjonsstål og aluminium. Tabell 29 viser materialtap i ulike atmosfærer over en 8 årsperiode. Dette studiet ble gjennomført av Swerea KIMAB som er det svenske korrosjons instituttet. (Thoresen, 2017)

Tabell 28 - Miljøpåvirkning aluminium 6063-T6 og S355J2G3

Miljøpåvirkning ved ulike materialer		
Stål		
	Primær (førstegangs forbruk)	Sekundær (gjenbruk)
Energi behov (kWh)	516	87.7
CO₂ (kg)	2308	165
Aluminium		
	Primær (førstegangs forbruk)	Sekundær (gjenbruk)
Energi behov (kWh)	15950	140
CO₂ (kg)	4014	483

Hentet fra (Thoresen, 2017)

Tabell 29 - Materialtap i ulike atmosfærer over 8 års periode

	Marint forbruk (Vann)	Urbant forbruk (Luft)
Aluminium (g/m²)	7	2
Karbonstål (g/m²)	933	676
Galvanisert stål (g/m²)	133	61

Hentet fra (Thoresen, 2017)

9.2.5 Konklusjon av bærekrafts-vurderinger

Livssyklusanalyser skal vise miljøpåvirkningen for et gitt produkt med betingede parametere. Analysespektrumet og utgangspunktet for begge materialene har vært likt. Det som skiller analysene, er valgt materiale og resirkuleringsgraden. Prosjektet konkluderer med at aluminium som et materialvalg for denne konstruksjonen medfører større miljøbelastninger når det sammenlignes med konstruksjonsstål S355J2G3.

Bakgrunnen for høyere miljøutslipp ved aluminiumslegeringer sammenlignet med konstruksjonsstål, er tilknyttet at aluminium må utvinnes av bauksitt og behandles ved elektrolyse. Globale bauksittlagre befinner seg langt unna aluminium-prosessen. Bauksitt blir utvinnet ved flere lokasjoner, deriblant finnes det store forekomster i Guinea, Australia og Brasil (Wikipedia, 2020c) og (Wikipedia, 2020a). Framstilling fra utvinnet bauksitt til ferdig produsert aluminium gjøres ved en elektrolyseprosess. Elektrolyse krever mye tilførelse av energi, og nasjoner som kan produsere billig energi er ofte ledende for prosessering av bauksitt til ferdig aluminium. Dette driver både prisen og klimautslippet opp for aluminium, som gjør aluminium til et kostbart materiale. (Wikipedia, 2020a)

I et bærekraftperspektiv har aluminium en tydelig fordel med at materialet kan gjenbrukes fullstendig, uten å miste sine fysiske egenskaper. Når aluminium gjenbrukes, kreves kun 5% av energimengden fra framstillingsprosessen for primært aluminium (Wikipedia, 2020d). Aluminium kan fullstendig gjenvinnes, og et EU sponset studie fra 2000 viser hvordan konstruksjonsstål blir gjenbrukt opptil 85%. Dette studiet viser at konstruksjonsstål har en lavere gjenbruksgrad (Steelconstruction.info, 2020). Samtidig viser det amerikanske instituttet

for stålkonstruksjoner (AISC) at 93% av alle konstruksjonsståls produkter i USA inneholder gjenbrukt stål og at ved nedrivning av bygninger i USA brukes 95% av konstruksjonsstålet i bygningen igjen. (AISC, 2020)

En utfordring knyttet til bærekraftsanalysen er hvordan SolidWorks Sustainability som et verktøy for livssyklusanalyse vurderer materialene etter deres førstegangs fremstillingsprosess. Dette gjør at aluminiumslegeringen 6082-T6, har et høyt energiforbruk og miljøutslipp, når den sammenlignes med konstruksjonsstallegeringen S355J2G3.

Tabell 28 viser en hvordan konstruksjonsstål er et fordelaktig materiale i bærekraftperspektivet. Ett tonn konstruksjonsstål har lavere utslipp og energibehov både ved førstegangs materialproduksjon og gjenbruksstadiet sammenlignet med aluminium. Tabell 29 viser hvordan aluminium har høyere korrosjonsmotstand og mindre materialtap i ulike atmosfærer sammenlignet med konstruksjonsstål. Konstruksjonsstål som en følge av korrosjon, vil oppleve høyere materialtap.

Både aluminium og konstruksjonsstål har som nevnt høye gjenbruksgrader, men med bakgrunn i livssyklusanalysen og materialdata tilknyttet bærekraft, konkluderer kandidatene med at konstruksjonsstål har lavere miljøpåkjenning enn aluminium og er det anbefalte materialet i et bærekraftperspektiv for denne konstruksjonen.

10 Diskusjon

10.1 Design

Fra kapittel 4.2.1 ble designbeslutninger gjort med forbehold ut ifra geometriske begrensinger og hvordan brakettkonstruksjonen skal kunne tilkobles en traktor tre-punkt tilkoblingssystem for traktor, samt tilkoblingsmuligheter av en svingskive som er standardisert for lastebiler på toppen av konstruksjonen. Høyden til brakettkonstruksjonen er betinget av kjørehøyden med tilkoblet utstyr og traktor som transportforekomst. Arbeidet tilknyttet design av brakettkonstruksjonen er gjort i samarbeid med teknisk sjef hos Øveraasen, Jan Ivar Thorsrud, som har veiledet kandidatene i denne oppgaven.

I samarbeid med personalet hos Øveraasen har kandidatene produsert et design som både er økonomisk lønnsomt for bedriften, samt at det møter kriterier gitt av produksjonspersonell. Sideplaten ble besluttet å ha uthullede områder, etter samtaler med sveisere ved Øveraasen. I samtaler med sveiserne hos Øveraasen ble det drøftet hvordan det ville være krevende å gjennomføre punktsveiser på sideplate til det midtre røret, og samtidig skape en tilfredsstillende geometrisk toleranse for hullene på sideplaten og strukturen. Det er med bakgrunn i samarbeidet og deres erfaringer vurdert høy validitet av betraktningene. Samtidig har man ikke grunnlag for å bekrefte gyldighet, før en prøveproduksjon av festebraketten er utført.

Brakettkonstruksjonens platetykkelse ble valgt ut fra hensyn til dimensjonering for sveising og motstandsdyktighet for mekaniske belastinger, både i horisontal- og vertikalplan. Avstivningsrørene både øvre, nedre og midtre har alle en tykkelse på 10 mm. Sideplaten, toppstaket, støtteben og låsemekanismen for topplaten har alle en tykkelse på 15 mm. Strukturrammen og topplaten har en tykkelse på 20 mm.

Arbeidet ved design ble kontinuerlig gjort med elementberegningsevaluering og oppdatert underveis av resultatene fra SolidWorks Simulations analysen. Hensikt var å identifisere kritiske belastningsområder og sikre at komponentene i disse områdene var tilstrekkelig dimensjonert for motstand av de mekaniske lastene.

For å bidra til å gjøre elementberegningen i delaktivitet 2 enklere, var alle ytterkanter i konstruksjonen, filet ned ved å inkludere chamfer-funksjonen i SolidWorks. Dette skapte en overgang mellom to ulike sider for hver delkomponent.

10.2 Elementberegning

Elementberegning ble valgt for å evaluere det endelige designet av brakettkonstruksjonen og vurdere potensielle materialvalg for dette designet. Utgangspunktet var at dette designet kunne produseres med en konstruksjonsstållegering eller en aluminiumslegering. Etter samtaler med veileder og Øveraasen ble det anbefalt å vurdere konstruksjonsstålet S355J2G3 og aluminiumslegering 6082-T6. Det ble oppgitt hvordan denne braketten skal ha mulighet til å motstå to ulike scenarier. I det første scenarioet skal braketten kunne motstå en vertikallast på 6 tonn, når braketten står frittstående med sope- og blåsemaskinen RS200 eller RS400 tilkoblet. I det andre scenarioet skal braketten motstå horisontallaster under transport og kjøring, med braketten tilkoblet traktor og forbundet til sope- og blåsemaskinen RS200 eller RS400 med svingskiven.

I scenario 1 viste både konstruksjonsstålet S355J2G3 og aluminiumslegeringen 6082-T6 seg som aktuelle materialvalg. Resultatet fra denne analysen viste at aluminiumslegeringen har en høyere grad av nedbøying, bakgrunnen for dette er relatert til den lavere elastisitetsmodulen hos aluminiumet sammenlignet med konstruksjonsstålet.

I scenario 2 ved akselerasjon og oppbremsing viste det seg derimot at det kun er konstruksjonsstålet S355J2G3 som motstandsdyktig for de horisontale kreftene. Aluminiumslegeringen 6082-T6 nærmer seg flytegrensen, og kreftene som opptrer er utenfor akseptkriteriet.

En overordnet utfordring i elementberegning var å produsere et elementnettverk som er tilfredsstillende forfinet for å sikre at maksimal Von Mises spenning konvergerer. I begge scenarioene opplevde kandidatene en økende maksimal Von Mises spenning ved ytterligere forfinelse av elementnettverket. Denne utfordringen er beskrevet i kapittel 5.2.2 for scenario 1 og 5.2.5 for globalt scenario 2. Bakgrunnen for at spenningen ikke konvergerer er tilknyttet designet, hvor det oppstår singulariteter ved enkelte områder som følge av geometrien til brakettkonstruksjonen. Teorigrunnlaget om singulariteter er beskrevet i kapittel 2.2.2. Ved

utvikling av designet for braketten ble det inkludert nedjustering av skarpe kanter, med å inkludere chamfer-funksjonen i SolidWorks.

Den manglende konvergens i scenario 2 skapte utfordringer knyttet til å finne korrekt Von Mises spenning. I denne analysen med forfinet elementnettverk, oppsto det høye singulariteter ved kantlinjen til boltehullene til sideplaten og strukturen. Denne singulariteten medførte at kandidatene måtte undersøke den opptrendene spenningen, og brukte SolidWorks Simulations funksjonen probing, for å finne den opptrendene spenningen. Denne funksjonen kan gi feilkilder, ved at det ikke velges korrekte lokasjoner. For å redusere dette ble flere ulike noder ved ulike lokasjoner undersøkt.

Det er viktig å påpeke at resultatene i elementberegninger er gjort ved teoretiske belastninger, under gunstige forhold med et dataverktøy. I realiteten vil konstruksjonen oppleve varierende grad av belastninger, dette kan inkludere ujevnheter i vei og vanskelige veiforhold eller et skiftende kjøremønster fra traktorfører. I en elementberegning er det utfordrende å kunne evaluere alle de ulike tenkelige scenarioene som kan oppstå. For å redusere antall simuleringer ble det besluttet å undersøke for maksimal tillatt overbelastning i begge de to ulike scenarioene med de ulike materialer. Overbelastningen skulle erstatte usikkerhetene rundt de ulike faktorene som kunne påvirke belastningen for braketten.

Resultatet fra overbelastningsstudiet viste at både aluminiumslegeringen og konstruksjonsstålet kunne overbelastes i scenario 1, resultatet fra denne undersøkelsen er vist kapittel 5.2.4. I scenario 2 kunne bare konstruksjonsstålet overbelastes, resultatet fra denne overbelastningen er vist i kapittel 5.2.7.

10.3 Manuell beregning

Beregning gjort på boltene som fester topplatene viser at vi er langt under tillatt spenning. Dette bekrefter at vi klarer å opprettholde motstand mot lastene på festebraketten med færre bolter enn beregnet. Men på grunn av vurderingen om vektfordelingen som en ukjent faktor som kan påvirke skjærkraftene, tar vi høyde for at alle ni boltene pr. plate blir brukt. I kapittel 6.2.1 har vi beskrevet hvorfor vi har valgt å neglisjere boltene som holder svingskiven. Vi fordeler resultantkraften som beregnet i kapittel 6.2.1 likt på de tre dragarmsboltene. Begrensningen her er at vi ikke vet nøyaktig hvor mye kraft som virker på hver av de tre

boltene. Samtidig vil dette kunne ha variasjoner ved forskjellige scenarioer under kjøring og bruk. Man kan si at dette til en viss grad kan være med på å svekke validiteten. På grunnlag av beregningene som er utført basert på at boltene er laget av S355J2G3 konstruksjonsstål, holder boltene kreftene som de blir utsatt for.

Da det kun var noen få sveiseforbindelser som var kritiske i forbindelse med bruk av festebarketten, og at resten av sveisene er for å holde festebarketten form, har vi ikke utført noen manuelle beregninger på sveis. Vi har fått føringer på anbefalt A-mål brukt i oppgaven fra fagarbeider.

10.4 Produksjonsmetoder

Produksjonsmetodene og produksjonsprosessen vi har lagt frem i denne oppgaven er gode med tanke på hvilke produksjonsmidler Øveraasen har tilgjengelig. De er også gode med tanke på produksjonseffektivitet og kvalitet. Det finnes andre produksjonsmetoder som er mer nøyaktige, som for eksempel vannskjærer i stedet for skjærebrenner. På dette produktet finner vi det ikke nødvendig og ser dermed på det å sette bort deler av produksjonen som en fordyrende prosess. Det ble gjort endringer i designet og produksjonsprosessen underveis i oppgaven, disse ble drøftet med fagarbeidere hos Øveraasen. De bekreftet at dette ville senke timeantallet de kom til å måtte bruke på produksjonen av produktet vi har tatt for oss. Produksjonstiden gjenspeiler også den økonomiske vinningen ved salget av produktet. Samtidig har disse endringene sørget for at kvaliteten på produktet opprettholdes, og attpåtil forbedret det med tanke på styrke på sveis. Til slutt er det også tenkt på varigheten av produktet med egnet overflatebehandling for å tilfredsstille kundens forventninger til produktet.

10.5 Økonomi-vurderinger

Et kostnadsestimat er beregnet utfra informasjon fra Øveraasen, og man antar at prisen ligger innenfor et akseptabelt nivå slik at valget faller på egenproduksjon av festebarketten. Vi har sammenlignet priser på ulike materialer, som bekrefter at bruk av konstruksjonsstål er det økonomiske mest hensiktsmessige i dette tilfellet.

10.6 Bærekrafts-vurderinger

Bærekrafts-vurderinger ble utført for å skape en helhetlig forståelse av designbeslutninger tilknyttet materialvalg. Fra tidligere resultater i elementberegningen viste konstruksjonsstål seg som det mest gunstige materialet for dette designet, men det var likevel ønskelig å vise miljøbelastninger ved både konstruksjonsstålet S355J2G3 og aluminiumslegering 6082-T6.

En tydelig utfordring for bærekrafts-vurderingene var å identifisere en analysemodell som kunne gi evaluering for produktets livssyklus. I et bærekraftperspektiv er det flere faktorer som kan påvirke resultatet, som utvinning av råmaterialet, produksjon og fremstilling av råmaterialet til et ferdigstilt materiale, transport fra utvinningslokasjoner til prosesseringsanlegg, og energikilden ved dette prosesseringsanlegget. For å redusere arbeidet tilknyttet å evaluere alle disse ulike faktorene som påvirker bærekrafts resultatet, ble SolidWorks Sustainability identifisert som en kandidat for å gjøre bærekrafts vurderingene.

SolidWorks Sustainability sin livssyklusanalyse verktøy er knyttet til CML-metoden som ble først utviklet i 1996 og oppdatert i 2001, denne metoden anvender 1700 ulike faktorer for å kartlegge produktets miljøbelastninger, dette har som tidligere blitt nevnt i teorigrunlaget kapittel 2.8.4. En utfordring for kandidatene var å innhente informasjon om alle disse ulike faktorene og hvordan dataverktøyet gjør sine bærekrafts vurderinger og beregninger.

Livssyklusanalysen med dataverktøyet SolidWorks Sustainability tar utgangspunkt i at materialet vil bli førstegangsforbrukt, som gir et dårligere utgangspunkt for aluminiumslegeringen sammenlignet med konstruksjonsstålet. Resultatet som vist i kapittel 9.2.3, gav et overveldende fordelaktig resultat for konstruksjonsstållegeringen. I kapittel 9 og for denne delaktiviteten har det vært krevende å forholde seg til en spesifikk opplysning tilknyttet bærekraft, som en følge av at det eksisterer mye informasjon med ulike resultater tilknyttet avfallsdeponi, gjenbruksgrad av materialet og energibehov. Det ble besluttet å forholde seg til europeiske data og analysekriterier om gjenbruksgrad ble hentet fra Steel Recycling Institute for konstruksjonsstål og The Aluminum Association for aluminiumslegeringen (Institute, 2020) og (Association, 2020).

For å skape et helhetlig inntrykk av miljøbelastninger undersøkte kandidatene energimengden og miljøbelastninger ved primær og sekundær fremstilling av både konstruksjonsstål og

aluminiumslegering. Undersøkelsen ble støttet opp fra av en artikkel utgitt av Andreas Thoresen. I denne oppgaven inneholder Tabell 28 og Tabell 29 fra kapittel 9.1.4, materiale fra denne artikkelen. Denne artikkelen konkretiserte hvordan aluminium har et større energibehov og miljøbelastning både ved primær og sekundær fremstilling sammenlignet med konstruksjonsstål. For bærekrafts vurderingene i denne oppgaven har både livssyklusanalysen med SolidWorks Sustainability og fagartikkelen fra Andreas Thoresen gitt grunnlag for vår konklusjon for materialvalg tilknyttet bærekraftperspektivet. (Thoresen, 2017)

10.7 Kravspesifikasjon

Produktkrav

Krav spesifisert fra oppdragsgiver er følgende: Modulen skal bestå av en stålkonstruksjon som kobles til traktorens tre-punkt. Det skal monteres en svingskive av standard lastebiltype, og den bør kunne monteres i flere posisjoner i lengderetning. Svingskivehøyde skal være 1550mm i kjørestilling. Modulen skal kunne brukes som støttebukk når tilhengeren kobles fra. Man skal kunne sette modulen på bakken og koble fra traktorens tre-punkt mens RS 200/400 er montert. Tillatt vertikal svingskivelast må være >6 tonn. Tillatt totalvekt på henger må være >20 tonn. Svingskiven skal plasseres så langt fram som praktisk mulig for best vektfordeling på traktoren.

Dokumentasjonskrav

Det er viktig at bedriften har et etablert system som sikrer at de følger myndighetspålagte krav, det vil si krav til helse, miljø og sikkerhet samt kvalitetsstyring. Øveraasen informerte at de bruker sertifisering i henhold til ISO 9001 og ISO 14001, og samtidig bruker de et eget kvalitetssikringssystem. Når det gjelder traktoren så kjente ikke Eik maskin til noe spesifikt krav eller forskrifter som sier noe om montering av ekstra moduler. De presiserte at så lenge det brukes ferdig produserte svingskiver og konstruksjonen under konstrueres for å tåle styrken så skal det være en godkjent festebrakett til bruk. Vi har også fått opplyst at de ikke kjenner til noen form for godkjenning ved denne typen montering, så lenge redskapen som kobles på ikke er registreringspliktig. For beregninger har kravene fra DNVGL-ST-E273 blitt benyttet. Disse beskriver den akseptable spenningen som tillates, altså at spenningen ikke skal overstige 85% av flytegrensen.

10.8 Reliabilitet og validitet

For å sikre at vi har utført prosessen med gjennomføring av oppgaven på riktig måte, skal den være så god at andre skal kunne gjøre tilsvarende prosess med omtrent likt resultat. Dette kalles etterprøvbarhet, og handler om å handle på en troverdig måte (Halvorsen, 2008). Derfor har det vært vesentlig at vi har kontaktet fagpersoner og kontrollert det som står i standarder og krav, for å sikre at vi kan stå for det resultatet vi kommer frem til. Vi har sjekket, samt at det har vært presisert fra oppdragsgiver og andre fagpersoner at de ikke kjenner til spesifikke standarder eller krav, som sier noe om produksjon og montering av denne type festebrakett. Oppdragsgiver har informert om at de har et eget kvalitetssikringssystem som er beskrivende for det som kreves. Gjennom hele prosessen har nær kontakt med oppdragsgiver vært nødvendig, for å sikre at vi har de nødvendige dataene for å fullføre styrkeberegningene. Designet vi har foreslått skal være i henhold til kravspesifikasjonen som inneholder de gitte kriteriene. SolidWorks simuleringen bekrefter resultatene vi har kommet frem til ved manuell styrkeberegning, dermed styrker vi kvaliteten på beregningene. Og validiteten på beregningene som er utført vurderes som god. På denne måten viser vi at dataene kan etterprøves og har sikker reliabilitet. Vi har i tillegg vært i kontakt med Eik maskin for å få bekreftet om traktoren Valtra T234 er riktig kategori for påmontering av braketten med sopemaskinen, samt stilt spørsmål om den møter kravene til styrkeberegningene. Vi har fått bekreftet at traktoren er brukt i slike ekvipasjer, og de har presisert at med riktige beregninger så vil den håndtere utstyr som sopemaskin RS200/400.

11 Konklusjon

Vår problemstilling:

«Hvordan kan en brakettløsning designes, og produseres for transport av sope- og blåsemaskinene innen Øveraasens katalog, med traktor som et transportmiddel?»

Som svar på problemstillingen har vi utført de forskjellige aktivitetene og foreslått et design, og evaluert designets respons fra ulike belastninger ved hjelp av SolidWorks og håndberegninger. Vi har undersøkt konstruksjonens motstandsdyktighet for frittstående vertikale belastninger når den står i ro, samt horisontale krefter for brakettløsningen under transport. De to ulike scenarioene krever at kravspesifikasjon om å motstå vertikale belastninger på mer enn 6 tonn, samt horisontale belastninger tilknyttet D-verdi på 59 kN, må overholdes. Håndberegningene tar for seg kritiske bolteforbindelser i konstruksjonen, noe som er viktig med hensyn på sikkerhet ved bruk av produktet. En evaluering av kritisk platetykkelse samt vurdering av ulike materialvalg er også med i scenarioene. Dette har resultert i at S355J2G3 er det aktuelle materialet som bør brukes på designet. Helhetlig så mener vi at dette designet kan tåle dynamisk og statisk belastning gitt i kravspesifikasjon, og gjør det mulig for Øveraasen å produsere en festebrakett som betyr at de kan tilby kunden en totalpakke.

11.1 Videre arbeid

Videre arbeid vil kunne bety ytterligere optimalisering av designet til festebraketten, med flere analyser i SolidWorks. Og gruppen vil anbefale og produsere en testbrakett for foreslått design, samt gjennomføre fysiske tester under ulike forhold. Dette kan føre til at det blir nødvendig med flere korreksjoner før man velger å produsere braketten, som en del av deres produktportefølje. Det kan videre være aktuelt for Øveraasen å få den godkjent og sertifisert til å kunne kjøre på vanlige veier.

Litteraturliste

- Aasgaard, A. (2012) *Design and analysis of skywalk in aluminium*. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/182896>.
- AISC (2020) *Structural steel: The premier green construction material*. Tilgjengelig fra: <https://www.aisc.org/why-steel/sustainability/> (Hentet: 06.05.2020).
- Aluminium (2020). Tilgjengelig fra: www.hydro.com/no-NO/om-aluminium/innovasjon-i-aluminium/
- Association, T. A. (2020) *Recycling*. Tilgjengelig fra: <https://www.aluminum.org/industries/production/recycling> (Hentet: 30.04.2020).
- Baggerud, A. og Almar-Næss, A. (2018) *Oksygenskjæring*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/oksygenskj%C3%A6ring> (Hentet: 26.02 2020).
- Bergseng, M. (2020) Inverju med fagarbeider sveis, i Karakas, M. E. (red.).
- Bjørnfot, A. (2019) Validitet & relabilitet. Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/webapps/portal/execute/tabs/tabAction?tab_group_id=70_1
- Burnett, D. S. (1987) *Finite element analysis : from concepts to applications*. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- FN (2017) *Bærekraftig utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Tema/fattigdom/Baerekraftig-utvikling> (Hentet: 16.04.2020).
- Halvorsen, K. (2008) *Å forske på samfunnet*. 5.utgave. utg. Cappelen Akademiske Forlag.
- Hartvigsen, H. (2007) *Verkstedhåndboka*. 6.utgave. utg.
- Husø, Ø. (2010) *Mekanisk konstruksjon og teknisk design*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Industriskolen (2018a) *Sponfraskillende bearbeiding*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/subjects/subject:28/topic:1:24813/topic:1:55445/> (Hentet: 18.03 2020).
- Industriskolen (2018b) *Sveising*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/subjects/subject:28/topic:1:24813/topic:1:48869> (Hentet: 05.03 2020).
- Industriskolen og BY-SA, C. (2018) *Brenngasskjæring og brenngass*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/subjects/subject:28/topic:1:24813/topic:1:48869/resource:1:45134> (Hentet: 26.02 2020).
- Institute, S. M. D. (2020) *Steel is the World's Most Recycled Material*. Tilgjengelig fra: <https://www.steelsustainability.org/recycling> (Hentet: 30.04.2020).
- Johansen, H. (2009) *Materiallære*. Tilgjengelig fra: <http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallaere/arbeidsplan/lettmuller/AI-AI-legeringer/Materiallaere-aluminium-kompendium.pdf>.
- Johansen, H. (2012a) Sveisbare konstruksjonsstål, i kompendiet, S. k.-. (red.). <http://folk.ntnu.no/hennj>: Henning Johansen. Tilgjengelig fra: <http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiallaere-sveisbare%20konstruksjonsstal-kompendium-04.06.2012.pdf> (Hentet: 08.04.2020).
- Johansen, H. (2012b) *Styrkeberegning: Skrueforbindelser*. Tilgjengelig fra: [http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/SB_Skrueforbindelser_2012_nr.2_\(endret_2014\).pdf](http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Skriftserien/SB_Skrueforbindelser_2012_nr.2_(endret_2014).pdf) (Hentet: 27.04 2020).
- Johansen, H. (2019) *Styrkeberegning*. Tilgjengelig fra: <http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi//materialteknologi/styrkeberegning.htm#ARBIDSPAN>.
- Kemppi (2020a) *x8 mig welder*. Tilgjengelig fra: <https://www.kemppi.com/no/offering/family/x8-mig-welder/> (Hentet: 08.04 2020).

