

FEM-analyse av sorteringsmaskin for oppdrettsfisk

Håkon Giske Myklebust
Richard Lundemoen



Bacheloroppgave i Produksjonsteknikk
Bergen, Norge 2022



Finite Element Analysis av sorteringsmaskin Kemy Split for oppdrettsfisk

Håkon Giske Myklebust

Richard Lundemoen

Institutt for Maskin- og Marinfag

Høgskulen på Vestlandet

NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: Finite Element Analysis of the fish sorting machine Kemy Split

Forfatter(e), studentnummer: Håkon Giske Myklebust 180747
Richard Lundemoen 578191

Studieprogram:	Produksjonsteknikk
Dato:	Mai 2022
Rapportnummer:	IMM 2022-M56
Veileder ved HVL:	Svein Ole Opdahl
Oppdragsgiver:	Kemy AS
Oppdragsgivers referanse:	Kenneth Myklebust
Antall filer levert digitalt:	1/28

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våsemesteret 2022 ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Hovedtema for oppgaven er styrkeberegning med formål om å forbedre prototype. Veileder for oppgaven er Svein Ole Opdahl ved IMM. Prosjektet er utført i samarbeid med Kemy AS med Kenneth Myklebust som ekstern veileder.

Vi vil gjerne takke intern veileder Svein Ole Opdahl for god støtte og veiledning. Vi vil også takke Bjarte Sivertsen for gode faglige innspill og hjelp med problemstilling, samt Hassan Momeni for veiledning i Ansys. I tillegg vil vi takke Kenneth Myklebust for godt samarbeid og interessant innblikk fra oppdrettsnæringen.

Sammendrag

Oppdrettsnæringen er i stadig vekst og produksjonsutstyr må optimaliseres med hensyn til nye krav og retningslinjer. Det er totalt sett betydelige problemer knyttet til fiskevelferd, og dette blir nå tatt på alvor av myndigheter og næringen selv.

Kemy Split er et innovasjonsprodukt for sortering av oppdrettsfisk, hvor fiskevelferd er hovedprioriteten i nåværende utvikling. Oppgaven vil bruke elementmetode, Finite Element Method (FEM), til å analysere maskinens prototype. Etter å ha vurdert hvilke krefter og påkjenninger som er relevante, undersøkes det hvordan disse vil påvirke maskinens komponenter. Simuleringsprogramvaren ANSYS brukes til å anslå spenninger og deformasjoner.

Resultatene viser at Kemy Split er en robust konstruksjon som står godt imot aktuelle påkjenninger. Utbedringer og veien videre mot ferdig produkt blir diskutert i lys av dette.

Abstract

The aquaculture industry is constantly growing, and production equipment must be optimized regarding to new requirements and guidelines. Overall, there are significant problems associated with fish welfare, and this is now being taken seriously by the authorities and the industry itself.

Kemy Split is an innovation product for sorting living fish, where fish welfare is the main priority in current development. The thesis uses Finite Element Method (FEM) to analyse the prototype. After assessing relevant forces, it is investigated how these will affect the machines components. The simulation software ANSYS is used to estimate stresses and deformations.

The results show that Kemy Split is a robust construction that withstands current stresses. Improvements towards the finished product are discussed.

Innhold

Forord.....	VII
Sammendrag.....	IX
Abstract	X
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Problemstilling	3
1.3 Begrensninger.....	3
2. Metode.....	4
2.1 Kvalitativ metode	4
2.2 Kvantitativ metode	4
2.2.1 Programvare	4
3. Hvorfor Kemy Split.....	5
3.1 Hovedkomponenter	5
3.1.1 Innløp.....	6
3.1.2 Sorteringsruller	7
3.1.3 Hus og utløp	8
3.2 Utfordringer rundt eksisterende løsninger.....	9
3.3 Retningslinjer	10
3.4 Fordeler	10
4. Teoretisk grunnlag.....	12
4.1 Krefter påført fra fiskemassen	12
4.1.1 Pumpeeffekt.....	12
4.1.2 Fultons formel	13
4.1.3 Hvordan påvirker fisk sorteringsrullene	13
4.2 Materialeegenskaper	16
4.2.1 Rustfritt stål	16
4.2.2 E-modul og flytegrense	17
4.2.3 Knekking	18
4.2.4 Sikkerhetsfaktor.....	19

4.3	Elementmetoden.....	20
4.3.1	Mesh.....	20
4.3.2	Belastninger og betingelser.....	21
4.3.3	Spenningssingulariteter.....	22
4.3.4	Analysetyper.....	22
4.4	Undertrykk.....	24
5.	Fremgangsmåte.....	25
5.1	Observasjonstur.....	25
5.1.1	Vibrasjon.....	25
5.1.2	Hvordan sorteringsrullene er festet.....	26
5.2	Påvirkende krefter.....	28
5.2.1	Statiske Krefter.....	30
5.3	Analyse 1: Maks tillatte laster.....	33
5.4	Analyse 2: Sorteringsrull.....	34
5.4.1	Modell 1.....	35
5.4.2	Modell 2.....	36
5.4.3	Modell 3.....	36
5.5	Analyse 3: Effekter av undertrykk.....	38
5.5.1	Modifikasjoner.....	38
5.5.2	Static Structural.....	39
5.5.3	Eigenvalue Buckling.....	42
6.	Resultat.....	44
6.1	Analyse 1.....	44
6.2	Analyse 2.....	45
6.2.1	Modell 1.....	45
6.2.2	Modell 2.....	47
6.2.3	Modell 3.....	48
6.3	Analyse 3.....	49
6.3.1	0,1 bar.....	49
6.3.2	0,3 bar.....	51
6.3.3	Knekkanalyse.....	52