- Kemppi (2020b) *MIG/MAG-sveising*. Tilgjengelig fra: <https://www.kemppi.com/no/stotte/sveise-abc/mig-mag-sveising/> (Hentet: 11.03 2020).
- Krakjewski, L. J., Malhotra, M. K. og Ritzman, L. P. (2016) *Operations Management Processes and Supply Chains*. Essex, England: Pearson Education Limited.
- Kurowski, P. (2015) *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2015*. Kansas: SDC Publications.
- Kurowski, P. M. (2018) *Engineering analysis with SOLIDWORKS Simulation 2018*. Mission, Kansas: SDC Publications.
- lover, N. (1994) *Europaparlaments- og rådsdirektiv 94/20/EF om mekaniske koplinger for motorvogner og deres tilhengere samt festing av koplingene på disse kjøretøyene*. Lovdata.no: Justisdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/static/NLX3/31994I0020.pdf> (Hentet: 19.04.2020).
- Ltd, A. M. (2020a) *6082 - T6~T651 Plate*. Tilgjengelig fra: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aalco-Metals-Ltd_Aluminium-Alloy-6082-T6T651-Plate_148.pdf.ashx (Hentet: 18.04.2020).
- Ltd, A. M. (2020b) *1.4401 (316) Bar and Section*. Tilgjengelig fra: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aalco-Metals-Ltd_Stainless-Steel-14401-316-Bar-and-Section_37.pdf.ashx (Hentet: 18.04.2020).
- Ltd, A. M. (2020c) *1.4404 (316L) Bar and Section*. Tilgjengelig fra: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aalco-Metals-Ltd_Stainless-Steel-14404-316L-Bar-and-Section_39.pdf.ashx (Hentet: 18.04.2020).
- Makeitfrom (2020a) *EN 1.4401 (X5CrNiMo17-12-2) Stainless Steel*. Tilgjengelig fra: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.4401-X5CrNiMo17-12-2-Stainless-Steel> (Hentet: 19.04.2020).
- Makeitfrom (2020b) *EN 1.0570 (S355J2G3) Non-Alloy Steel*. Tilgjengelig fra: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.0570-S355J2G3-Non-Alloy-Steel> (Hentet: 18.04.2020).
- Makeitfrom (2020c) *EN 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) Stainless Steel*. Tilgjengelig fra: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.4404-X2CrNiMo17-12-2-Stainless-Steel> (Hentet: 19.04.2020).
- Makeitfrom (2020d) *6082-T6 Aluminum*. Tilgjengelig fra: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6082-T6-Aluminum> (Hentet: 19.04.2020).
- Meidell (2013) *EMCO CNC fresemaskin MMV 3200*. Tilgjengelig fra: <https://meidell.no/produkter/emco-cnc-fresemaskin-mmv-3200/> (Hentet: 18.04.2020).
- Ninive, P. H. (2018) *Statisk analyse (del 1)*. Upublisert paper presentert på Elementmetoden. NTNU.
- Nordstrand, R. (2001) *Rustfrie skrueprodukter*. Tilgjengelig fra: http://www.tingstad.no/upload_images/6A87AA6CA6DB477B8F74E0FB02AA6DOC.pdf (Hentet: 04.04.2020).
- NS-EN ISO 898-1 (2013) *Mekaniske egenskaper for festelementer av karbonstål og stållegeringer*.
- NS EN ISO 3506 (2009) *Skruer og panneskruer*.
- Ronquillo, R. (2020) *Understanding CNC Milling*. Tilgjengelig fra: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-cnc-milling/> (Hentet: 08.04 2020).
- Rødsås, T. J., Almar-Næss, A. og Halmøy, E. (2018) *Sveising*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/sveising> (Hentet: 05.03 2020).

SolidWorks (2017) *When to Use Nonlinear Analysis*. Tilgjengelig fra: http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/cworks/c_When_to_Use_Nonlinear_Analysis.htm (Hentet: 06.04.2020).

SolidWorks (2018) *What is a stress singularity in SOLIDWORKS Simulation?* Tilgjengelig fra: <https://blogs.solidworks.com/tech/2018/07/what-is-a-stress-singularity-in-solidworks-simulation.html> (Hentet: 06.04.2020).

SolidWorks (2020a) *Force*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Force.htm?id=97efc0d5e4a14e8f9d3bc53dc5e2e657#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020b) *Meshing*. Tilgjengelig fra: http://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm?id=5ce98a1d94284b0a861da7c41d008e40#Pg0 (Hentet: 06.04.2020).

SolidWorks (2020c) *Shell Modeling*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Shell_Modeling.htm (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020d) *Linear Static Analysis*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020e) *Nonlinear Static Analysis Overview*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_nonlinear_static_analysis_overview.htm?id=016b268da5e74dc491a321f04bee3529#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020f) *Iterative Solution Methods for Nonlinear Studies*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Iterative_Solution_Methods_for_Nonlinear_Studies.htm#twu1450460170898 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020g) *Centrifugal*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/IDC_HELP_LOAD_CENTRIFUGAL_structural_loads.htm?id=05cbe7370a6c4e74b7e40486a4e35f45#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020h) *Creating a Submodeling Study*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/english/SolidWorks/cworks/t_Creating_Submodeling_Study.htm?id=239926d7e45042ccb266a72e2a976d2d#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020i) *Pressure*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Pressure.htm?id=32231ebdb319453f91740d612cd1ea76#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020j) *Appendix C - LCA Tools and Methods*. Tilgjengelig fra: <https://www.solidworks.com/sustainability/sustainable-design-guide/appendix-c-the-hannover-principles.htm> (Hentet: 30.04.2020).

SolidWorks (2020k) *Large Displacement Solution*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_large_displacement_solution.htm?id=6dc3942101224a8bb5b8362563646bf4#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020l) *Contact Analysis*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Contact_Analysis.htm?id=6bfb7fe3db13485f9ab35b7944c2be9f#Pg0 (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020m) *Shell Mesh Overview*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Shell_Mesh.htm (Hentet: 07.04.2020).

SolidWorks (2020n) *Solid Mesh*. Tilgjengelig fra: https://help.solidworks.com/2020/English/SolidWorks/cworks/c_Solid_Mesh.htm?id=ec755a0f10b94827af02b5296f92ccd3#Pg0 (Hentet: 06.04.2020).

- Standard, N. (1999a) NS-EN 10250-2:1999 *Friform-smigods av stål for alminnelig bruk - Del 2: Ulegerte kvalitetsstål og spesialstål*. standard.no: Norsk Standard. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=135817> (Hentet: 08.04.2020).
- Standard, N. (1999b) NS-EN ISO 5456-2:1999. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=145037> (NS-EN ISO 5456-2:1999).
- Standard, N. (2014) NS-EN 10088-2:2014 *Rustfrie stål - Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for plater og bånd av korrosjonsbestandige stål for alminnelig bruk*. standard.no: Norsk Standard. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=727176> (Hentet: 18.04.2020).
- Standard, N. (2019a) NS-EN 485-2:2016+A1:2018 *Aluminium og aluminiumlegeringer - Plater og bånd - Del 2: Mekaniske egenskaper*. standard.no: Norsk Standard. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1015295> (Hentet: 18.04.2020).
- Standard, N. (2019b) NS-EN 10025-2:2019 *Varmevalsede produkter av konstruksjonsstål Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for ulegert konstruksjonsstål*. <https://www.standard.no/>. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1096947> (Hentet: 08.04.2020).
- Standard, N. (2019c) NS-EN 573-3:2019 *Aluminium og aluminiumlegeringer - Kjemisk sammensetning og form på plastisk bearbejdede produkter - Del 3: Kjemisk sammensetning og produktenes form*. standard.no: Norsk Standard. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1096985> (Hentet: 18.04.2020).
- Steelconstruction.info (2020) *The recycling and reuse survey*. Tilgjengelig fra: https://www.steelconstruction.info/The_recycling_and_reuse_survey.
- Syrefast stål (2020). Tilgjengelig fra: www.eyolv-thon.no/c-53-Syrefast-stål-AISI-316.aspx.
- Systems, H. R. (2014) *SOLIDWORKS Simulation Theory - Linear vs. Nonlinear*. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=L55orKqnhNg> (Hentet: 06.04.2020).
- Teknisk katalog (2020). (Teknisk katalog skruer). Tilgjengelig fra: tingstad.no/default.asp?menu=116&id=.
- Thomassen, M. K. K. (2020) *Livsløpsanalyser av bygninger (LCA)*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/livslopsanalyser-av-bygninger/> (Hentet: 30.04.2020).
- Thoresen, A. (2017) *Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications*, Norwegian University of Science and Technology. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.edu/documents/139799/1279149990/30+TPD4505+-+Aluminium+versus+steel+in+low-volume+production+of+structural+applications+.pdf/06152232-027b-4daf-8e57-eb3f96697b81>.
- Wikipedia (2015) *Sandblåsing*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Sandbl%C3%A5sing> (Hentet: 06.05.2020).
- Wikipedia (2020a) *List of countries by primary aluminium production*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_primary_aluminium_production (Hentet: 05.05.2020).
- Wikipedia (2020b) *Stål*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/St%C3%A5l> (Hentet: 08.04.2020).

Wikipedia (2020c) *List of countries by aluminium oxide production*. Tilgjengelig fra:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_aluminium_oxide_production
(Hentet: 05.05.2020).

Wikipedia (2020d) *Aluminium recycling*. Tilgjengelig fra:
https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_recycling (Hentet: 05.05.2020).

12 Vedlegg

Innholdsfortegnelse

Vedleggsfigurliste	127
Vedleggstabelliste	128
Vedlegg 1 – Elementberegning Globalt Scenario 1 og 2	129
Vedlegg 2 – Resultater fra globalt scenario 1	136
Vedlegg 3 – Resultater fra globalt scenario 2	140
Vedlegg 4 – Materialdata S355J2G3 (1.0570).....	150
Vedlegg 5 – Materialdata rustfritt stål (1.4404).....	151
Vedlegg 6 – Materialdata rustfritt stål (1.4401).....	152
Vedlegg 7 – Materialdata Aluminium 6082 - T6 (AW-Al-Si1MgMn)	153
Vedlegg 8 – Konseptskisser	154
Vedlegg 9 – Produksjonstegninger sammenstilling	159
Vedlegg 10 – Produksjonstegninger sammenføyde komponenter	160
Vedlegg 11 – Produksjonstegninger delkomponenter	164
Vedlegg 12 – Medforfatterdeklarasjon	172

Vedleggsfigurliste

Vedleggsfigur 1 – Kontaktflate mellom midtrør og strukturramme (Coincident).....	129
Vedleggsfigur 2 – Kontaktflate mellom topprør og strukturramme	129
Vedleggsfigur 3 – Kontaktflate mellom nedrør og strukturramme.....	130
Vedleggsfigur 4 – Kontaktflate mellom topplates låsemekanisme og strukturramme	130
Vedleggsfigur 5 – Kontaktflate mellom beinene og strukturramme.....	131
Vedleggsfigur 6 – Kontaktflate mellom topp festepunktet og topprør (toppstaget) (Coincident)	131
Vedleggsfigur 7 – Kontaktflate mellom traktor tilkoblingspunkt nede og topprør.....	132
Vedleggsfigur 8 – Kontaktflate mellom topplate og dens låsemekanisme	132
Vedleggsfigur 9 - Globalt og lokalt elementnettverk (Scenario 1)	133
Vedleggsfigur 10 – Globalt og lokalt elementnettverk (Scenario 2)	133
Vedleggsfigur 11 – Fastholding i Scenario 1	134
Vedleggsfigur 12 – Fastholding i Scenario 2	134
Vedleggsfigur 13 – Lastekonfigurasjon scenario 1	135
Vedleggsfigur 14 – Lastekonfigurasjon scenario 2	135
Vedleggsfigur 15 – Von Mises spenning S355J2G3 (Scenario 1).....	136
Vedleggsfigur 16 – Nedbøyning globalt S355J2G3 (Scenario 1).....	136
Vedleggsfigur 17 – Nedbøyning x-retning 355J2G3 (Scenario 1)	137
Vedleggsfigur 18 – Nedbøyning y-retning 355J2G3 (Scenario 1)	137
Vedleggsfigur 19 – Von Mises spenning Aluminium 6082-T6 (Scenario 1)	138
Vedleggsfigur 20 – Nedbøyning Aluminium 6082-T6 globalt (Scenario 1)	138
Vedleggsfigur 21 – Nedbøyning Aluminium 6082-T6 x-retning (Scenario 1).....	139
Vedleggsfigur 22 – Nedbøyning Aluminium 6082-T6 y-retning (Scenario 1).....	139
Vedleggsfigur 23 – Von Mises spenning S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon).....	140
Vedleggsfigur 24 – "Probing" i SW Simulations S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)...	140
Vedleggsfigur 25 – Nedbøyning globalt S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)	141
Vedleggsfigur 26 – Nedbøyning x-retning S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)	141
Vedleggsfigur 27 – Nedbøyning y-retning S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)	142
Vedleggsfigur 28 – Von Mises spenning Al 6082-T6 (Scenario 2 og akselerasjon).....	142
Vedleggsfigur 29 – "Probing" i SW Simulations Al 6082-T6 (Scenario 2 og akselerasjon). 143	
Vedleggsfigur 30 – Nedbøyning Al 6082-T6 globalt (Scenario 2 og akselerasjon).....	143
Vedleggsfigur 31 – Nedbøyning Al 6082-T6 x-retning (Scenario 2 og akselerasjon)	144
Vedleggsfigur 32 – Nedbøyning Al 6082-T6 y-retning (Scenario 2 og akselerasjon)	144
Vedleggsfigur 33 – Von Mises spenning S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)	145
Vedleggsfigur 34 – "Probing" i SW Simulations S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)..	145
Vedleggsfigur 35 – Nedbøyning globalt S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)	146
Vedleggsfigur 36 – Nedbøyning x-retning S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing).....	146
Vedleggsfigur 37 – Nedbøyning y-retning S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing).....	147
Vedleggsfigur 38 – Von Mises spenning Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)	147
Vedleggsfigur 39 – "Probing" i SW Simulations Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing) 148	
Vedleggsfigur 40 – Nedbøyning globalt Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)	148
Vedleggsfigur 41 – Nedbøyning x-retning Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)	149

Vedleggsfigur 42 – Nedbøyning y-retning Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)	149
Vedleggsfigur 43 – Strukturramme (Konsept)	154
Vedleggsfigur 44 – Midtre rør (Konsept)	155
Vedleggsfigur 45 – Topp- og bunnrør (Konsept).....	155
Vedleggsfigur 46 – Sideplate (Konsept)	156
Vedleggsfigur 47 – Toppstag (Konsept)	156
Vedleggsfigur 48 – Støtteben (Konsept).....	157
Vedleggsfigur 49 – Topplate (Konsept).....	157
Vedleggsfigur 50 – Låsemekanisme for topplate (Konsept).....	157
Vedleggsfigur 51 – Sammenstilling (Konsept)	158
Vedleggsfigur 52 – Produksjonstegning (Sammenstilling)	159
Vedleggsfigur 53 – Produksjonstegning (Støtteben og strukturramme sveis).....	160
Vedleggsfigur 54 – Produksjonstegning (Midtre rør og sideplate sveis).....	161
Vedleggsfigur 55 – Produksjonstegning (Topplate og låsemekanisme).....	162
Vedleggsfigur 56 – Produksjonstegning (Toppør og toppstag sveis).....	163
Vedleggsfigur 57– Produksjonstegning (Strukturramme)	164
Vedleggsfigur 58 – Produksjonstegning (Midtre rør)	165
Vedleggsfigur 59 – Produksjonstegning (Ytre sideplate)	166
Vedleggsfigur 60 – Produksjonstegning (Topp- og bunnrør)	167
Vedleggsfigur 61 – Produksjonstegning (Toppstag).....	168
Vedleggsfigur 62 – Produksjonstegning (Støtteben)	169
Vedleggsfigur 63 – Produksjonstegning (Topplate)	170
Vedleggsfigur 64 – Produksjonstegning (Låsemekanisme).....	171

Vedleggstabelliste

Vedleggtabell 1 – Kjemisk sammensetting for konstruksjonsstål (1.0570).....	150
Vedleggtabell 2 – Mekaniske egenskaper for konstruksjonsstål (1.0570).....	150
Vedleggtabell 3 – Fysiske egenskaper for konstruksjonsstål (1.0570).....	150
Vedleggtabell 4 – Kjemisk sammensetting for rustfritt stål (1.4404)	151
Vedleggtabell 5 – Mekaniske egenskaper for rustfritt stål (1.4404)	151
Vedleggtabell 6 – Fysiske egenskaper for rustfritt stål (1.4404)	151
Vedleggtabell 7 – Kjemisk sammensetting for rustfritt stål (1.4401)	152
Vedleggtabell 8 – Mekaniske egenskaper for rustfritt stål (1.4401)	152
Vedleggtabell 9 – Fysiske egenskaper for rustfritt stål (1.4401)	152
Vedleggtabell 10 – Kjemisk sammensetting for Aluminium (6082 - T6)	153
Vedleggtabell 11 – Mekaniske egenskaper for Aluminium (6082 - T6)	153
Vedleggtabell 12 – Fysiske egenskaper for Aluminium (6082 - T6).....	153

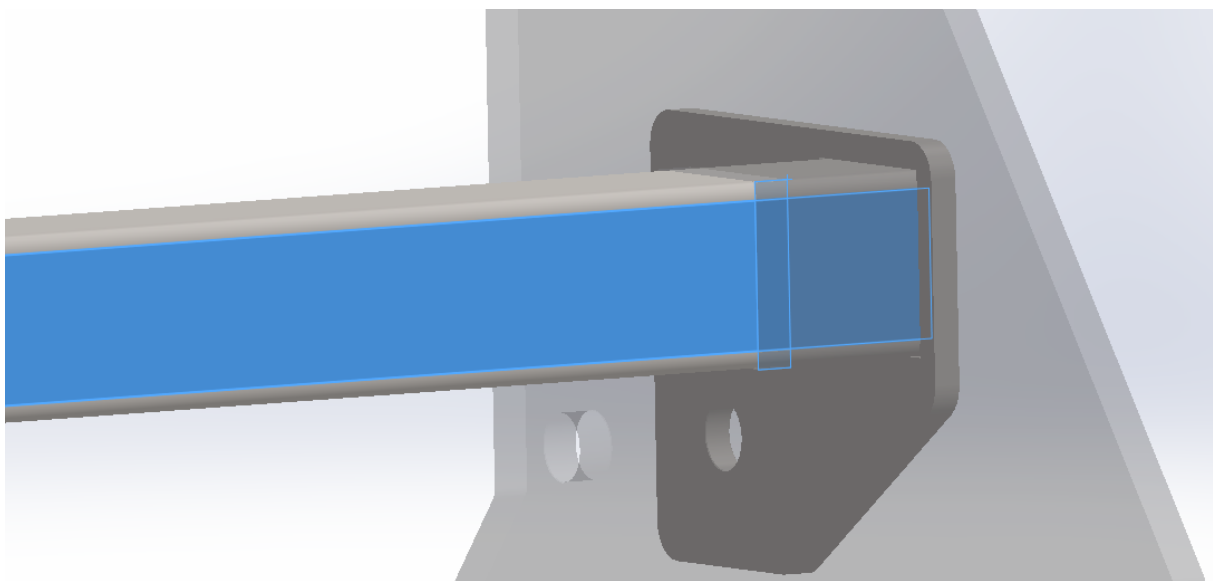
Vedlegg 1 – Elementberegning Globalt Scenario 1 og 2

Analyseinnstillinger

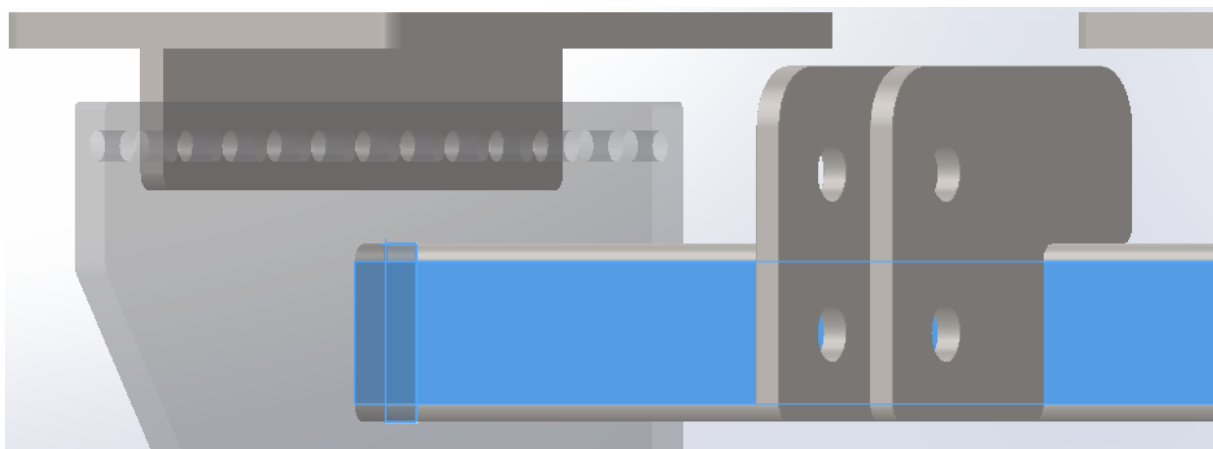
For analysestrukturen av alle scenarioer er det betinget en lineær modell, og at belastningene påføres gradvis og sakte inntil konstruksjonen er fullstendig belastet. Det er antatt en konstant belastning, uten endring av geometri.

Kontaktkonfigurasjon

For analysen er det benyttet en sammenstilt modell fra hver delkomponent, og kontakttypene mellom delkomponentene har vært Coincident og Distance.



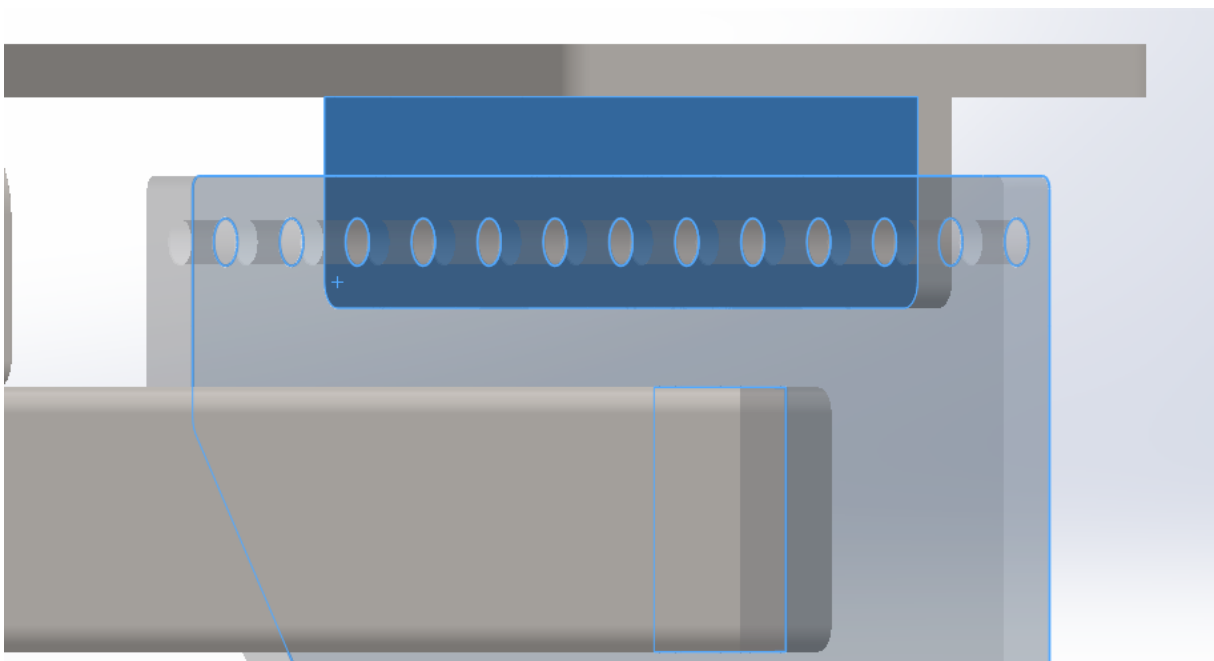
Vedleggsfigur 1 – Kontaktflate mellom midtrør og strukturnamme (Coincident)
Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.



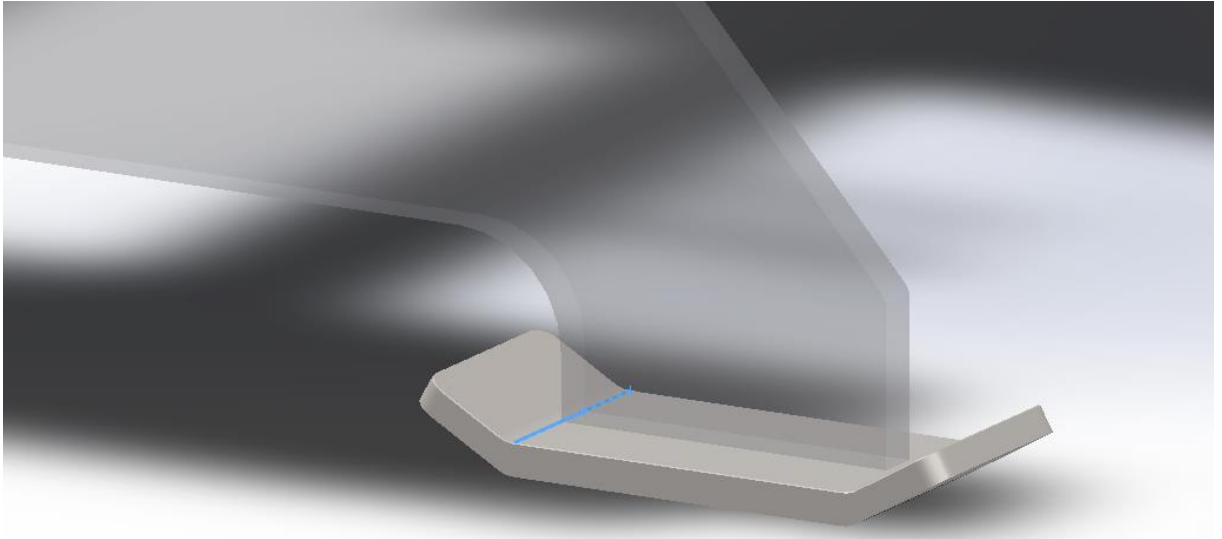
Vedleggsfigur 2 – Kontaktflate mellom topprør og strukturnamme
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.



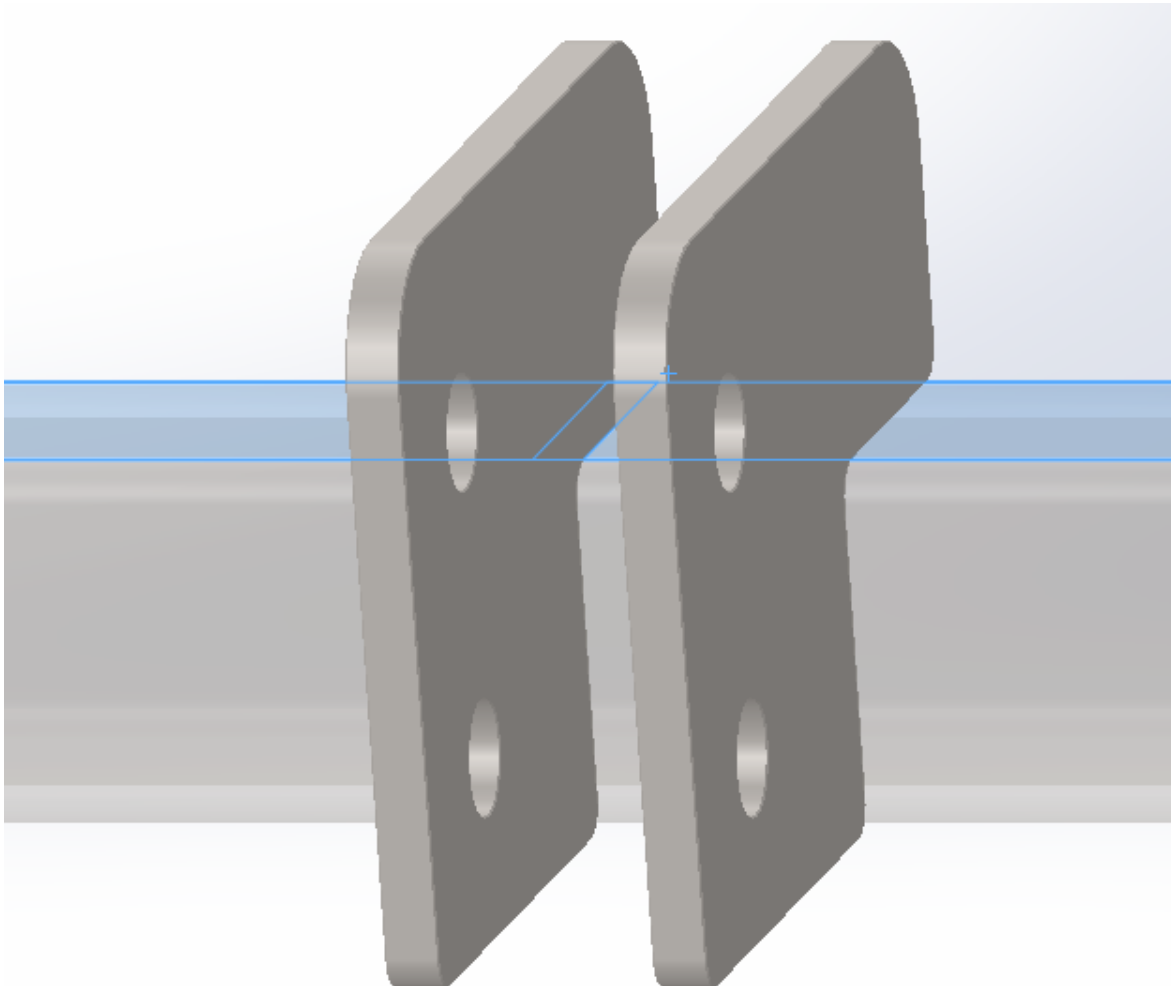
Vedleggsfigur 3 – Kontaktflate mellom nedrerør og strukturnamme
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.



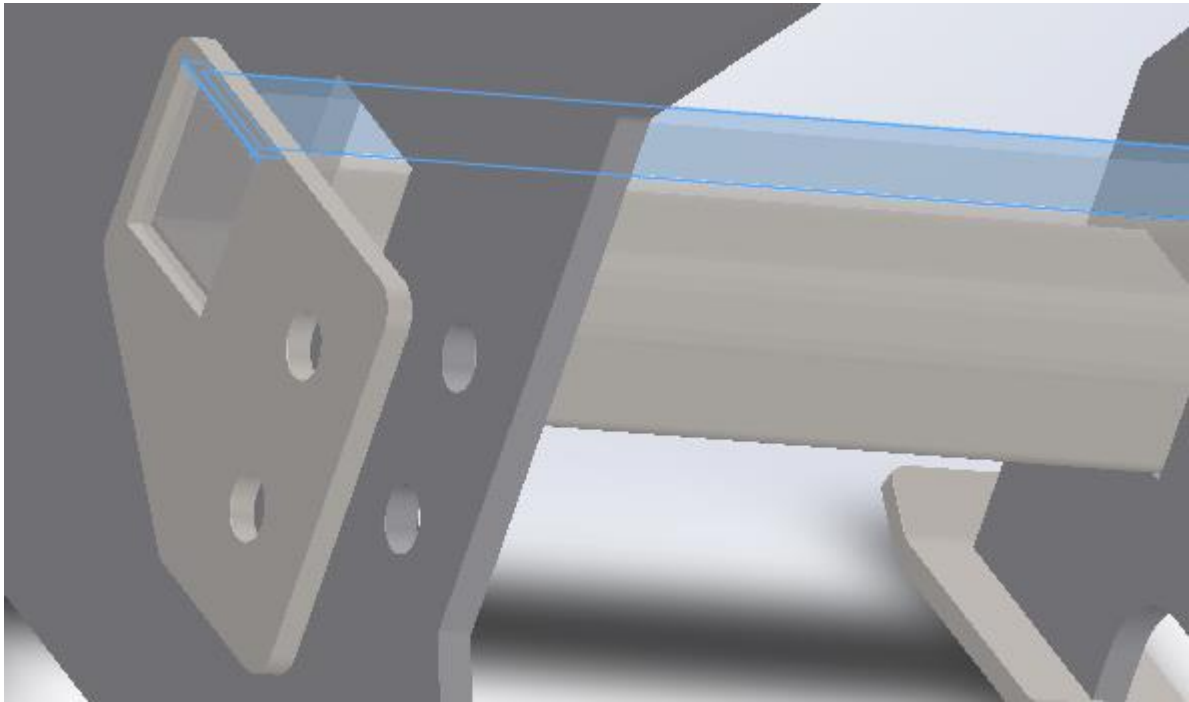
Vedleggsfigur 4 – Kontaktflate mellom topplates låsemekanisme og strukturnamme
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er boltet fast.



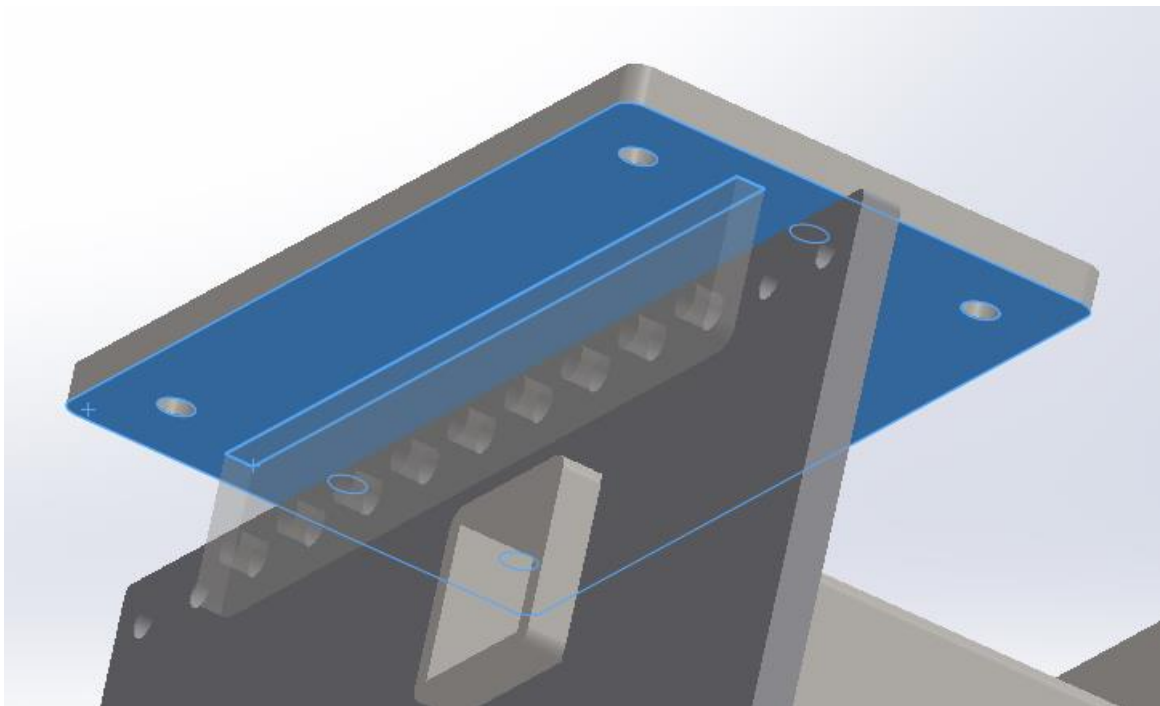
Vedleggsfigur 5 – Kontaktflate mellom beinene og strukturramme
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.



Vedleggsfigur 6 – Kontaktflate mellom topp festepunktet og topprør (toppstaget) (Coincident)
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.



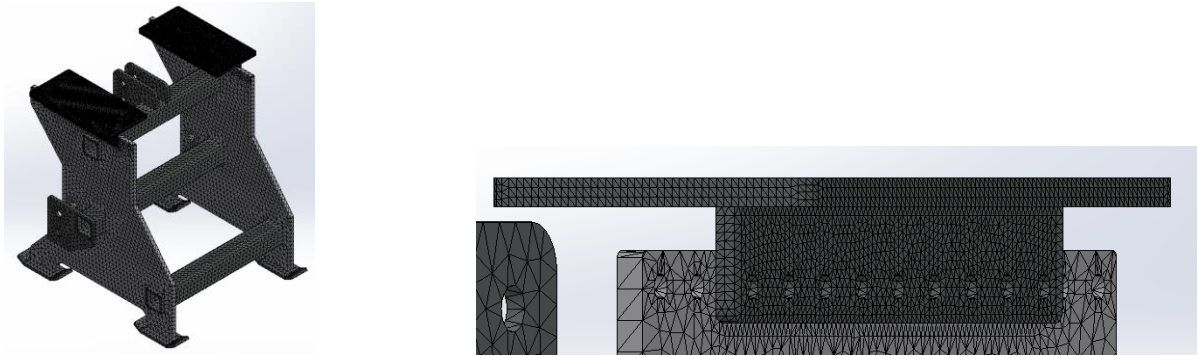
Vedleggsfigur 7 – Kontaktflate mellom traktor tilkoblingspunkt nede og topprør
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.



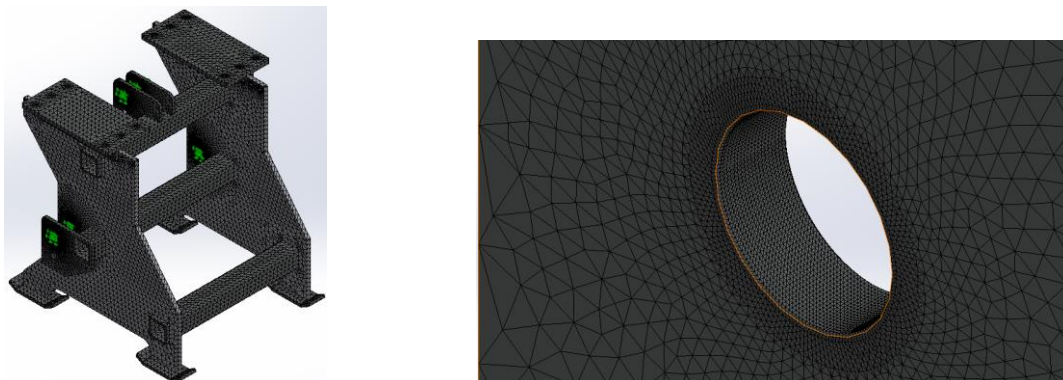
Vedleggsfigur 8 – Kontaktflate mellom topplate og dens låsemekanisme
Coincident – Denne kontaktflaten vil betegne at komponentene er sveist sammen.

Elementnettverk

I både scenario 1 og 2 er det globale elementnettverket satt til 22.50 mm. For både scenario 1 og 2 er det gjort lokale justeringer av elementnettverket. I scenario 1 var den lokale justeringen for topplaten og dens låsemekanisme, elementnettverket i dette området ble forfinet til 6 mm. I scenario 2 var den lokale justeringen for boltehullene på braketten som brukes til forbindelse for traktoren, her ble elementnettverket forfinet til 0,75 mm.



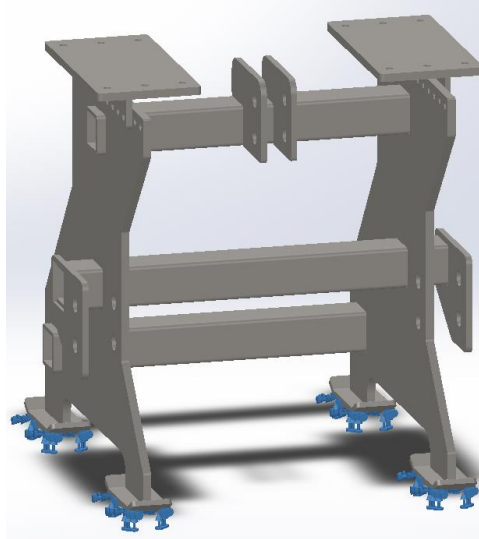
Vedleggsfigur 9 - Globalt og lokalt elementnettverk (Scenario 1)



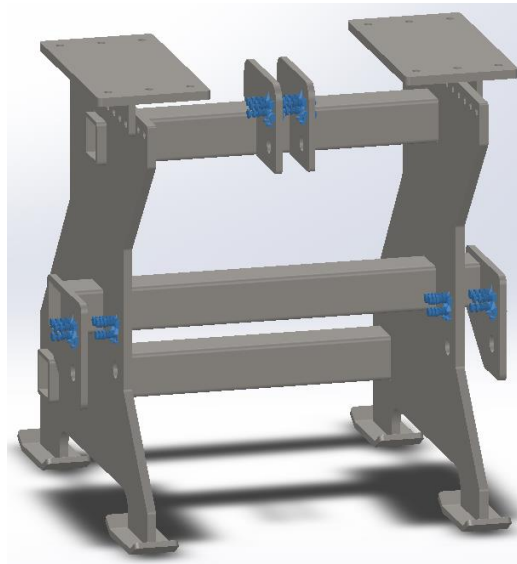
Vedleggsfigur 10 – Globalt og lokalt elementnettverk (Scenario 2)

Fastholdelseskonfigurasjon

Fastholdelse for begge scenarioene var Fixed Geometry. Denne type fastholdelse vil ikke gi mulighet for bevegelse. I scenario 1 var fastholdelse gjort under beinene til braketten, for å simulere den frittstående på bakken. I scenario 2 var fastholdelse i boltehullene som brukes for tilkobling til traktor, dette var for å simulere bolteforbindelse mens braketten er i bevegelse med traktor som trekkvogn.



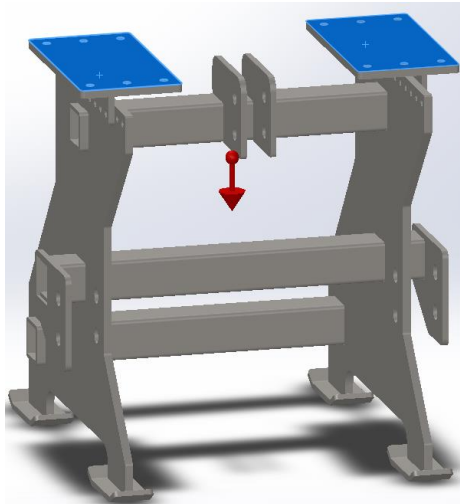
Vedleggsfigur 11 – Fastholding i Scenario 1



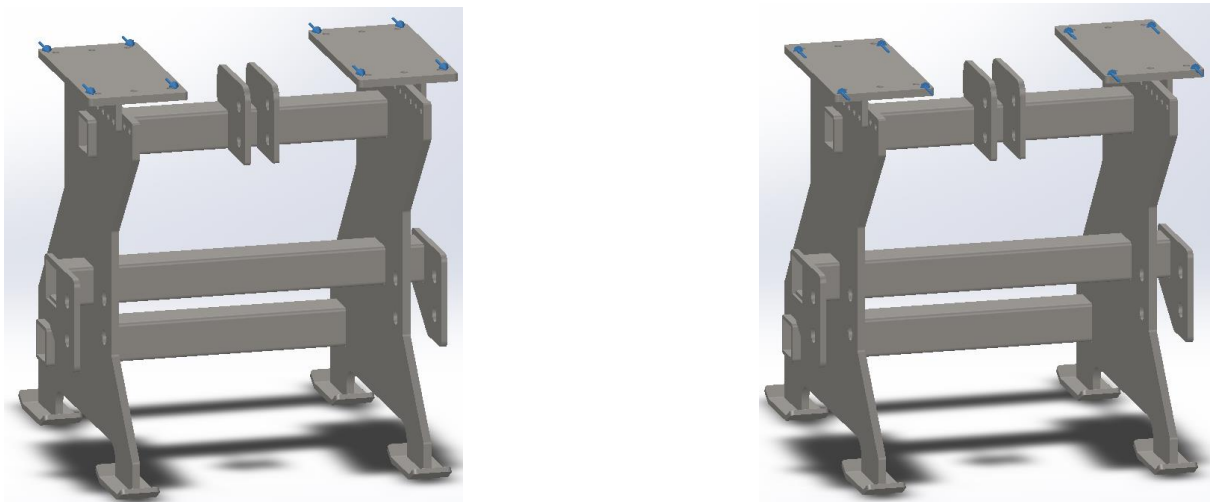
Vedleggsfigur 12 – Fastholding i Scenario 2

Lastekonfigurasjon

I scenario 1 ble fordelt vekt benyttet. En vekt på 6000 kg ble fordelt på hver av topplatene. I scenario 2 ble det benyttet kraft og kraftvektorer for simulering. Kraften var utregnet fra D-verdien, og ble 59 kN. Denne ble fordelt på hver topplate i horisontalretning, og dette utgjorde dermed 29.5 kN for hver topplate. Scenario 2 var beregnet i to omganger når trekkvognen akselererer og med nedbremsing. Dette gir to kraftretninger avhengig av kjøretilstanden.



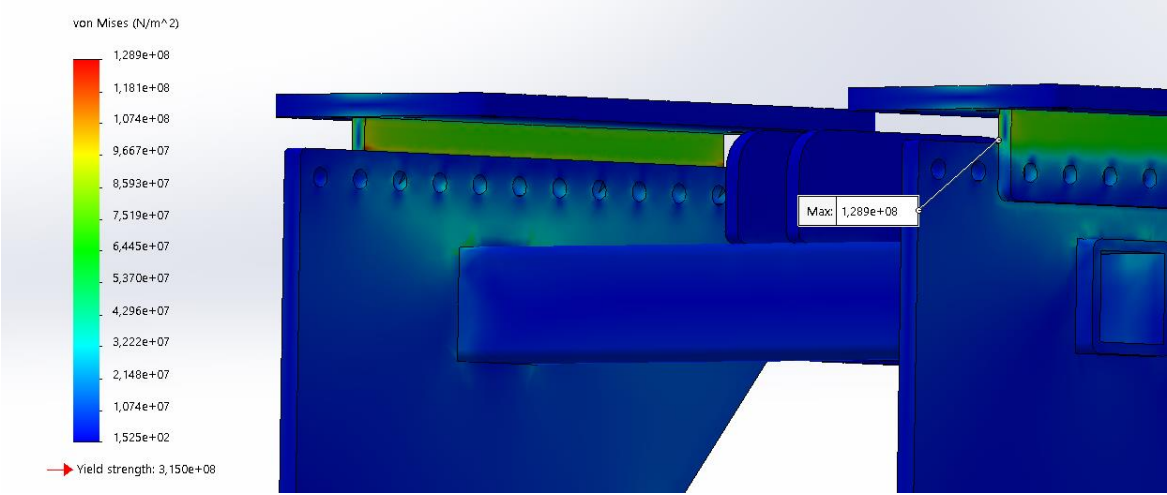
Vedleggsfigur 13 – Lastekonfigurasjon scenario 1



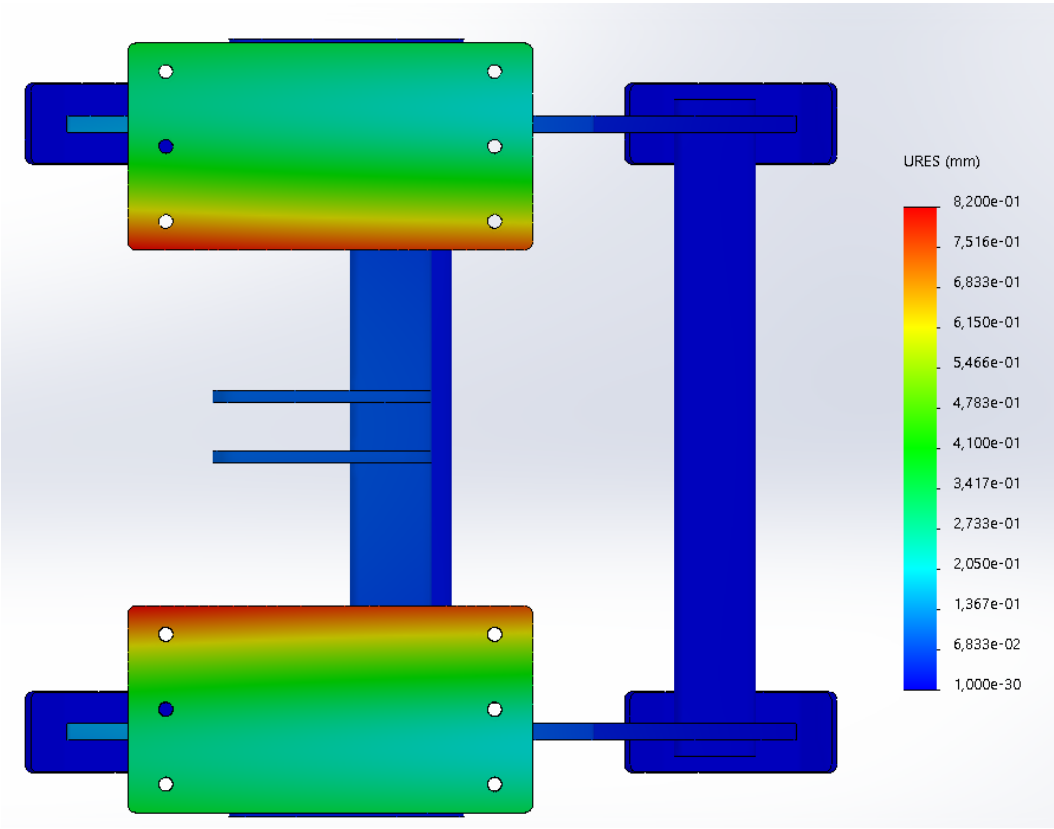
Vedleggsfigur 14 – Lastekonfigurasjon scenario 2

Vedlegg 2 – Resultater fra globalt scenario 1

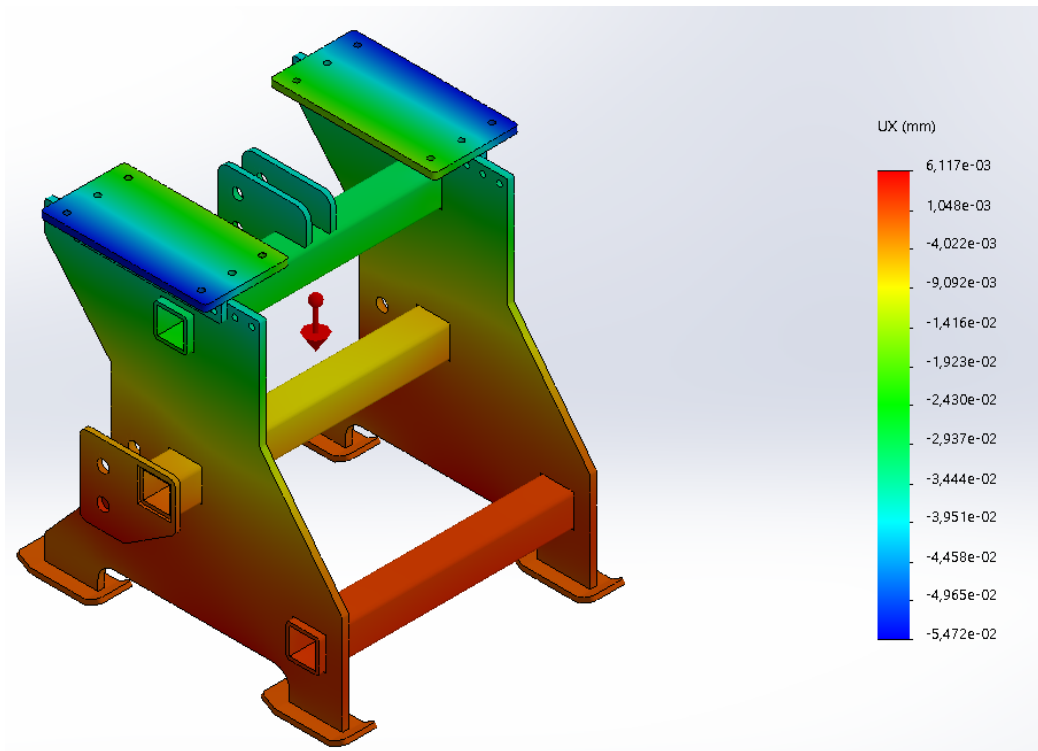
S355J2G3 – 1.0570



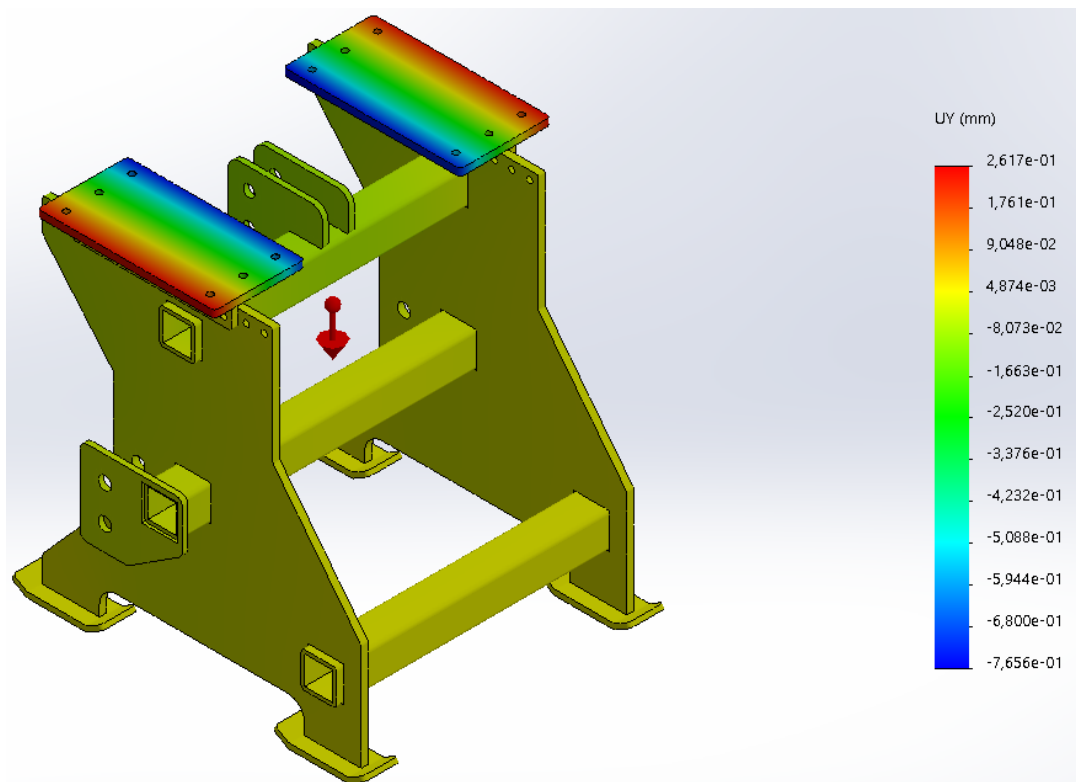
Vedleggsfigur 15 – Von Mises spenning S355J2G3 (Scenario 1)



Vedleggsfigur 16 – Nedbøyning globalt S355J2G3 (Scenario 1)

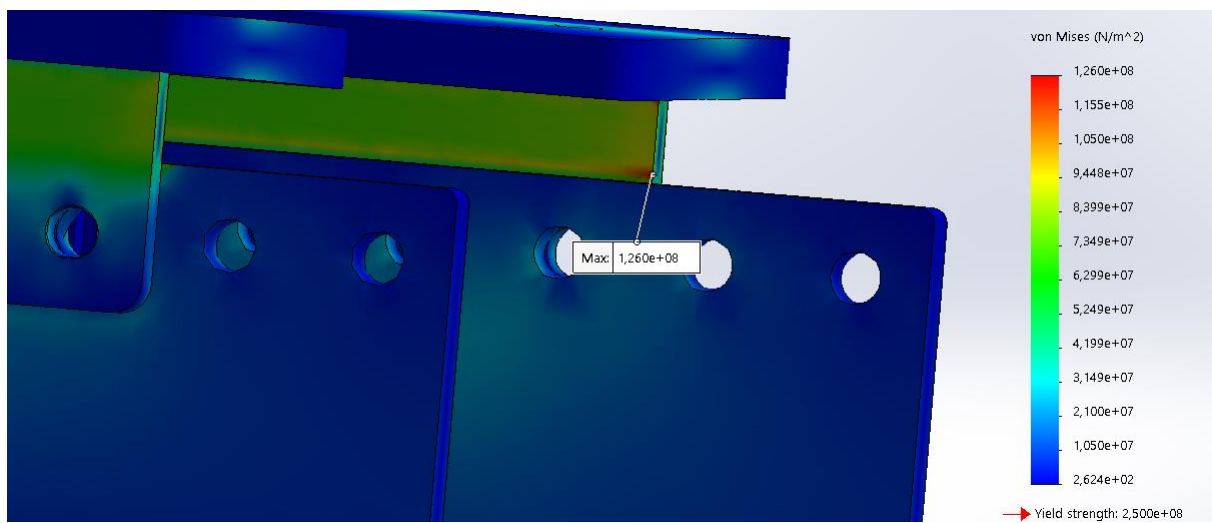


Vedleggsfigur 17 – Nedbøyning x-retning 355J2G3 (Scenario 1)

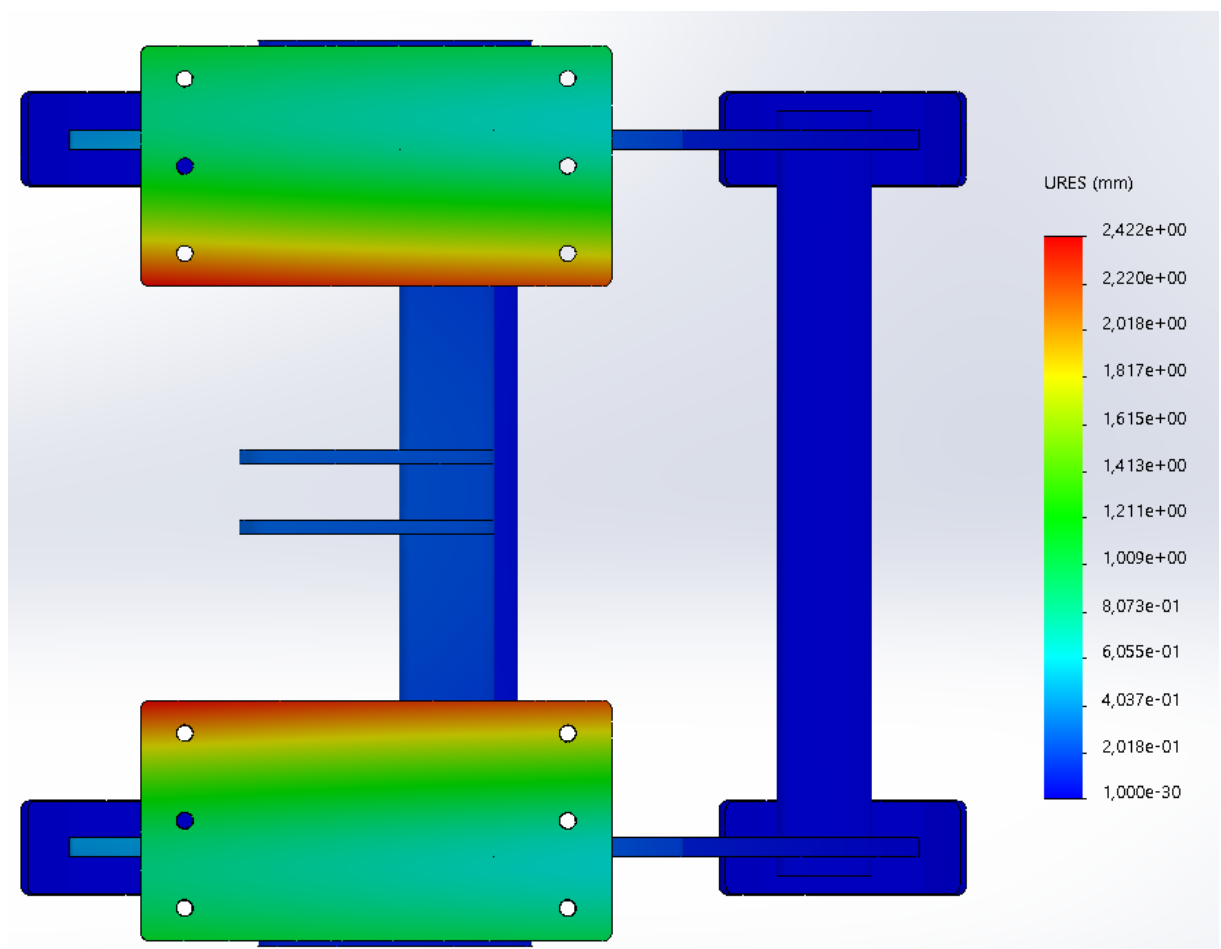


Vedleggsfigur 18 – Nedbøyning y-retning 355J2G3 (Scenario 1)

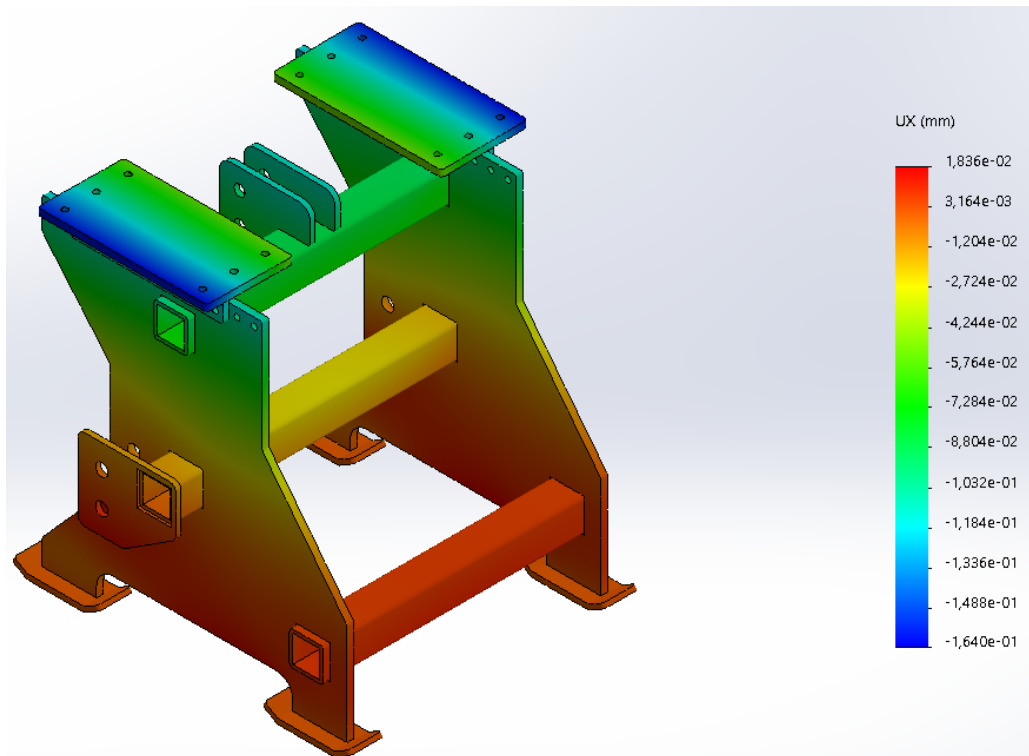
Aluminium 6082 - T6



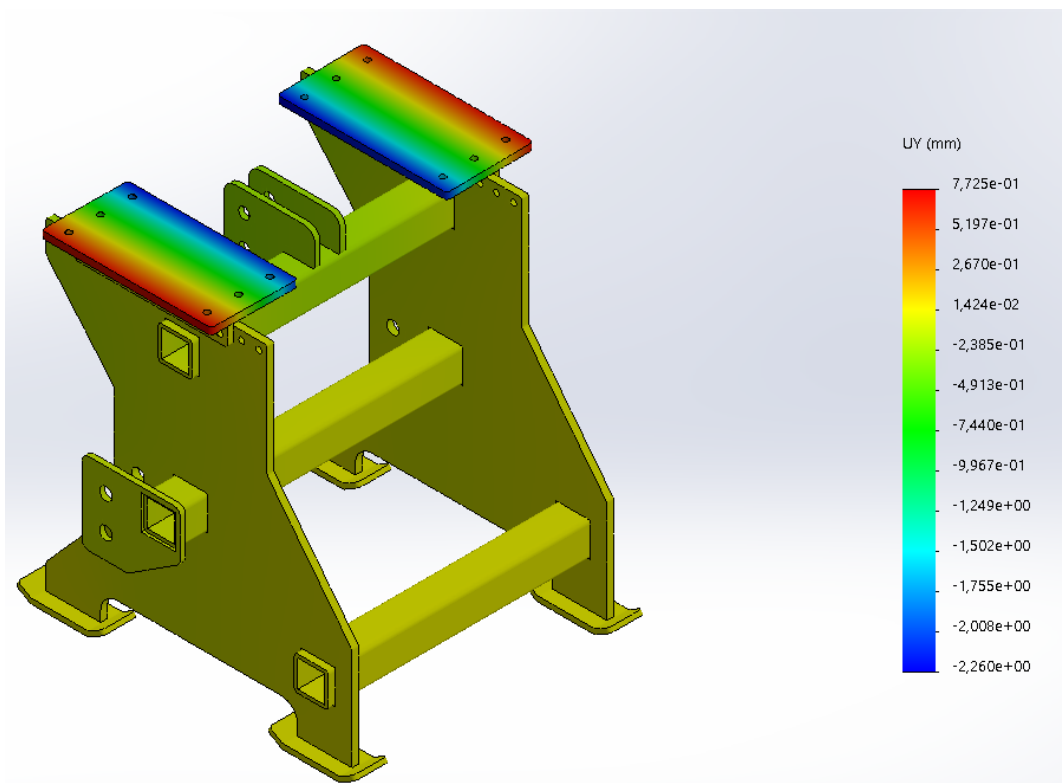
Vedleggsfigur 19 – Von Mises spenning Aluminium 6082-T6 (Scenario 1)



Vedleggsfigur 20 – Nedbøyning Aluminium 6082-T6 globalt (Scenario 1)



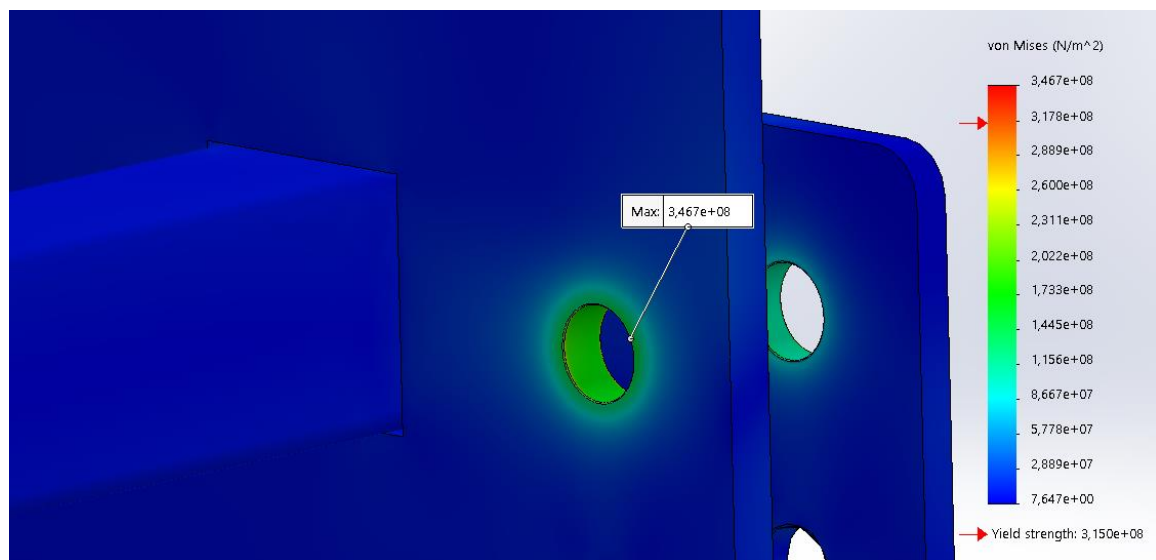
Vedleggsfigur 21 – Nedbøyning Aluminium 6082-T6 x-retning (Scenario 1)



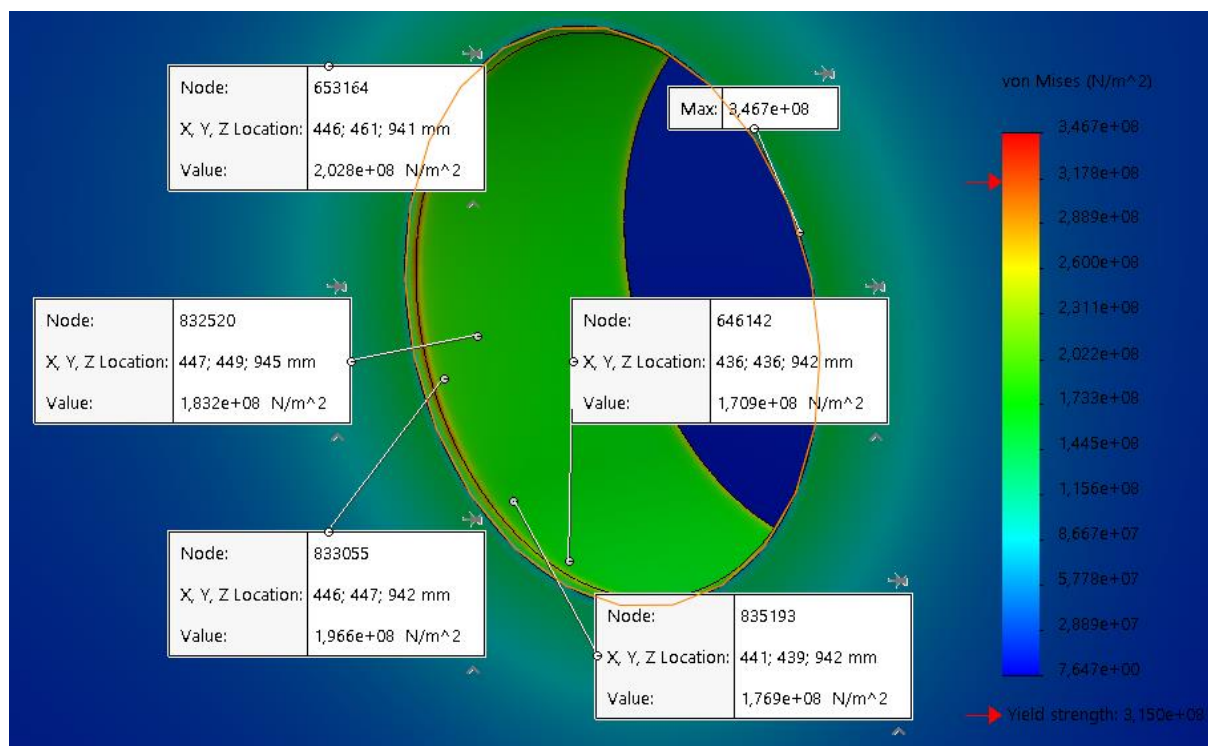
Vedleggsfigur 22 – Nedbøyning Aluminium 6082-T6 y-retning (Scenario 1)

Vedlegg 3 – Resultater fra globalt scenario 2

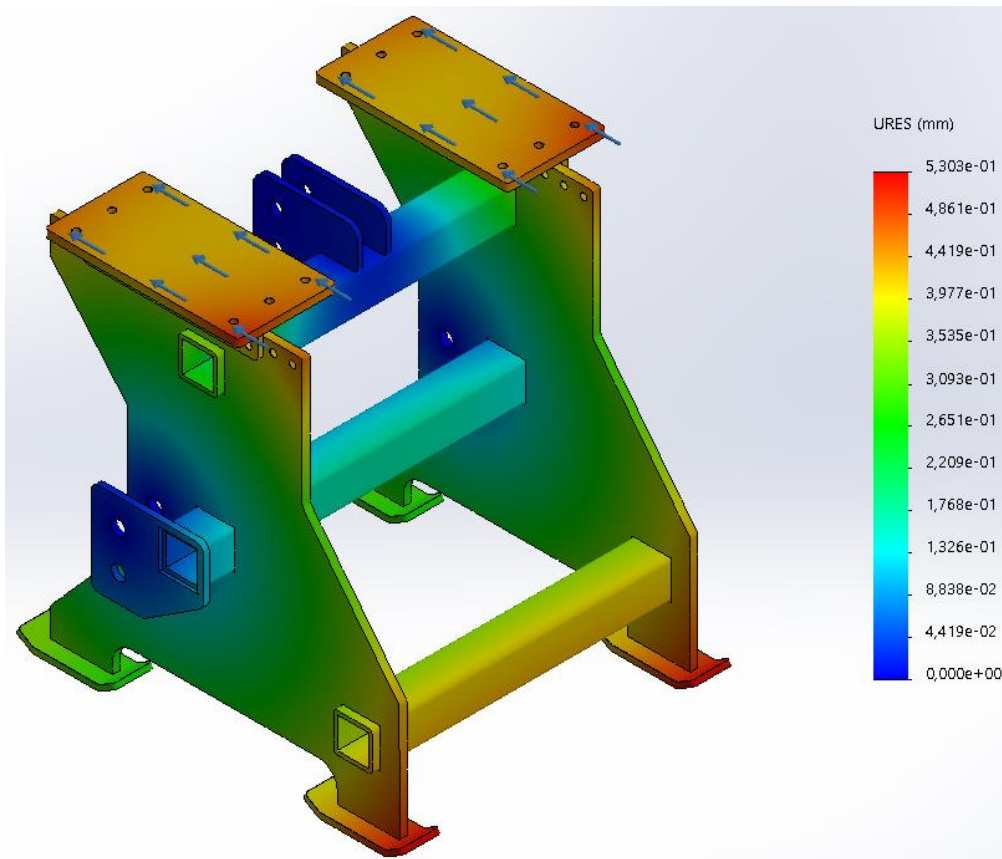
S355J2G3 – 1.0570: Akselerasjon



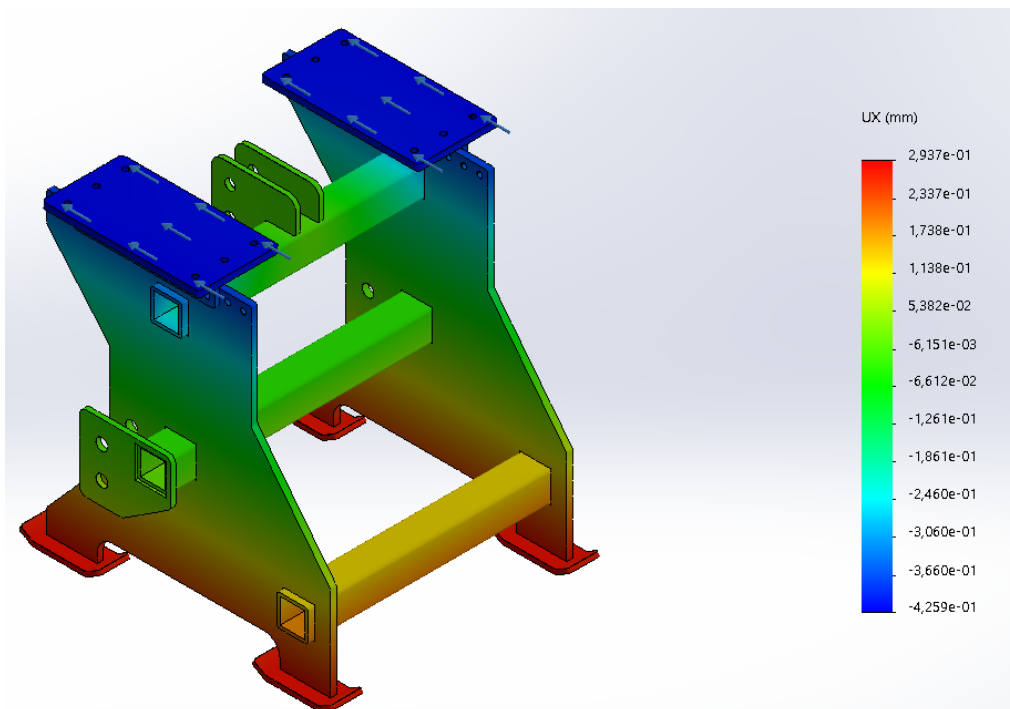
Vedleggsfigur 23 – Von Mises spenning S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)



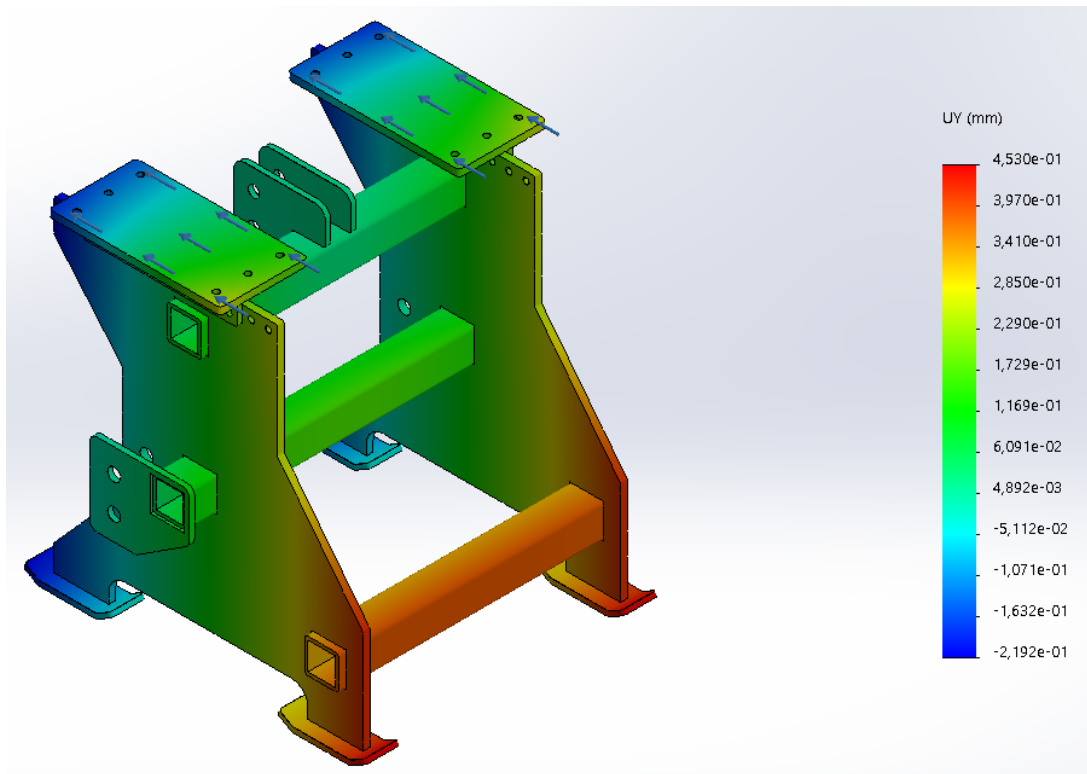
Vedleggsfigur 24 – "Probing" i SW Simulations S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)
Viser opptredendekraft er omtrentlig 210 MPa



Vedleggsfigur 25 – Nedbøyning globalt S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)

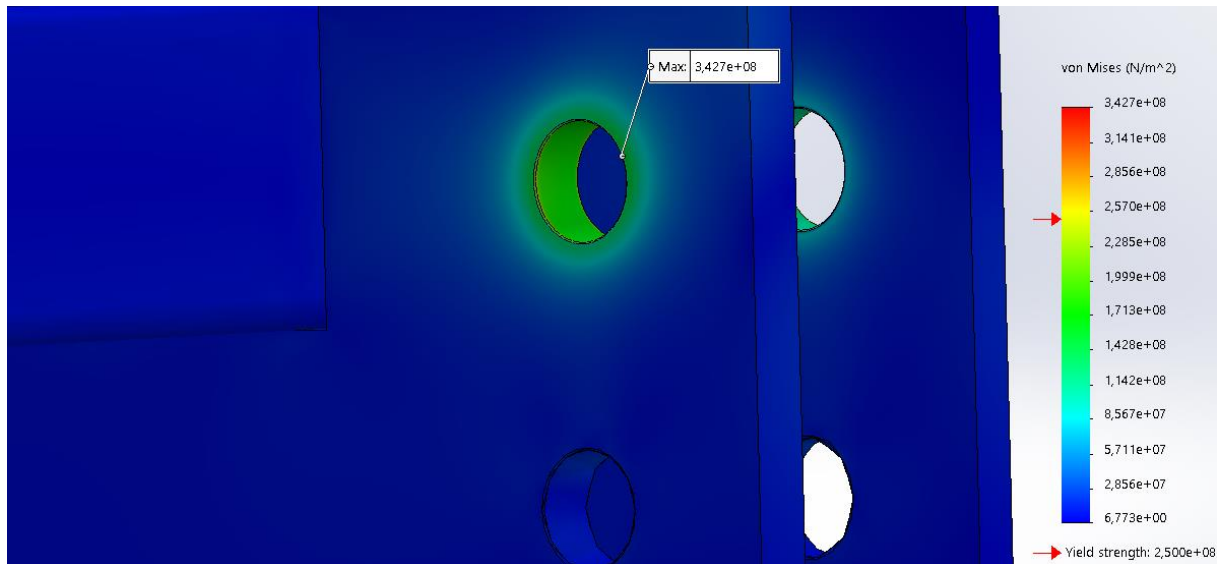


Vedleggsfigur 26 – Nedbøyning x-retning S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)

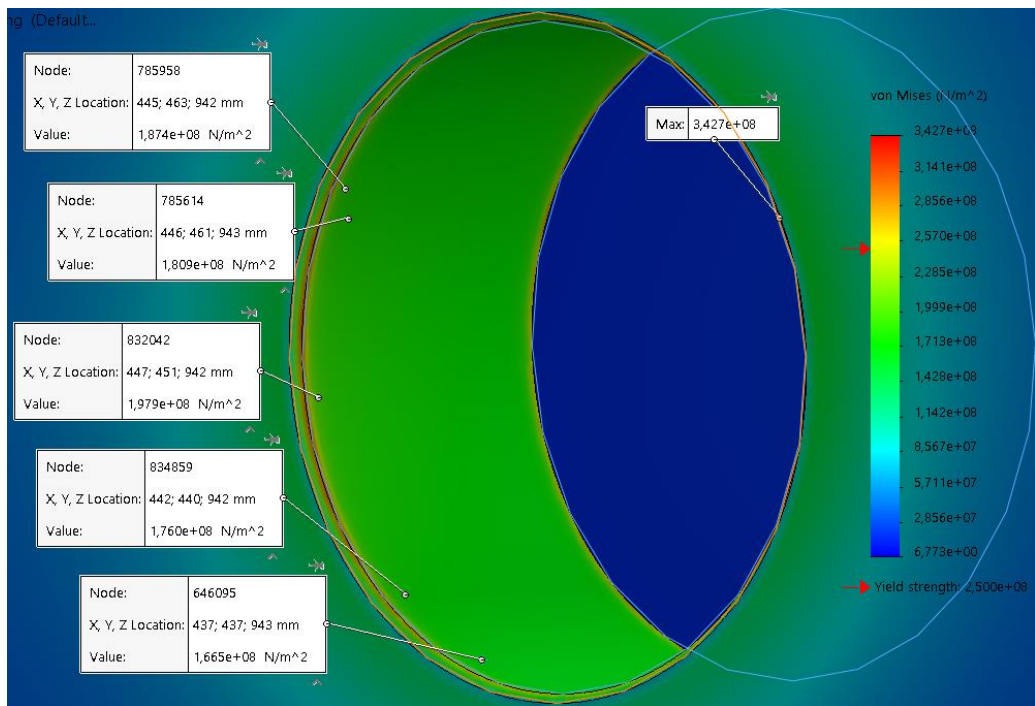


Vedleggsfigur 27 – Nedbøyning y-retning S355J2G3 (Scenario 2 og akselerasjon)

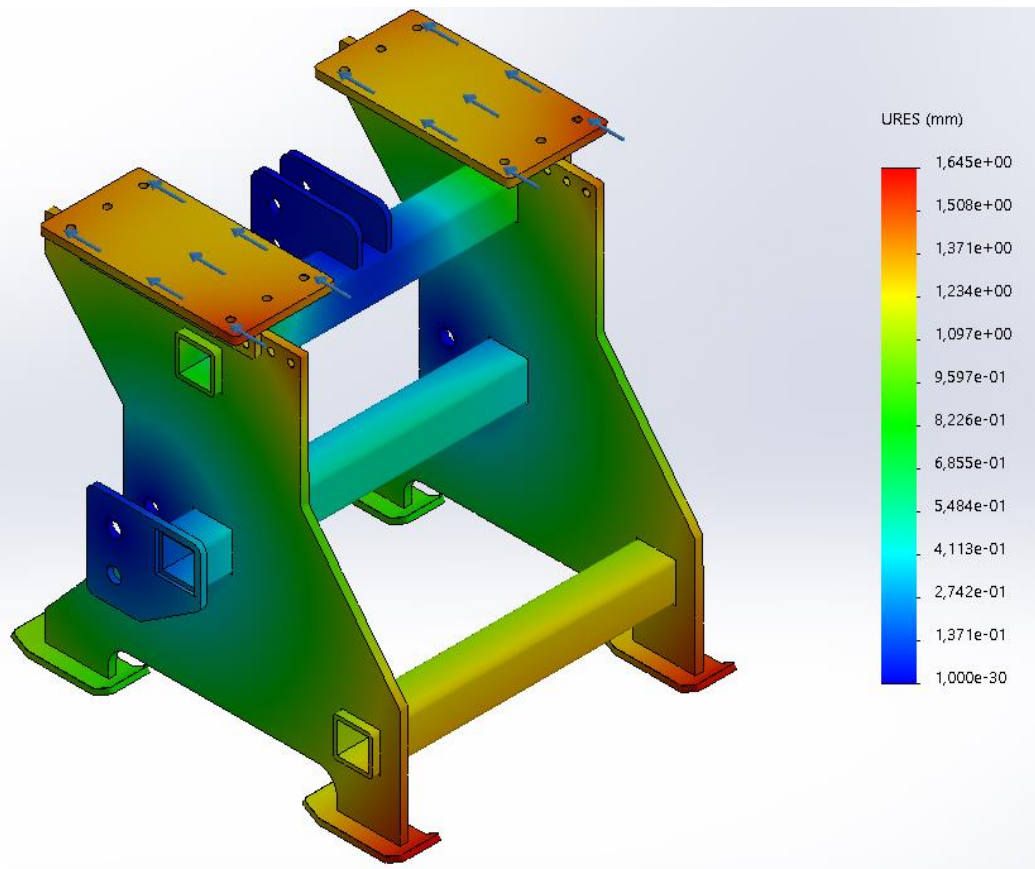
Aluminium 6082 - T6: Akselerasjon



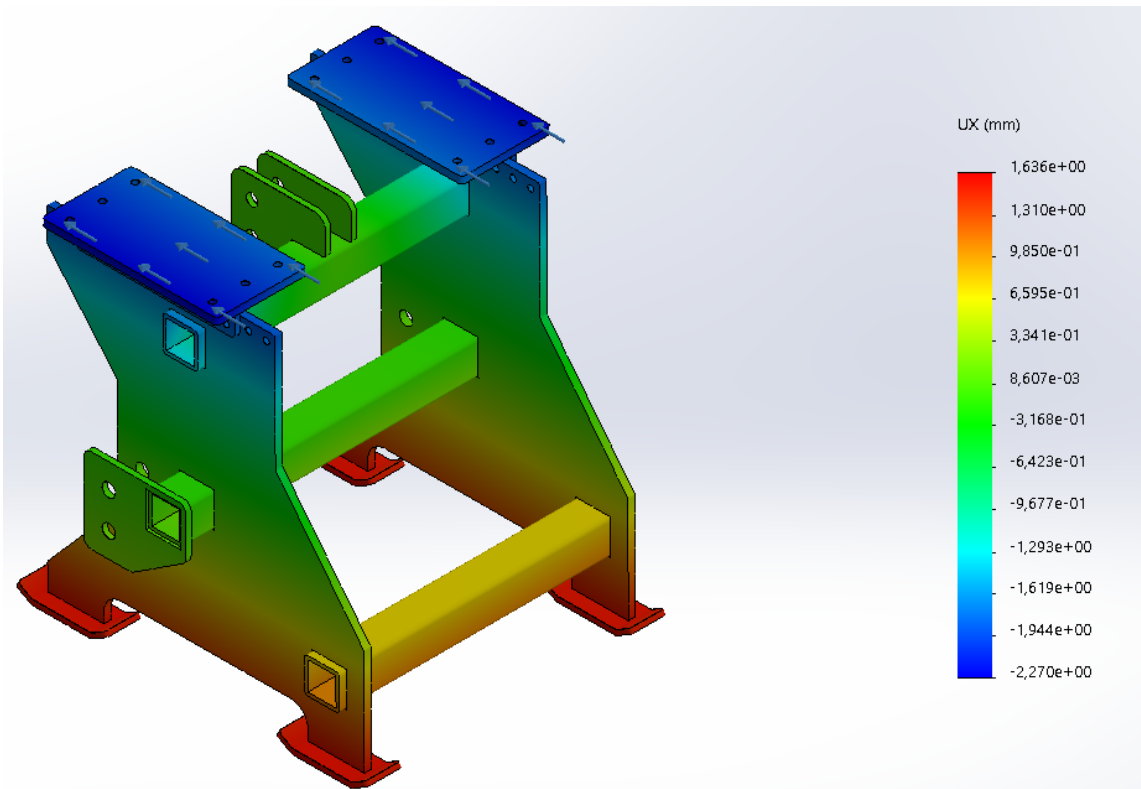
Vedleggsfigur 28 – Von Mises spenning Al 6082-T6 (Scenario 2 og akselerasjon)



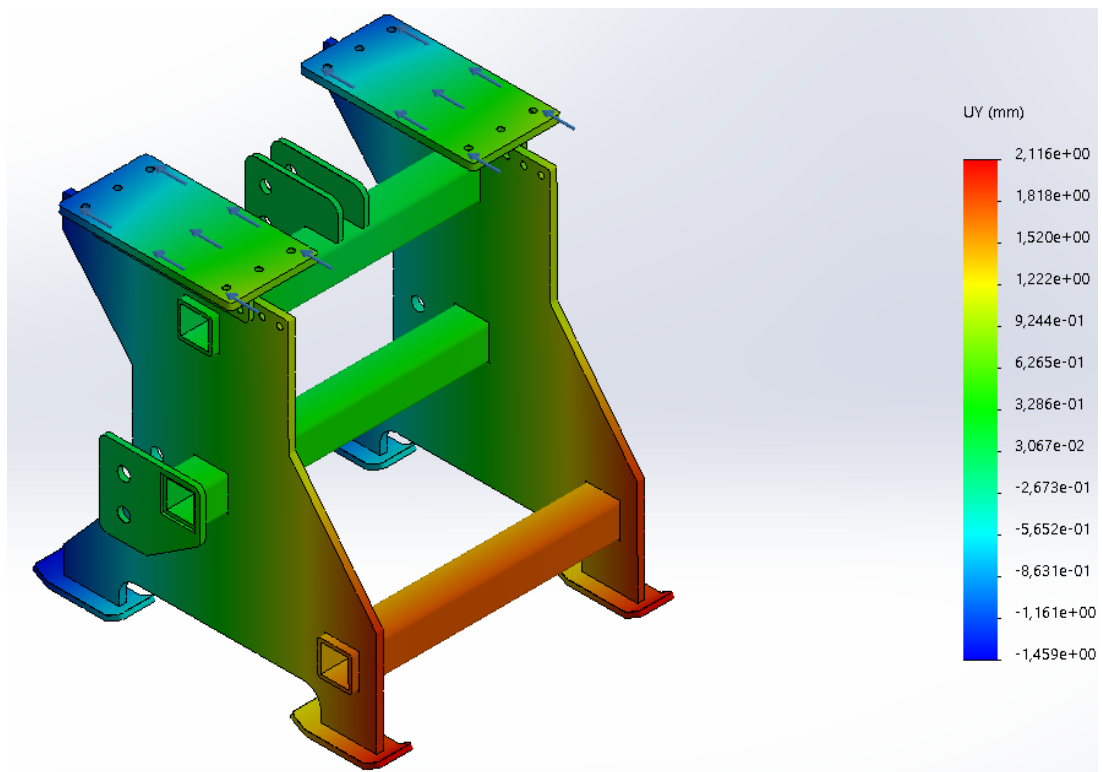
Vedleggsfigur 29 – "Probing" i SW Simulations Al 6082-T6 (Scenario 2 og akselerasjon)
 Viser opprettedekraft er omtrentlig 210 MPa



Vedleggsfigur 30 – Nedbøyning Al 6082-T6 globalt (Scenario 2 og akselerasjon)

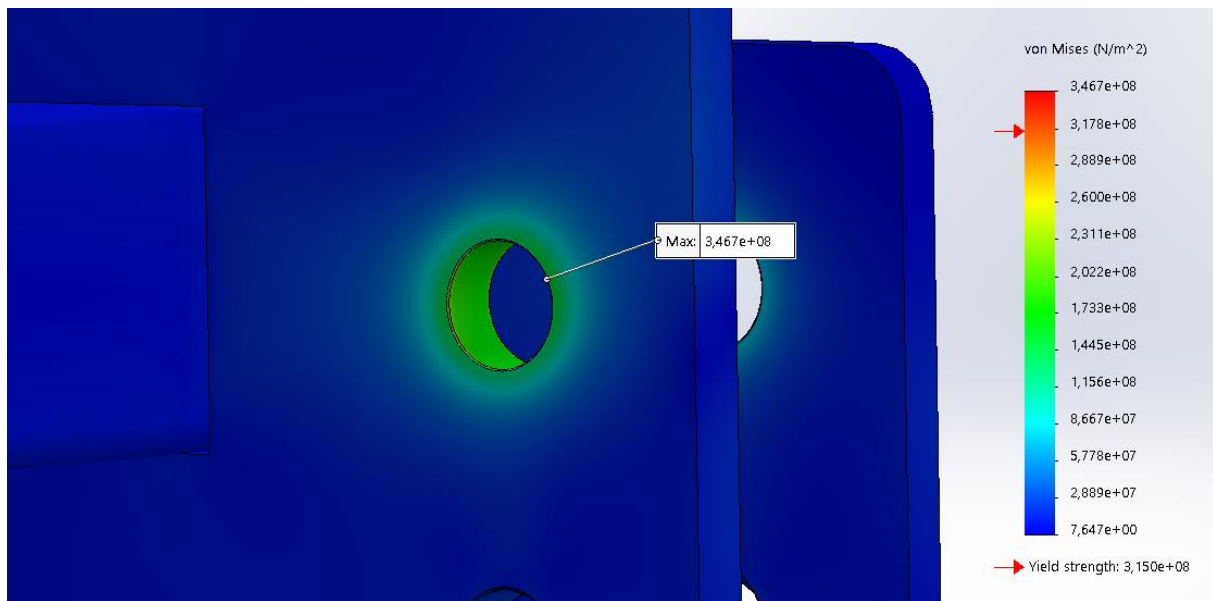


Vedleggsfigur 31 – Nedbøyning Al 6082-T6 x-retning (Scenario 2 og akselerasjon)

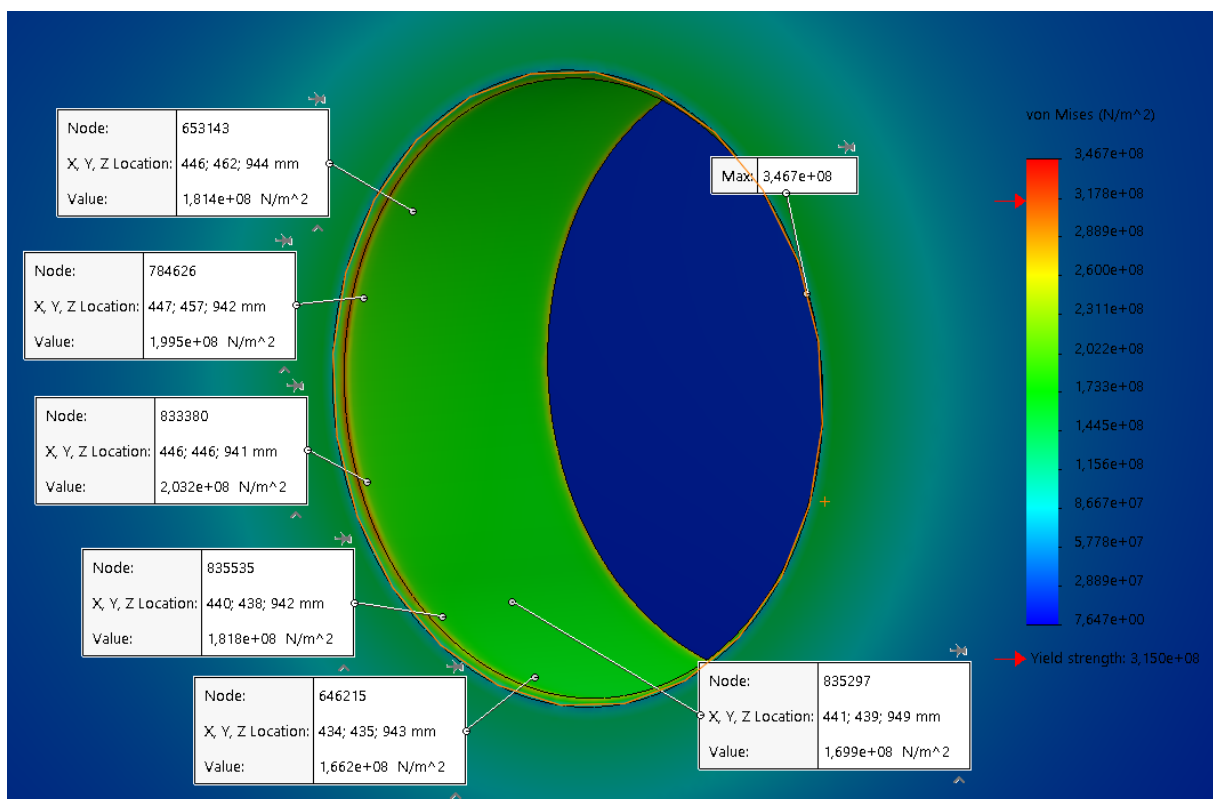


Vedleggsfigur 32 – Nedbøyning Al 6082-T6 y-retning (Scenario 2 og akselerasjon)

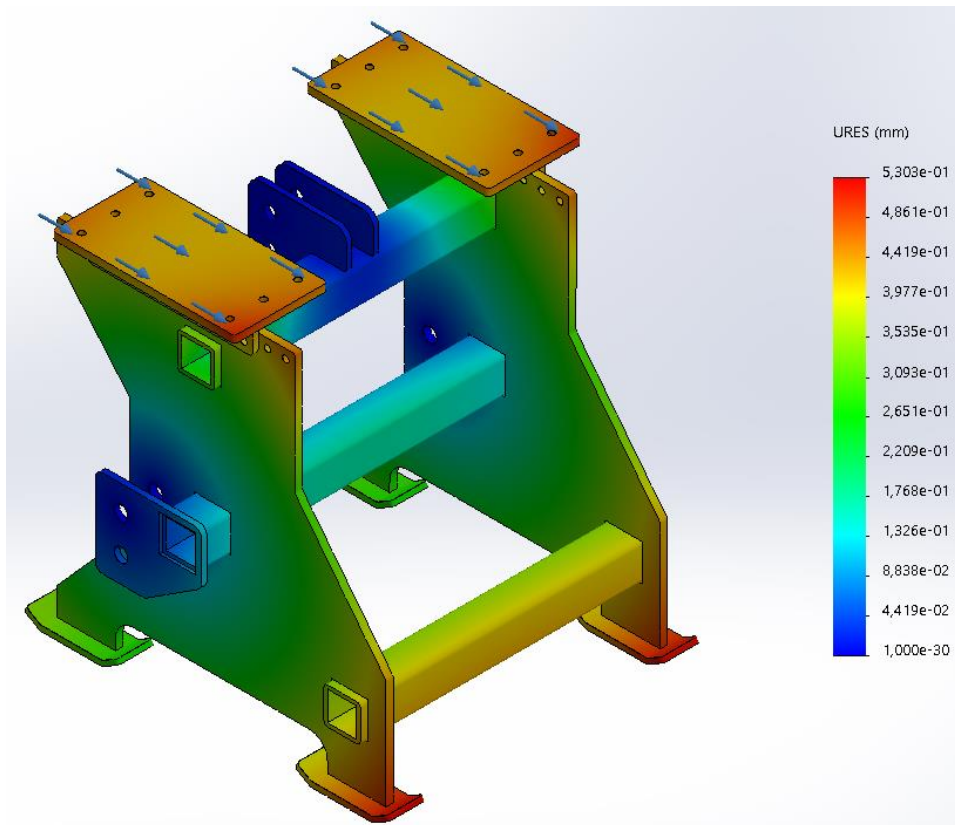
S355J2G3 – 1.0570: Nedbremsing



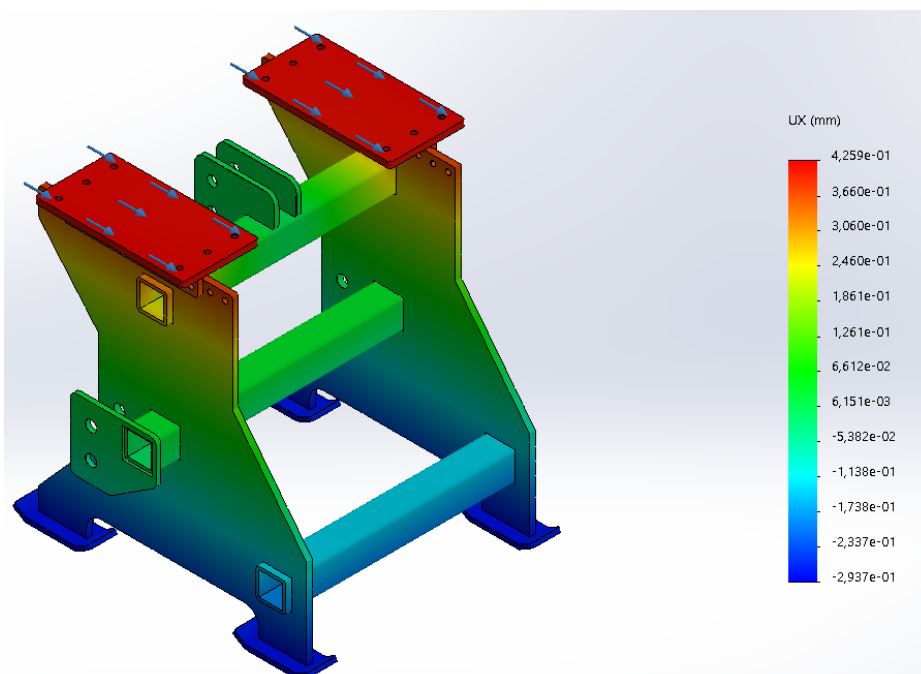
Vedleggsfigur 33 – Von Mises spenning S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)



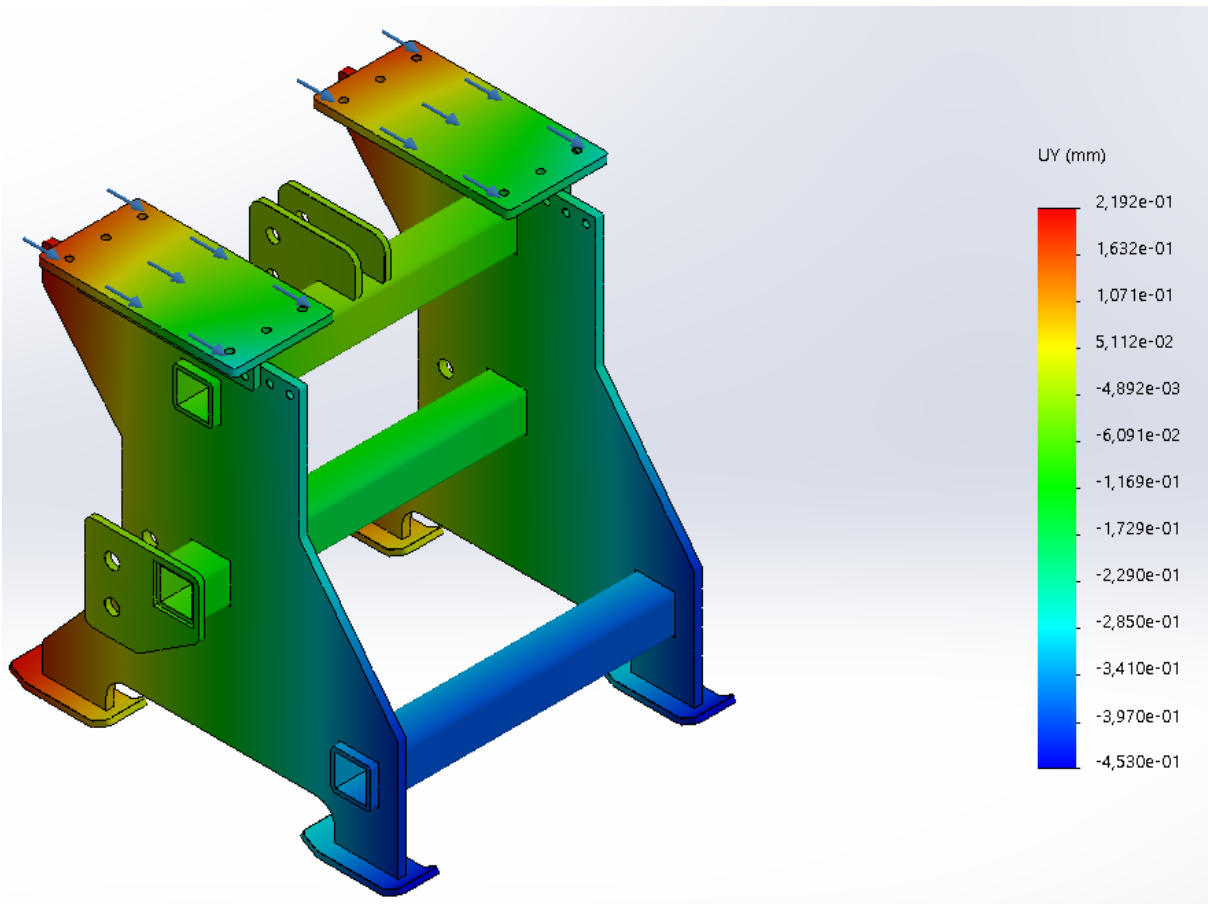
Vedleggsfigur 34 – "Probing" i SW Simulations S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)
Viser opptredendekraft er omtrentlig 210 MPa



Vedleggsfigur 35 – Nedbøyning globalt S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)

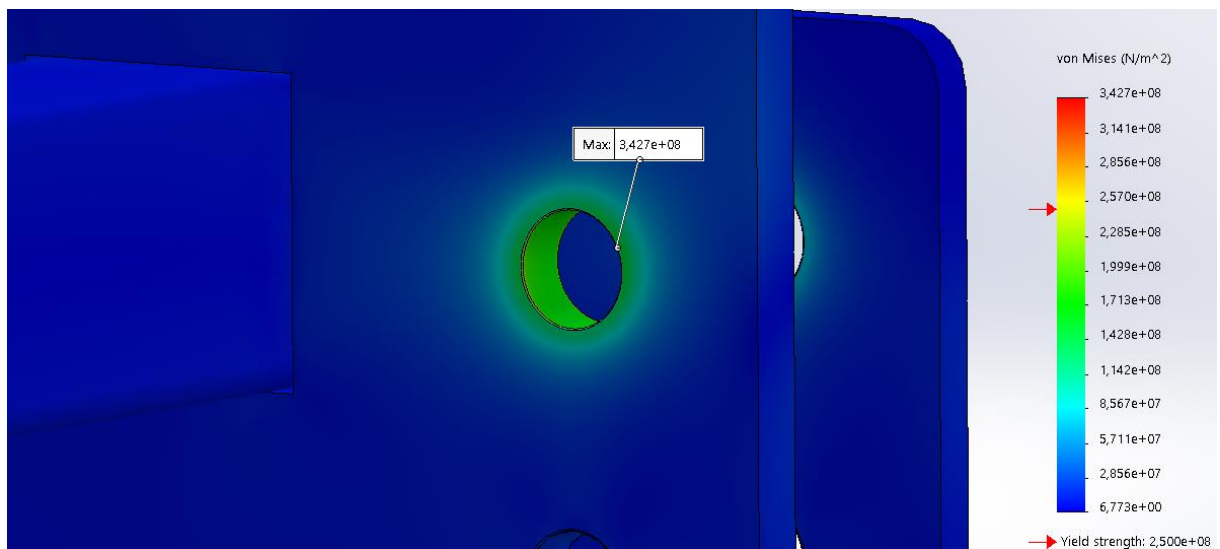


Vedleggsfigur 36 – Nedbøyning x-retning S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)

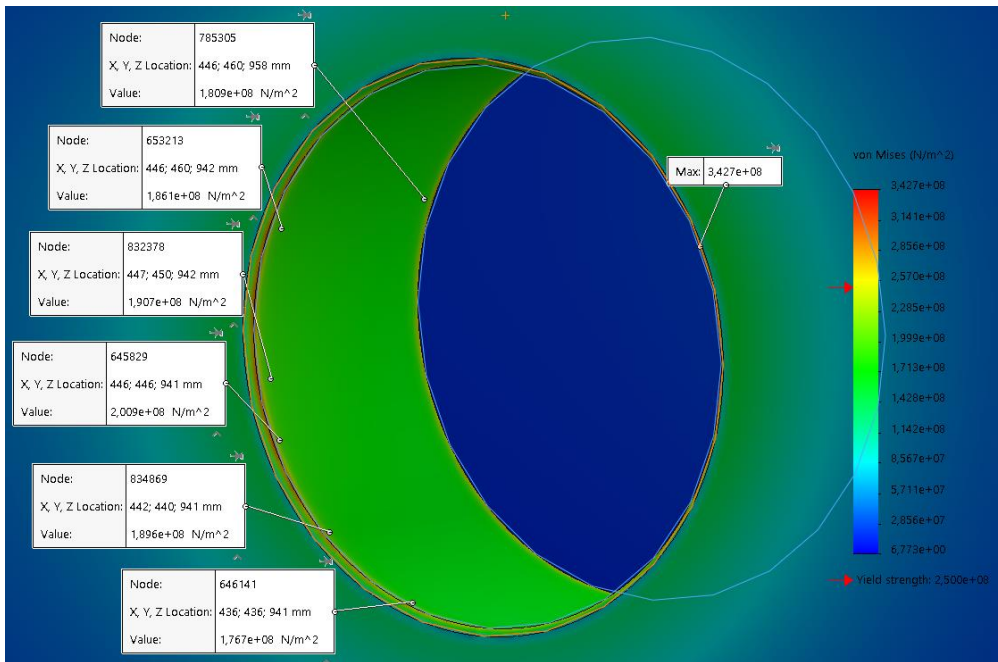


Vedleggsfigur 37 – Nedbøyning y-retning S355J2G3 (Scenario 2 og nedbremsing)

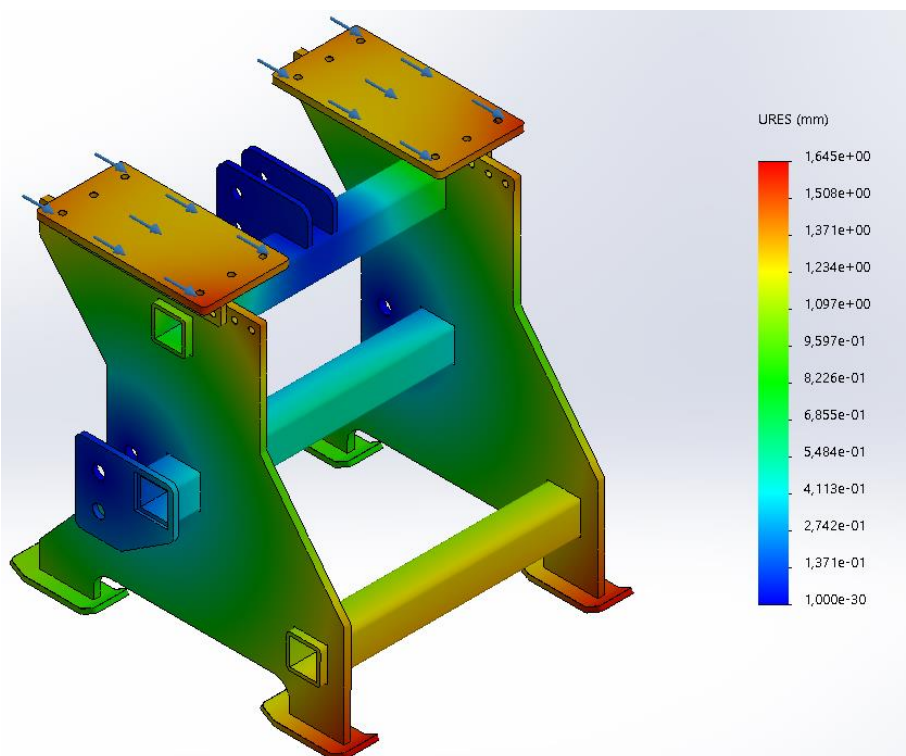
Aluminium 6082 - T6: Nedbremsing



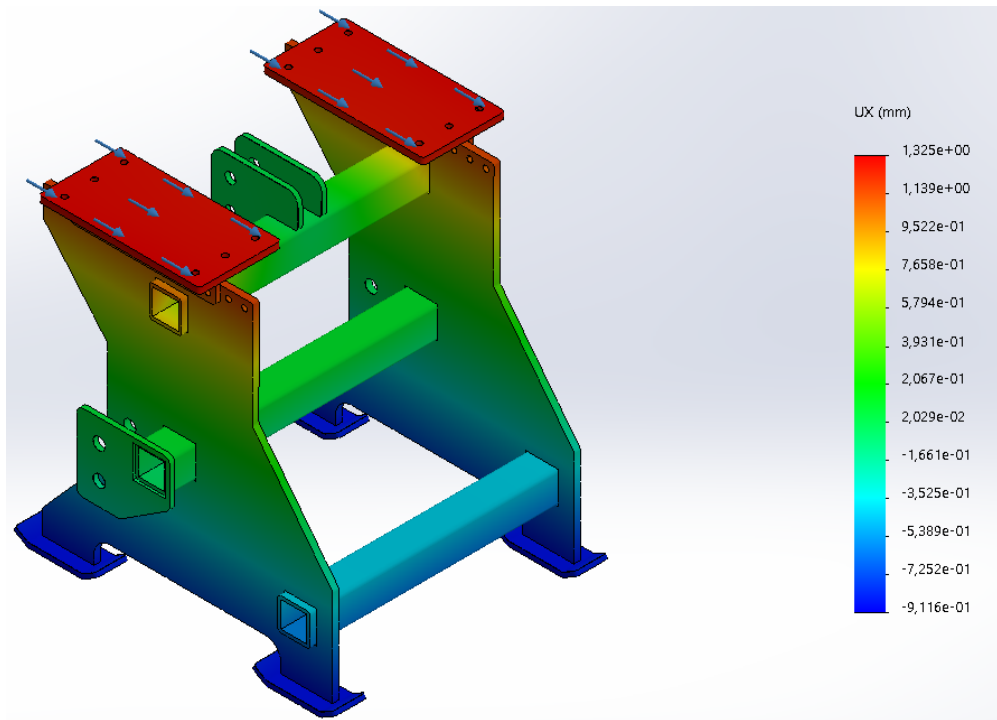
Vedleggsfigur 38 – Von Mises spenning Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)



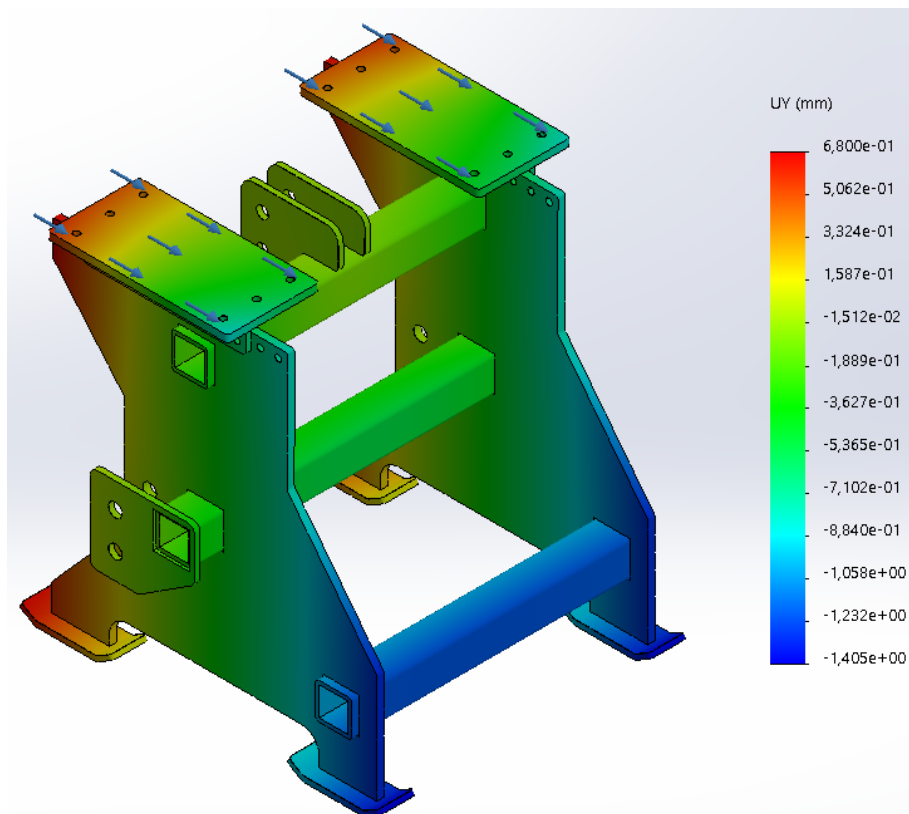
Vedleggsfigur 39 – "Probing" i SW Simulations Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)
 Viser opptredendekraft er omtrentlig 210 MPa



Vedleggsfigur 40 – Nedbøyning globalt Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)



Vedleggsfigur 41 – Nedbøyning x-retning Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)



Vedleggsfigur 42 – Nedbøyning y-retning Al 6082-T6 (Scenario 2 og nedbremsing)

Vedlegg 4 – Materialdata S355J2G3 (1.0570)

Vedleggtabell 1 – Kjemisk sammensetting for konstruksjonsstål (1.0570)

Navn	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+N i (Maks)	Al (Ronquillo)
		(Maks)		(Maks)	(Maks)	(Maks)	(Maks)	(Maks)		
S355J2G3 3 (1.0570)	0.17 %	0.17 %	1.40 %	0.035 %	0.035 %	0.30 %	0.08 %	0.30 %	0.48%	0.020%

Hentet fra (Standard, 1999a)

Vedleggtabell 2 – Mekaniske egenskaper for konstruksjonsstål (1.0570)

Navn	Tilstand	Tykkelse (mm)	Flytegrense σ (MPa)	Strekfasthet σ (GN/mm ²)	Hardhet (HB) maks	Elastisitets- modul (MPa)	Poisson tallet
S355J2G3 (1.0570)	Varmvalset plate	>100	315	490	150	190	0.29
	Varmvalset plate	100 – 250	275	450	150	190	0.29
	Varmvalset plate	250 – 500	265	450	150	190	0.29

Hentet fra (Standard, 1999a), (Makeitfrom, 2020b) og (Makeitfrom, 2020b)

Vedleggtabell 3 – Fysisk egenskaper for konstruksjonsstål (1.0570)

Navn	Tetthet (g/cm ³)	Smeltetemperatur	Termisk ekspansjon σ (N/mm ²)	Elastisitetsmodul (GN/mm ²)	Termisk ledningsevne	Elektrisk motstand
S355J2G3 (1.0570)	7,8	1460°C	11.1 x 10 ⁻⁶ / K	190	54 W/m.K	0.74 x 10 ⁻⁶ Ω.m

Hentet fra (Makeitfrom, 2020b)

Vedlegg 5 – Materialdata rustfritt stål (1.4404)

Vedleggtabell 4 – Kjemisk sammensetting for rustfritt stål (1.4404)

Navn	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Cu
X2CrNiMo17-12-2 (1.4404)	0,03	1,0	2,0	0,045	0,015	16,5	2,0	10,0	0,1	-
						–	–	–		
						18,5	2,5	13,0		

Hentet fra (Standard, 2014)

Vedleggtabell 5 – Mekaniske egenskaper for rustfritt stål (1.4404)

Navn	Tilstand	Tykkelse (Maks)	Flytegrense σ (MPa) Minimum	Strekfasthet σ (GN/mm ²)	Hardhet (HB) maks	Elastisitets- modul (MPa)	Poisson tallet
X2CrNiMo17- 12-2 (1.4404)	Kaldvalset stripe	8mm	240	530 – 680	215	200	0.28
	Varmvalset stripe	13.5	220	530 – 680	215	200	0.28
	Varmvalset plate	75	220	520 – 670	215	200	0.28

Hentet fra (Standard, 2014) og (Makeitfrom, 2020c) og (Makeitfrom, 2020c)

Vedleggtabell 6 – Fysiske egenskaper for rustfritt stål (1.4404)

Navn	Tetthet (g/cm ³)	Smeltetemperatur	Termisk ekspansjon σ (N /mm ²)	Elastisitetsmodul (GN/mm ²)	Termisk ledningsevne	Elektrisk motstand
X2CrNiMo17- 12-2 (1.4404)	8.0	1400°C	15.9 x 10 ⁻⁶ / K	193	16.3 W/m.K	0.74 x 10 ⁻⁶ Ω.m

Hentet fra (Ltd, 2020c)

Vedlegg 6 – Materialdata rustfritt stål (1.4401)

Vedleggtabell 7 – Kjemisk sammensetting for rustfritt stål (1.4401)

Navn	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Cu
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401)	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	16,5	2,0	10,0	0,1	-
						–	–	–		
						18,5	2,5	13,0		

Hentet fra (Standard, 2014)

Vedleggtabell 8 – Mekaniske egenskaper for rustfritt stål (1.4401)

Navn	Tilstand	Tykkelse (Maks)	Flytegrense σ (MPa) Minimum	Strekfasthet σ (GN/mm ²)	Hardhet (HB) maks	Elastisitets- modul (MPa)	Poisson tallet
X5CrNiMo17- 12-2 (1.4401)	Kaldvalset stripe	8mm	240	530 – 680	215	200	0.28
	Varmvalset stripe	13.5	220	530 – 680	215	200	0.28
	Varmvalset plate	75	220	520 – 670	215	200	0.28

Hentet fra (Standard, 2014) og (Makeitfrom, 2020a)

Vedleggtabell 9 – Fysiske egenskaper for rustfritt stål (1.4401)

Navn	Tetthet (g/cm ³)	Smeltetemperatur	Termisk ekspansjon σ (N /mm ²)	Elastisitetsmodul (GN/mm ²)	Termisk ledningsevne	Elektrisk motstand
X5CrNiMo17- 12-2 (1.4401)	8.0	1400°C	15.9 x 10 ⁻⁶ / K	193	16.3 W/m.K	0.74 x 10 ⁻⁶ Ω.m

Hentet fra (Ltd, 2020b) (Ltd, 2020b)

Vedlegg 7 – Materialdata Aluminium 6082 - T6 (AW-Al-Si1MgMn)

Vedleggtabell 10 – Kjemisk sammensetting for Aluminium (6082 - T6)

Navn	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ga	V
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	0,7 – 1,3	0,5	0,1	0,4 -1,0	06, - 1,2	0,25	0,2	0,1	-	-

Hentet fra (Standard, 2019c)

Vedleggtabell 11 – Mekaniske egenskaper for Aluminium (6082 - T6)

Navn	Tykkelse (Maks)	Flytegrense σ (GN/mm ²)	Strekfasthet σ (MPa)	Hardhet (HB) maks	Elastisitetsmodul (MPa)	Poisson tallet
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	< 0,4 – 6 mm	260	310	91	69	0.33
	< 6 – 12,5 mm	255	300	91	69	0.33
	< 12,5 – 100 mm	240	295	91	69	0.33

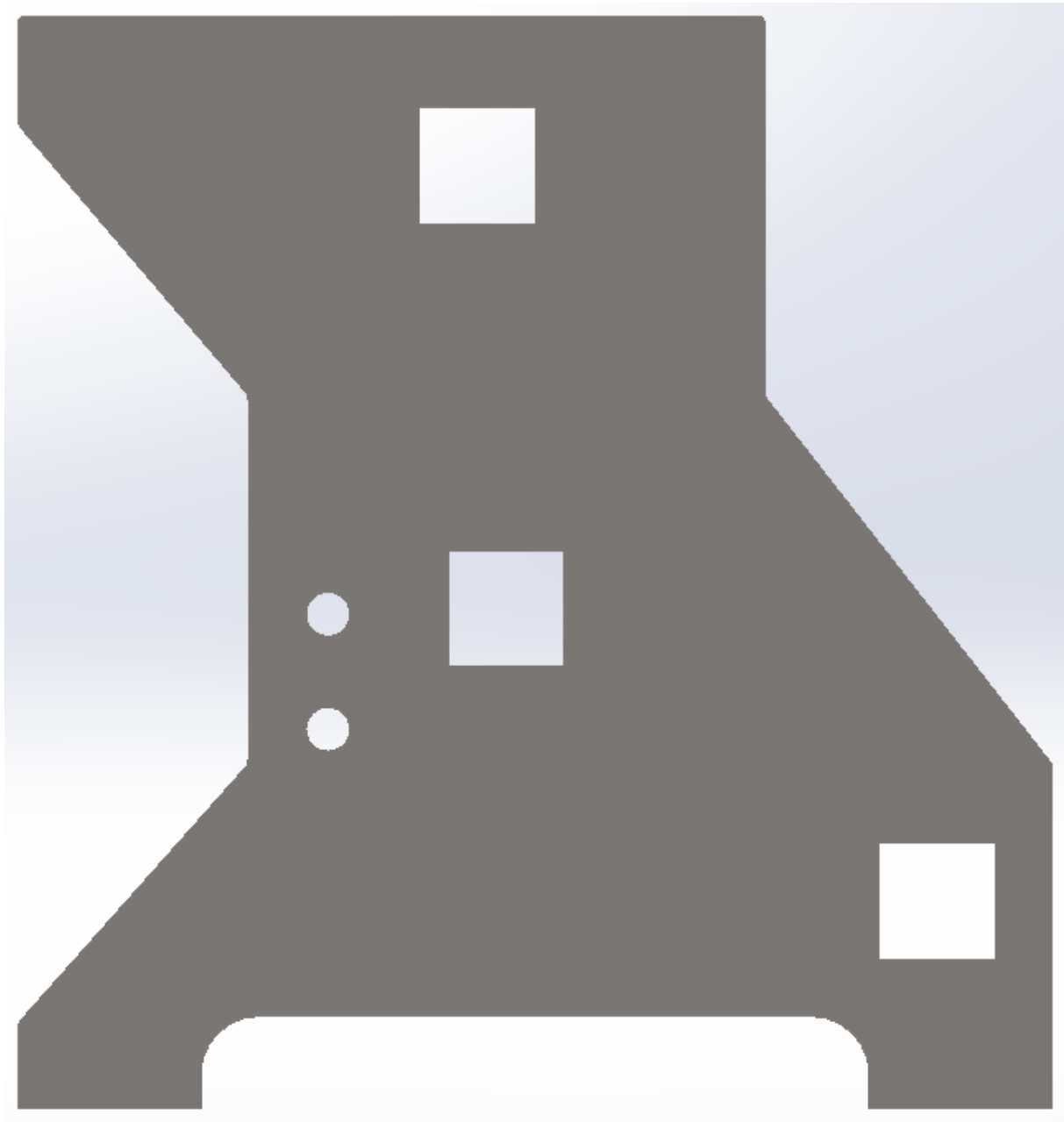
Hentet fra (Standard, 2019a) og (Makeitfrom, 2020d) (Standard, 2019a) (Makeitfrom, 2020d)

Vedleggtabell 12 – Fysiske egenskaper for Aluminium (6082 - T6)

Navn	Tetthet (g/cm ³)	Smeltetemperatur	Termisk ekspansjon σ (N/mm ²)	Elastisitetsmodul (GN/mm ²)	Termisk ledningsevne	Elektrisk motstand
AW-Al-Si1MgMn (6082 - T6)	2,7	555°C	24 x 10 ⁻⁶ /K	70	180 W/m.K	0.038 x 10 ⁻⁶ Ω.m

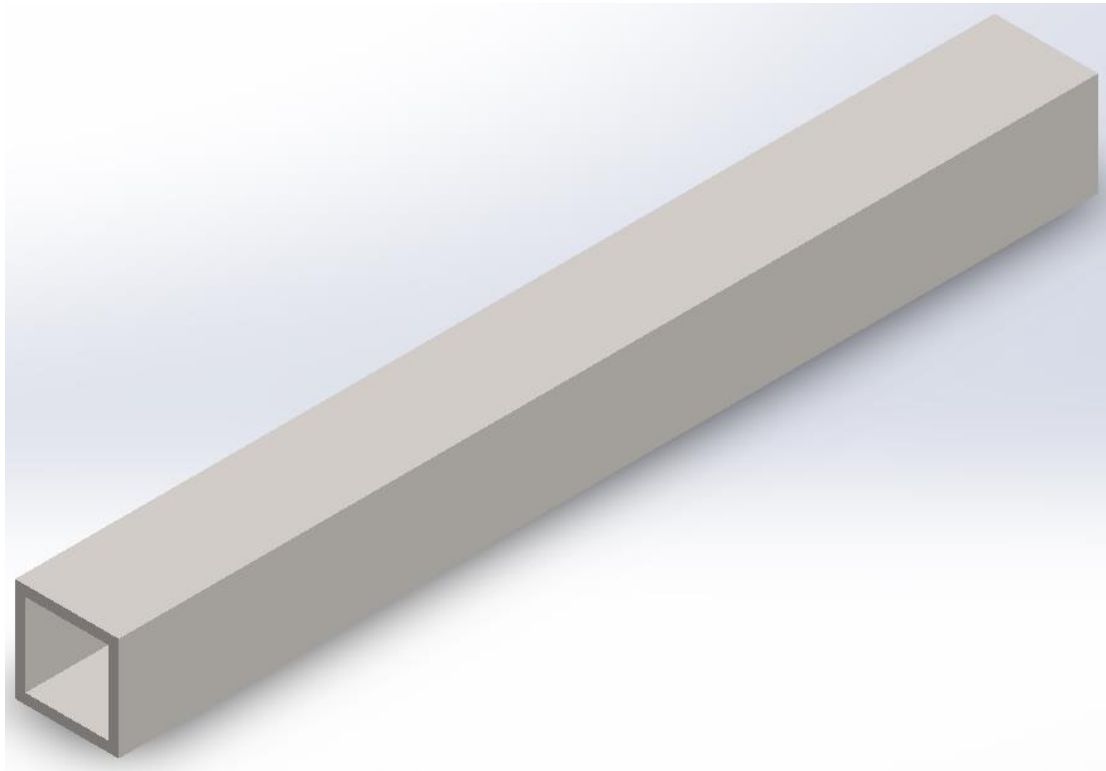
Hentet fra (Ltd, 2020a)

Vedlegg 8 – Konseptskisser

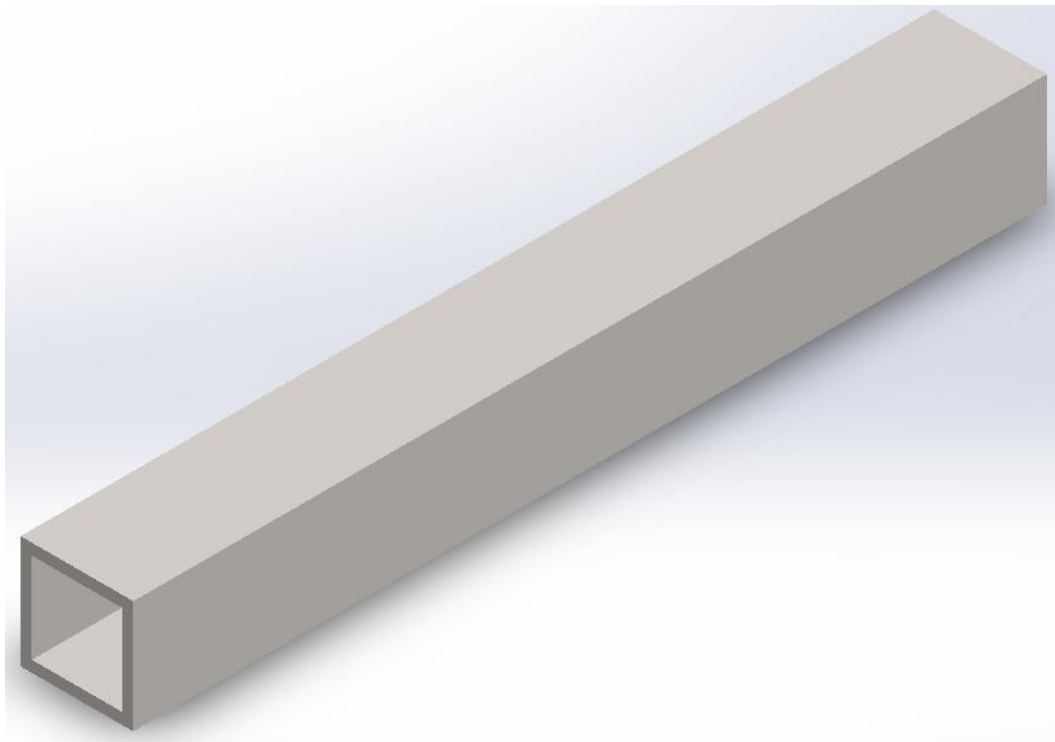


Vedleggsfigur 43 – Strukturramme (Konsept)

Denne konseptskissen viser at antall hull i toppen av strukturrammen ikke var definert i konseptutviklingsstadiet, samtidig som den viser flere likheter med ferdig designet strukturramme.

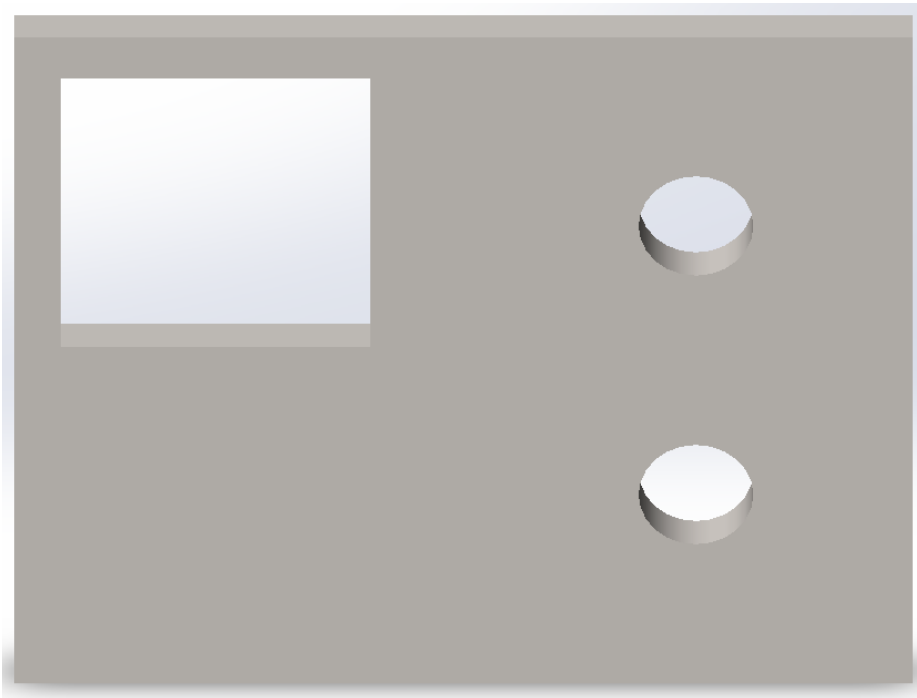


Vedleggsfigur 44 – Midtre rør (Konsept)



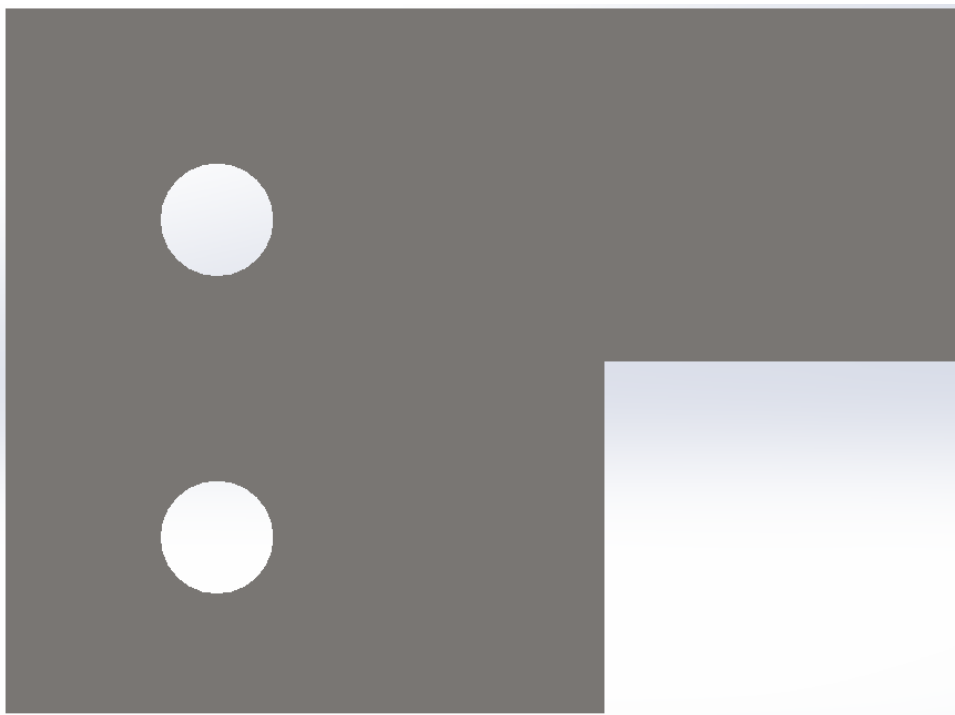
Vedleggsfigur 45 – Topp- og bunnrør (Konsept)

Vedleggsfigur 44 og 45, viser hvordan det var gjort et grovt estimat ved designing av stivelsesrørene



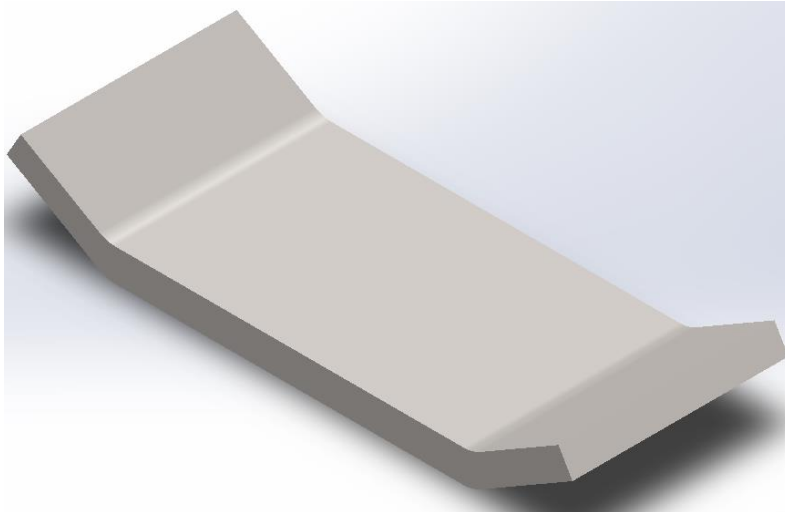
Vedleggsfigur 46 – Sideplate (Konsept)

I konseptutviklingen var sideplatens funksjon og formål definert, videre designutvikling fjernet overfladisk materiale, for å bidra til økonomisk- og materialbesparelse.



Vedleggsfigur 47 – Toppstag (Konsept)

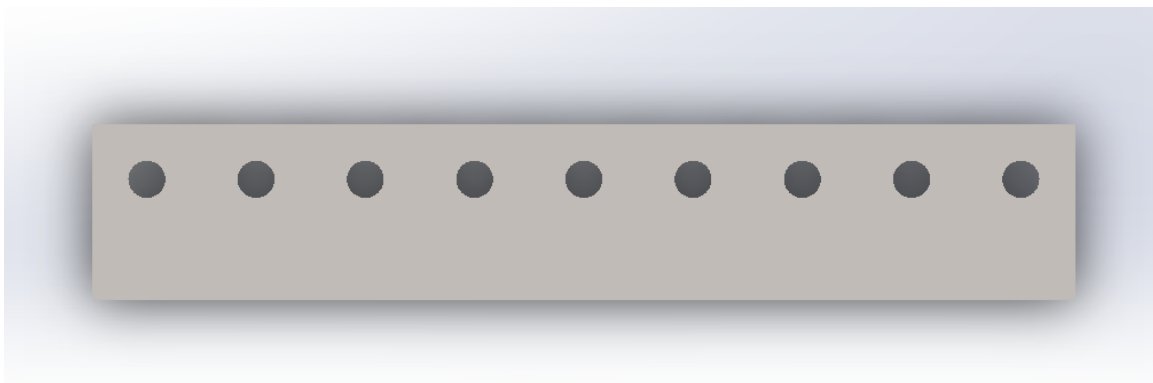
Vedleggsfigur 47 er en grovskisse av idé for toppstaget og dens funksjon. Videre design inkluderte fjerning av skarpe kanter.



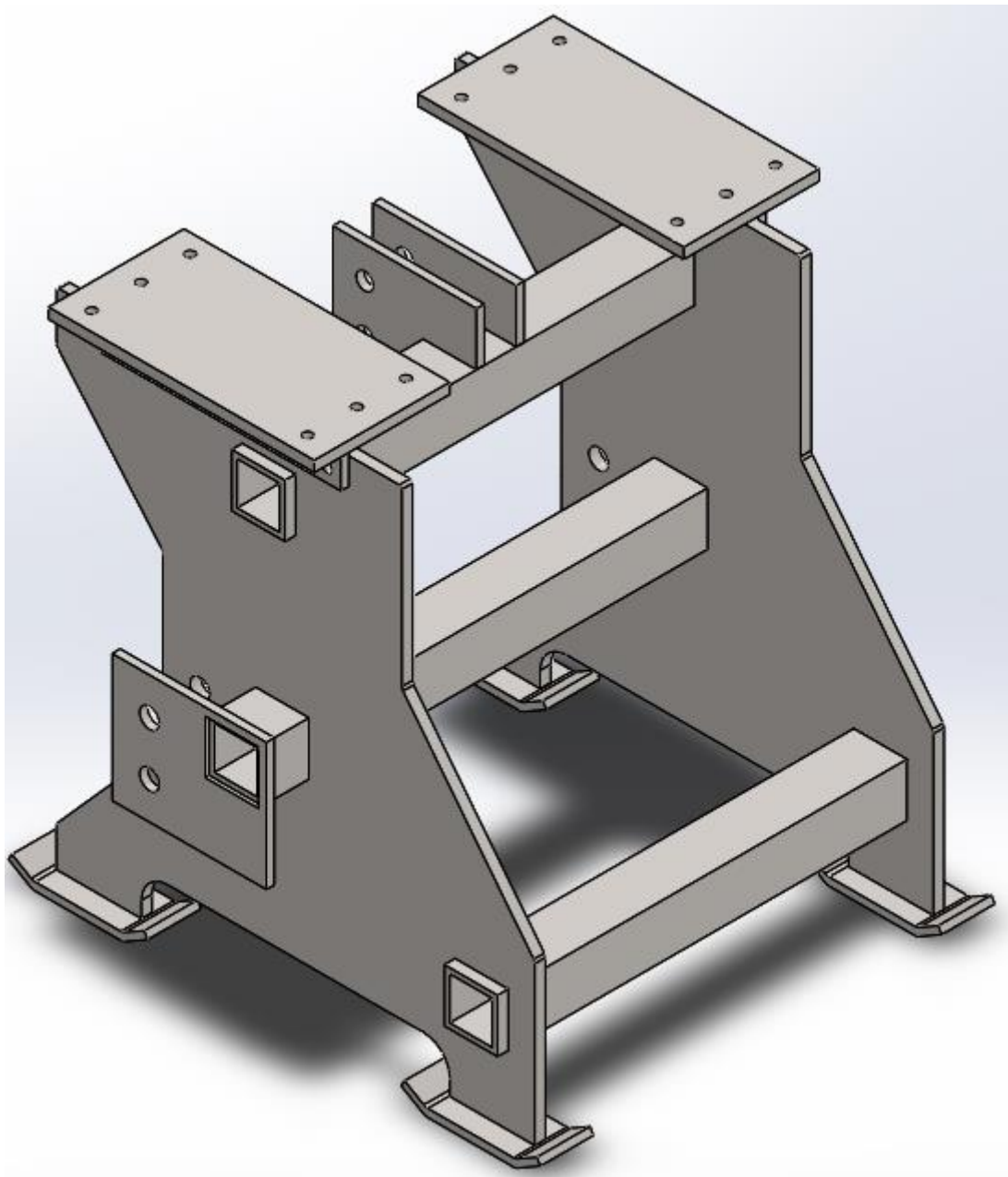
Vedleggsfigur 48 – Støtteben (Konsept)



Vedleggsfigur 49 – Topplate (Konsept)



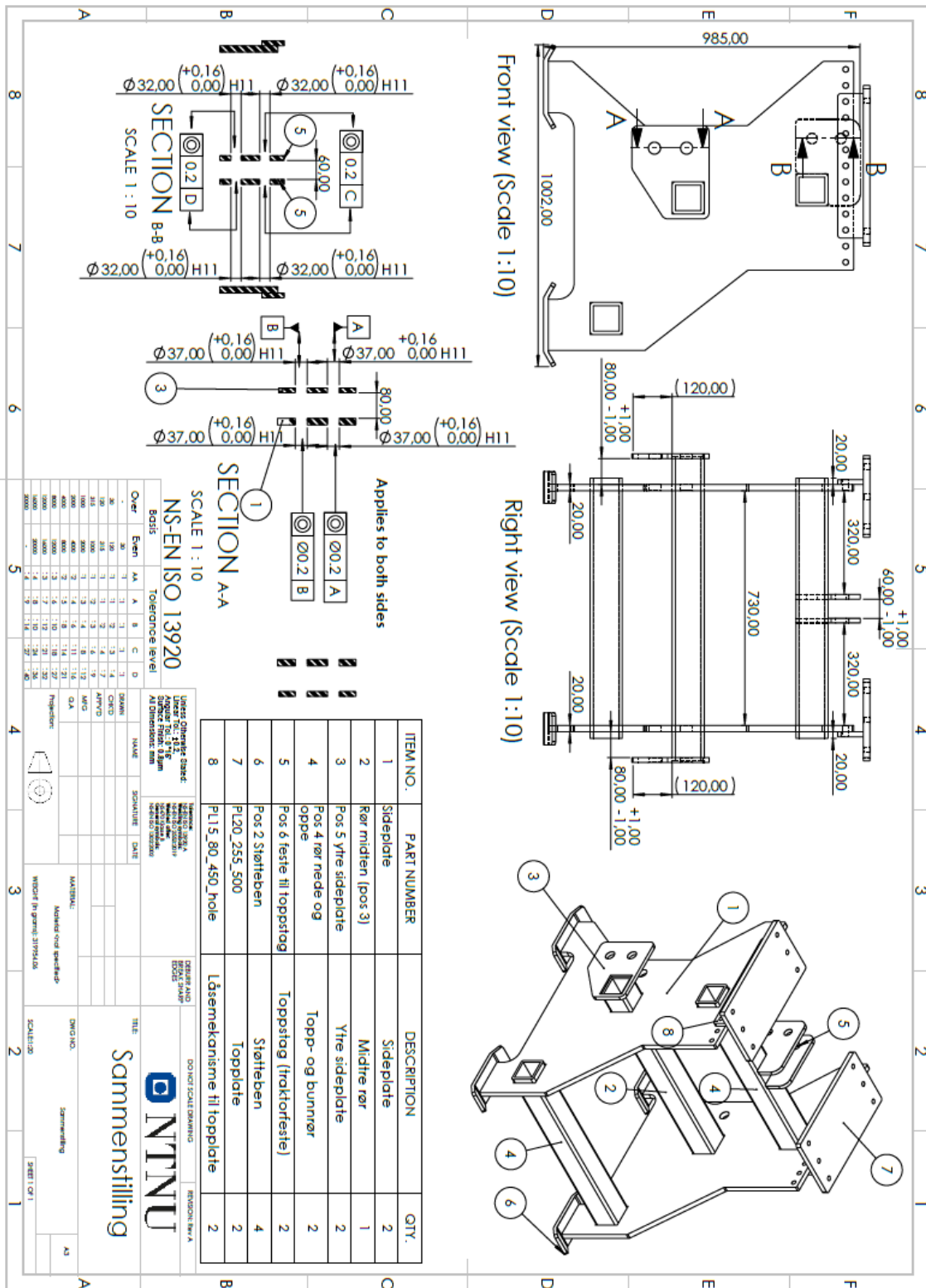
Vedleggsfigur 50 – Låsemekanisme for topplate (Konsept)



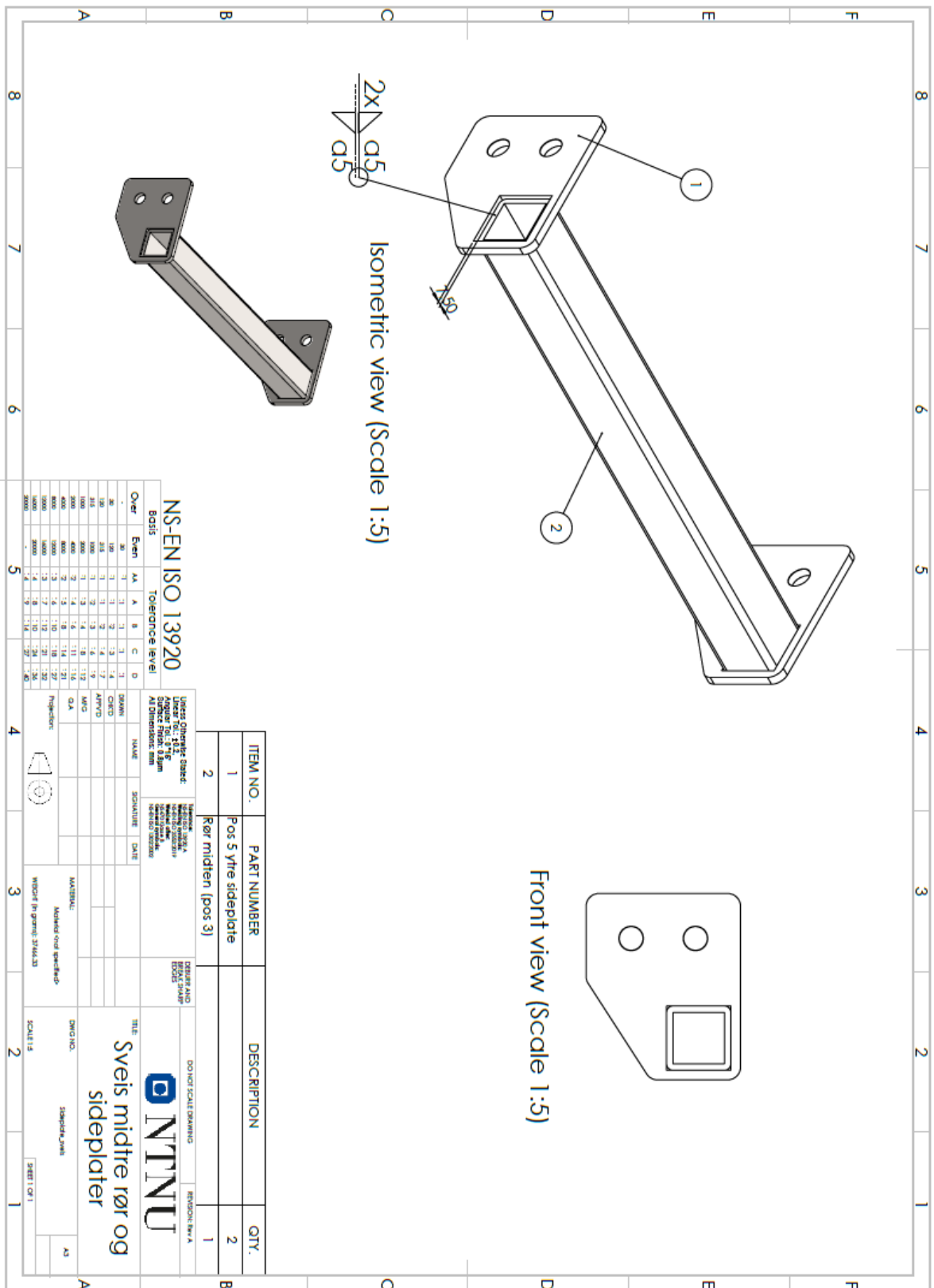
Vedleggsfigur 51 – Sammenstilling (Konsept)

Overordnet viser konseptskissene idéutviklingen innen gruppen. Flere av tegningene er særdeles grove, med bakgrunn i at funksjonalitet ble vektlagt. Videre arbeid knyttet til utvikling av ferdigstilt produkt er gjort i samsvar med Øveraasens spesifikasjoner og optimaliserer designet.

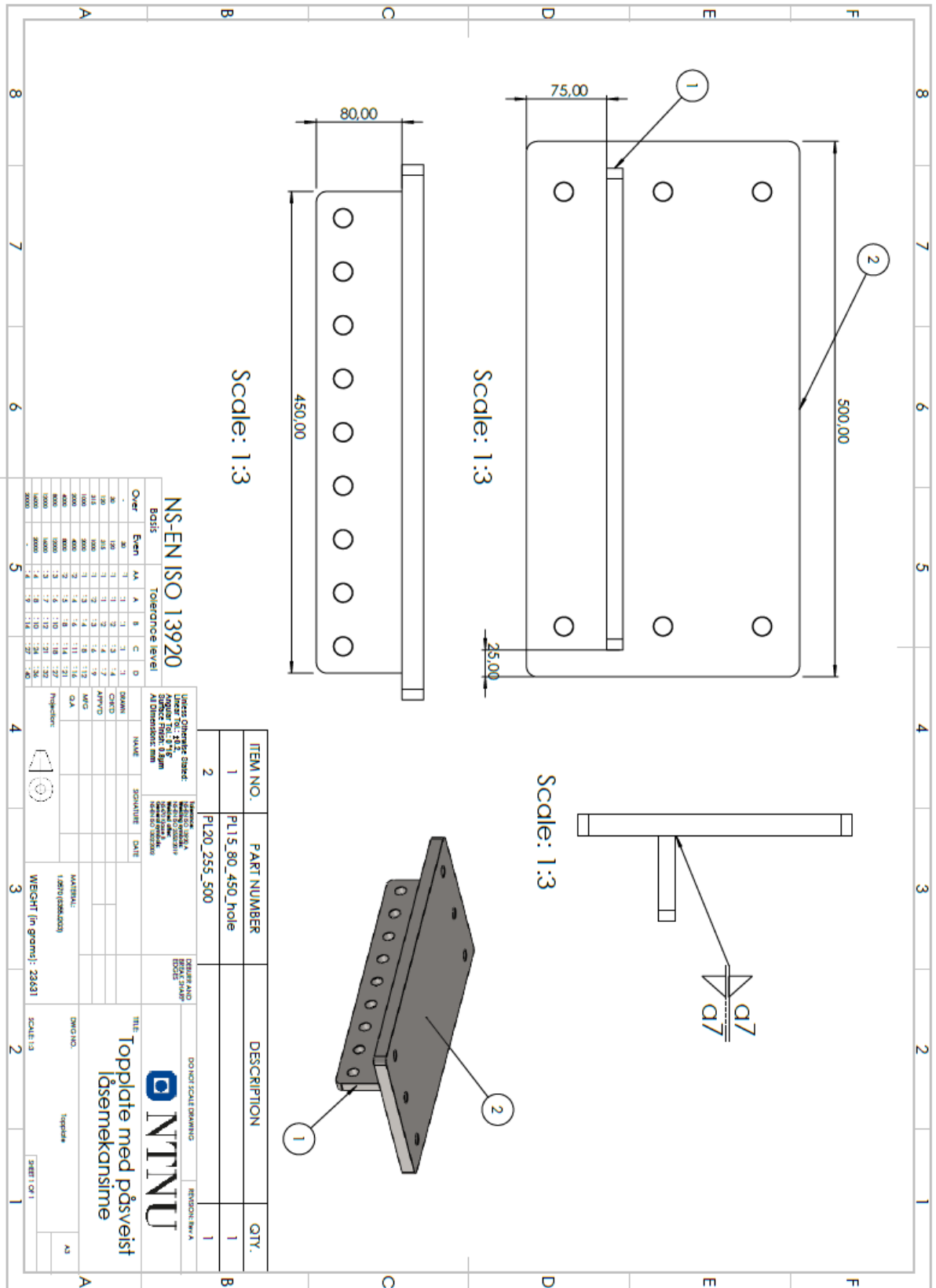
Vedlegg 9 – Produksjonstegninger sammenstilling



Vedleggsfigur 52 – Produksjonstegning (Sammenstilling)

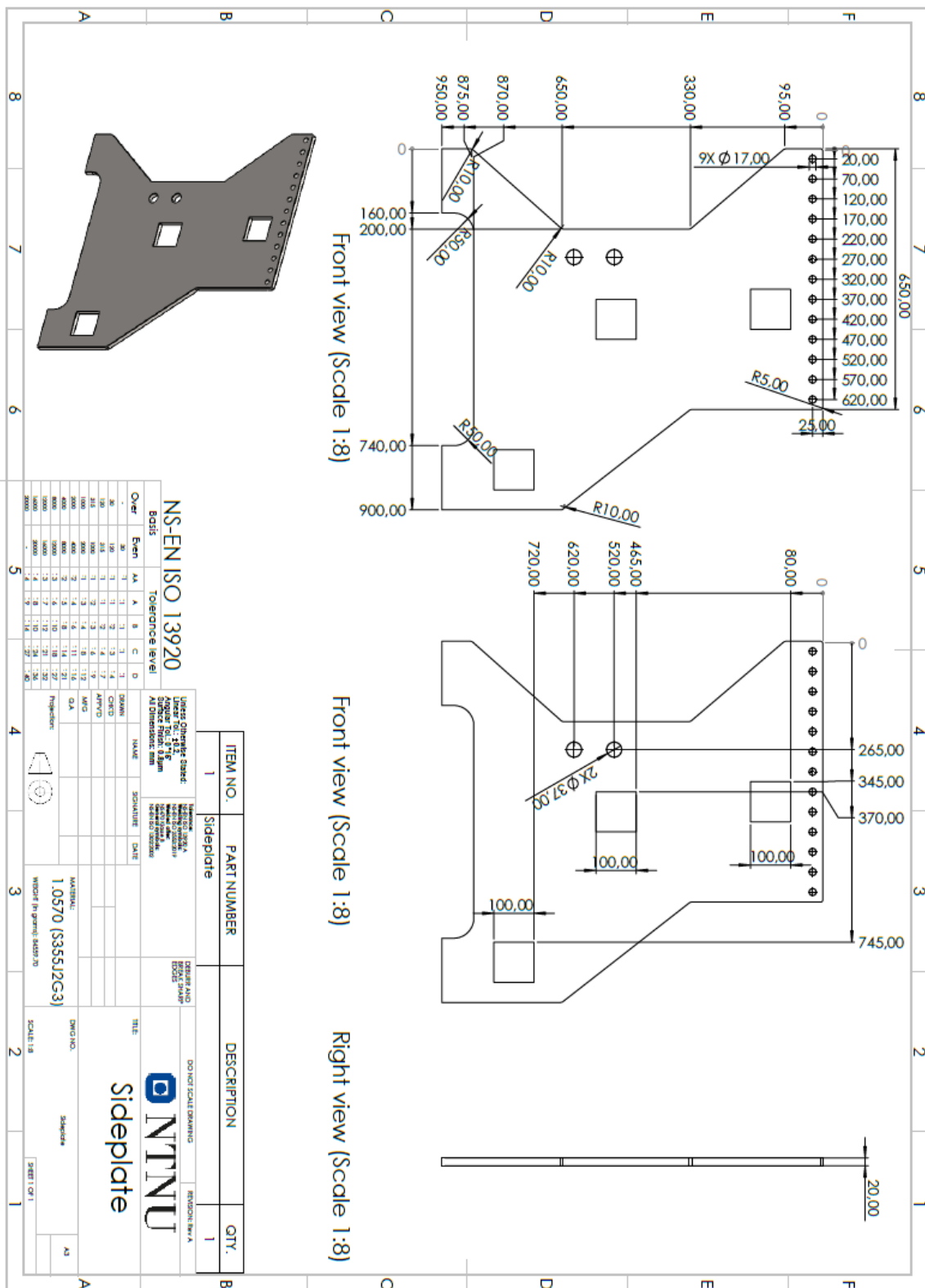


Vedleggsfigur 54 – Produksjonstegning (Midtre rør og sideplate sveis)

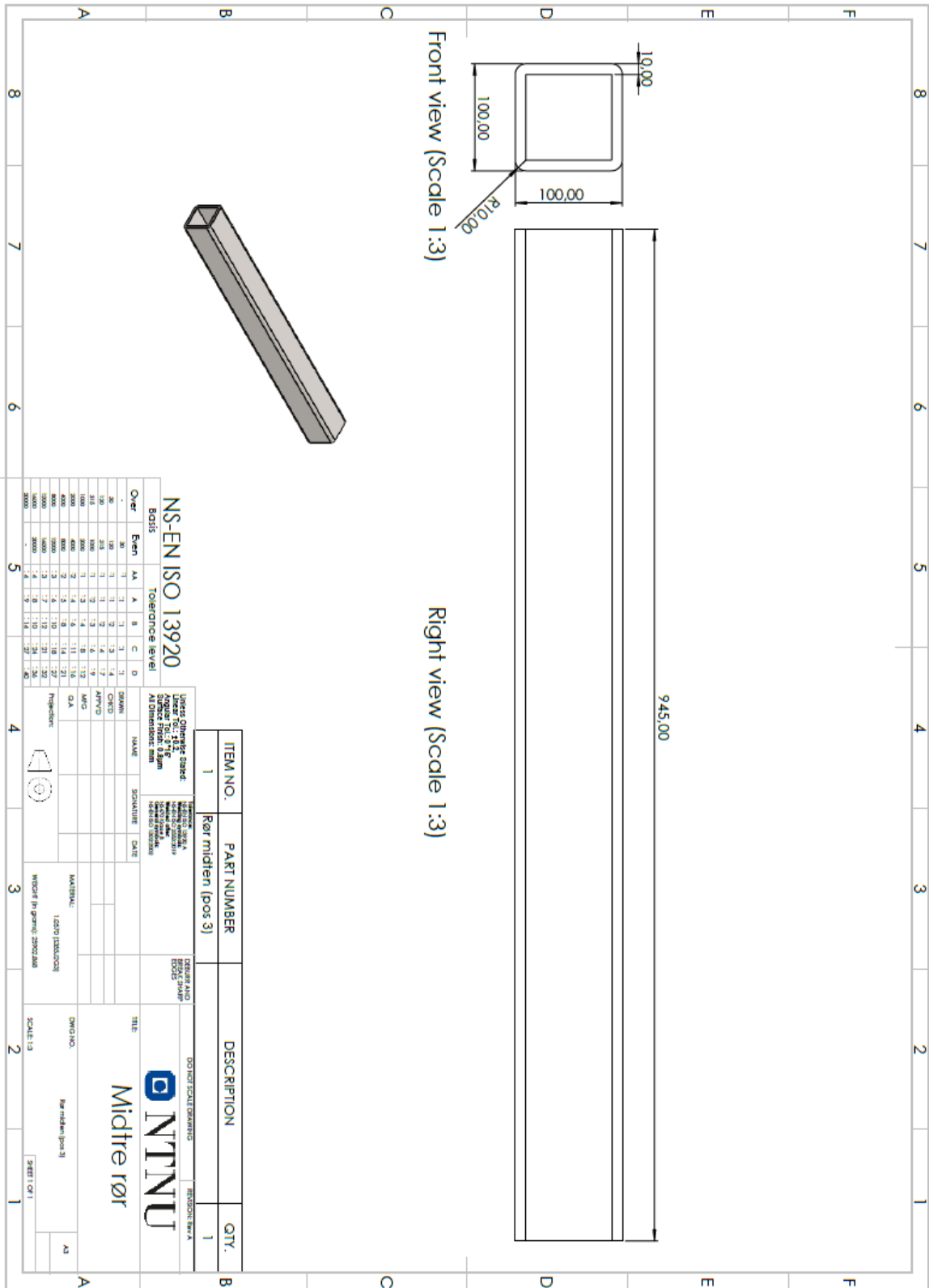


Vedleggsfigur 55 – Produksjonstegning (Topplate og låsemekanisme)

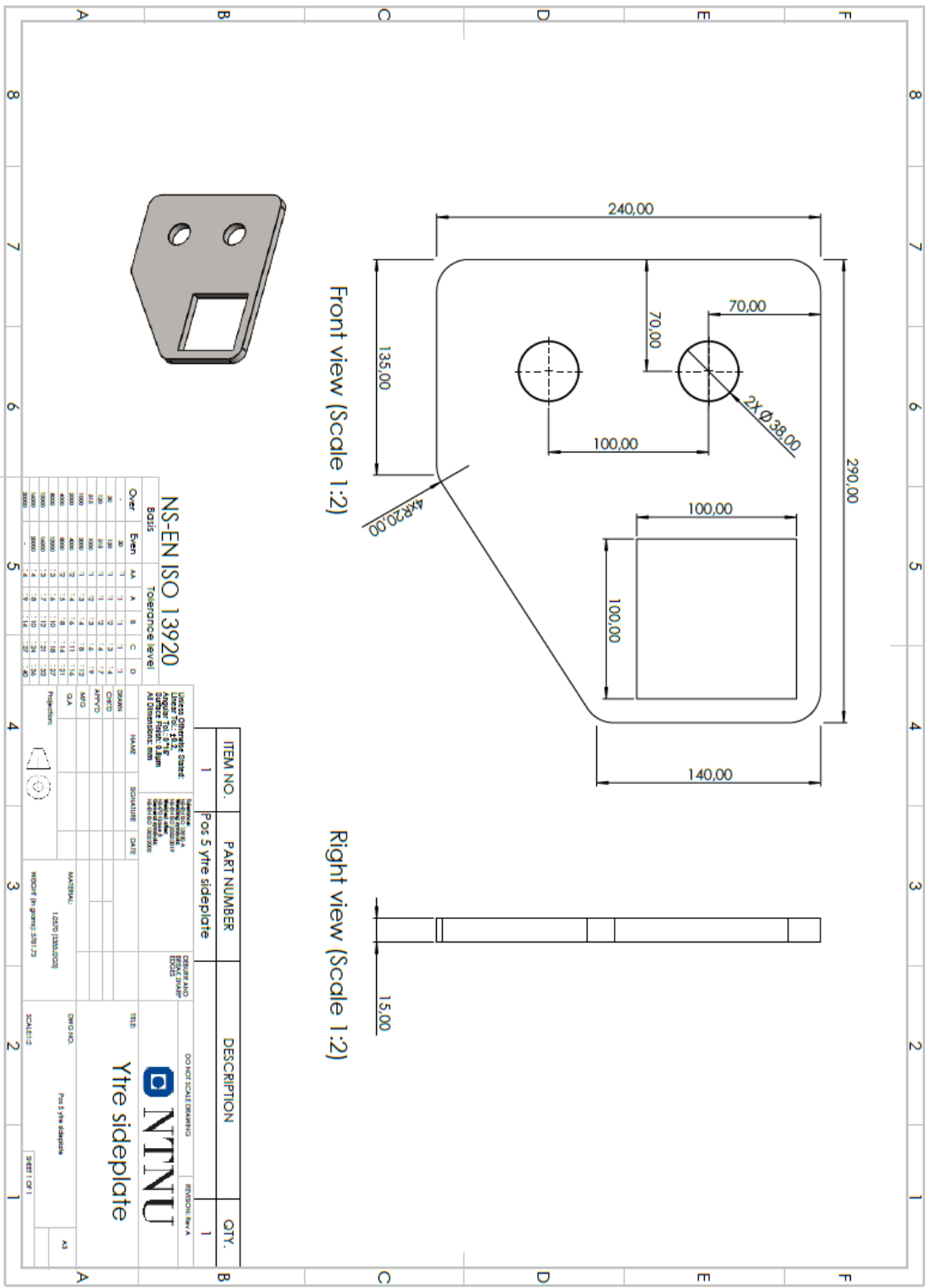
Vedlegg 11 – Produksjonstegninger delkomponenter



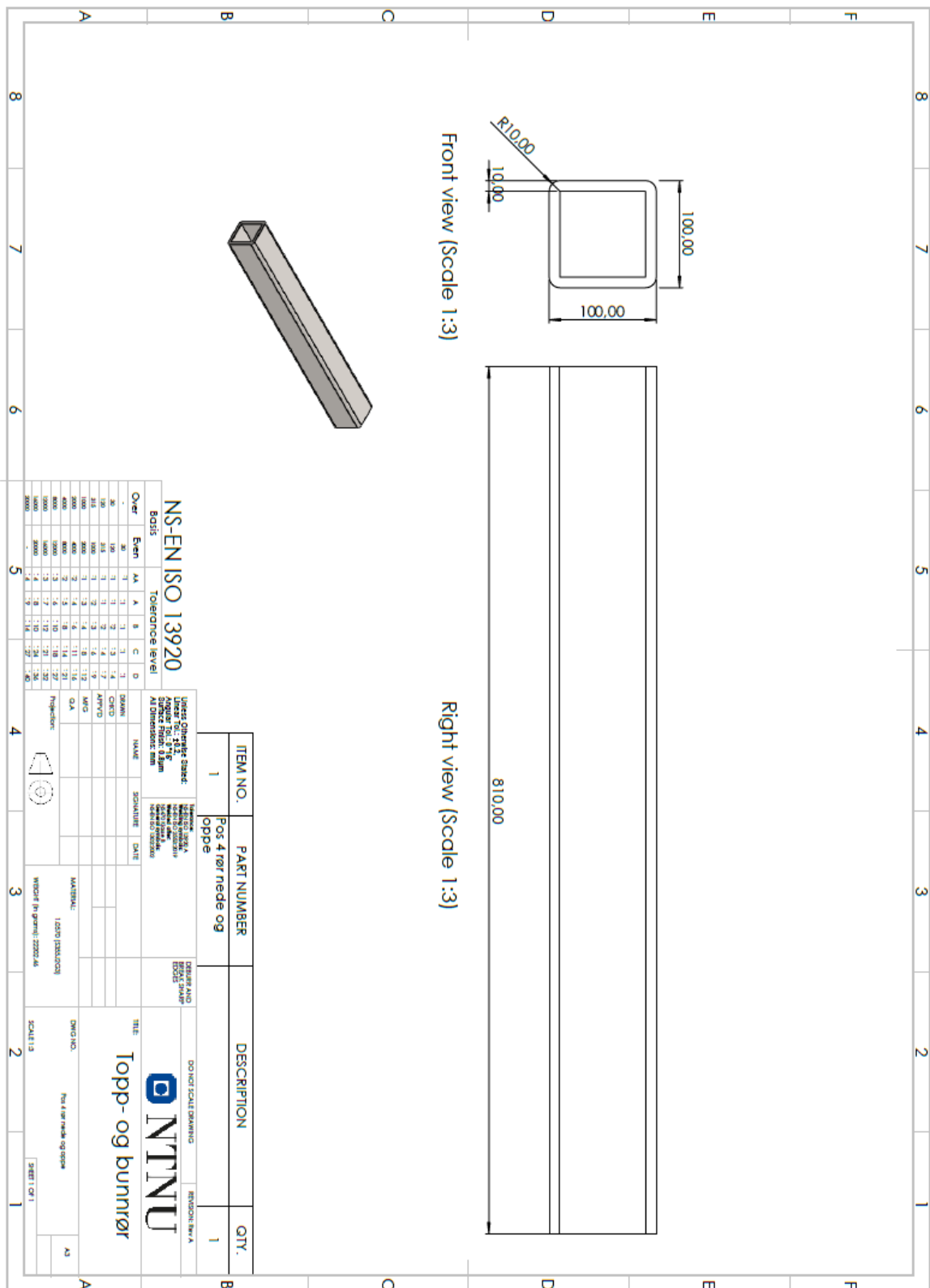
Vedleggsfigur 57– Produksjonstegning (Strukturramme)



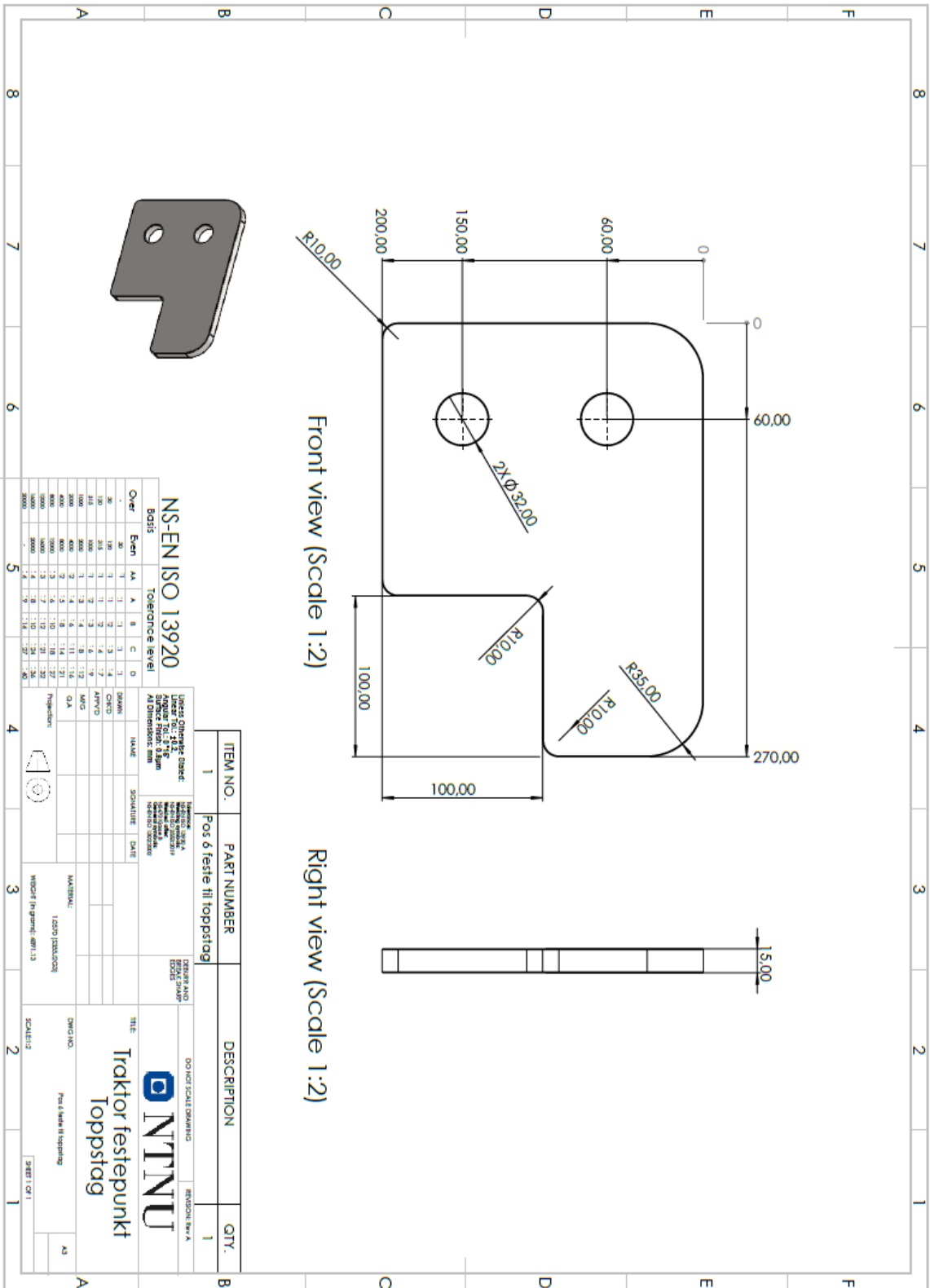
Vedleggsfigur 58 – Produksjonstegning (Midtre rør)



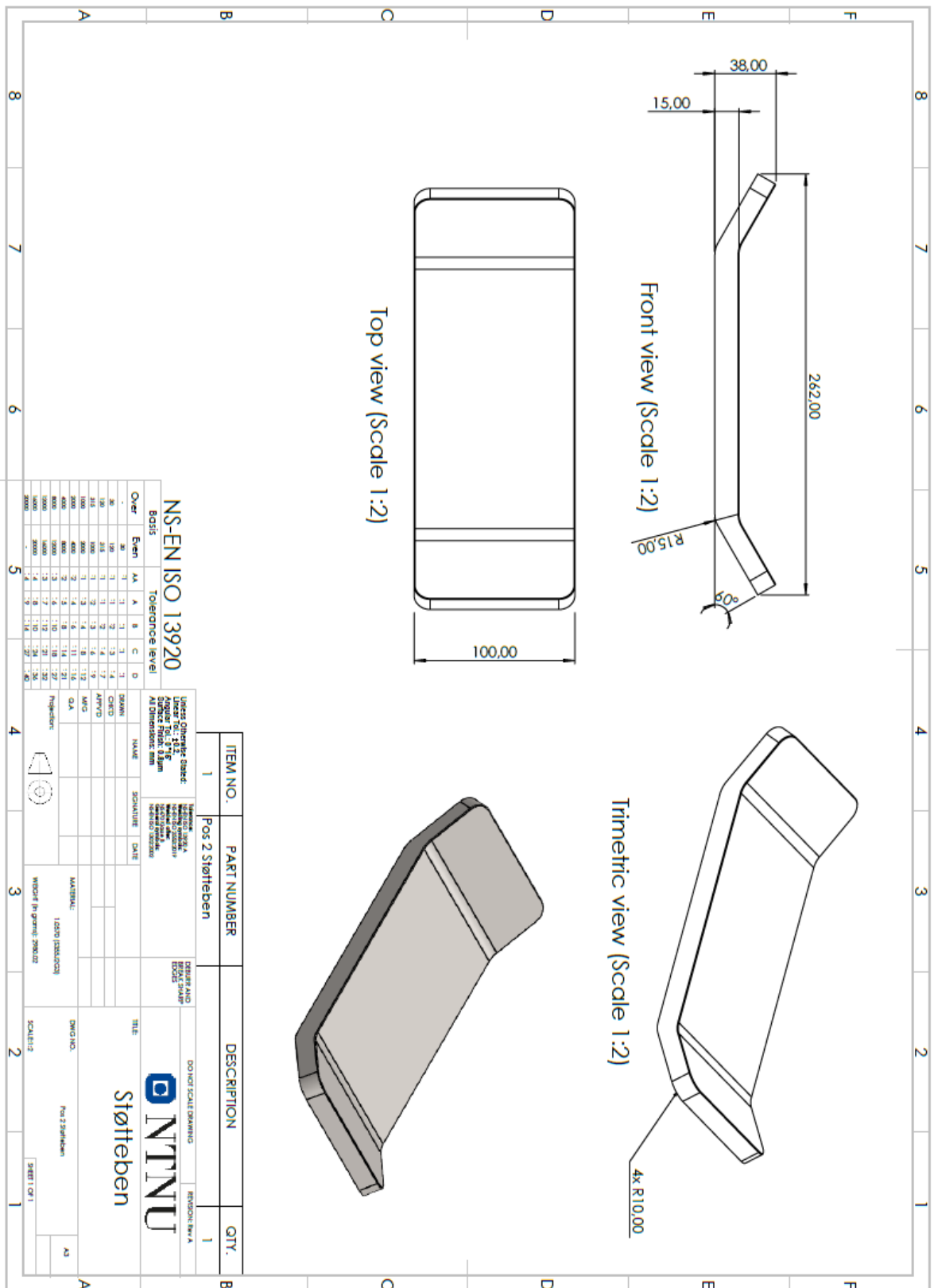
Vedleggsfigur 59 – Produksjonstegning (Ytre sideplate)



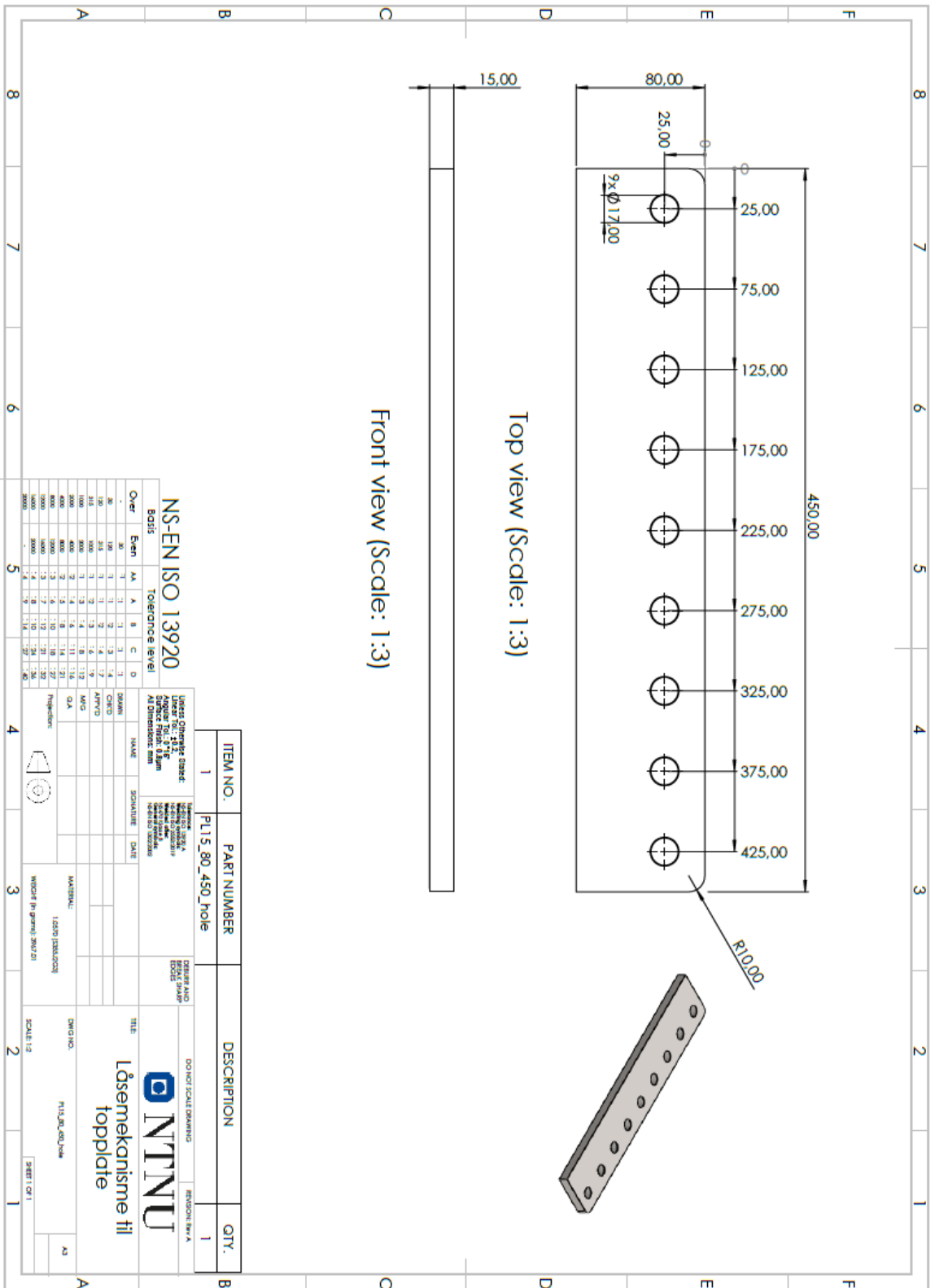
Vedleggsfigur 60 – Produksjonstegning (Topp- og bunnrør)



Vedleggsfigur 61 – Produksjonstegning (Toppstag)



Vedleggsfigur 62 – Produksjonstegning (Støtteben)



Vedleggsfigur 64 – Produksjonstegning (Låsemekanisme)

Vedlegg 12 – Medforfatterdeklarasjon

Medforfatterdeklarasjon

Tittel: Designutvikling og konstruksjonsevaluering av brakettløsning

Forfattere:

Student 1: William Bertin Skoglund

Student 2: Mads Emre Krakas

Student 3: Anne Kristine Åvik

Bidrag:

Delaktiviteter/deloppgave	Student 1	Student 2	Student 3
Delaktivitet/deloppgave 1	2	2	0
Delaktivitet/deloppgave 2	4	0	0
Delaktivitet/deloppgave 3	0	3	3
Delaktivitet/deloppgave 4	0	4	0
Delaktivitet/deloppgave 5	0	0	4
Delaktivitet/deloppgave 6	4	0	0

Tabellen fylles ut med delaktiviteter, og størrelsen på bidraget fra den enkelte student angis med et tall mellom 0 og 4 etter følgende betydning:

0: Ingenting

1: Lite

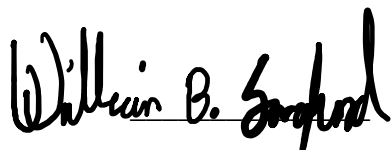
2: En del

3: Mye

4: Alt

De undertegnede studenter bekrefter herved at de har utført delaktivitetene beskrevet ovenfor på gjeldende oppgave.

Signatur studenter:



William Bertin Skoglund, Mads Emre Krakas, Anne Kristine Åvik

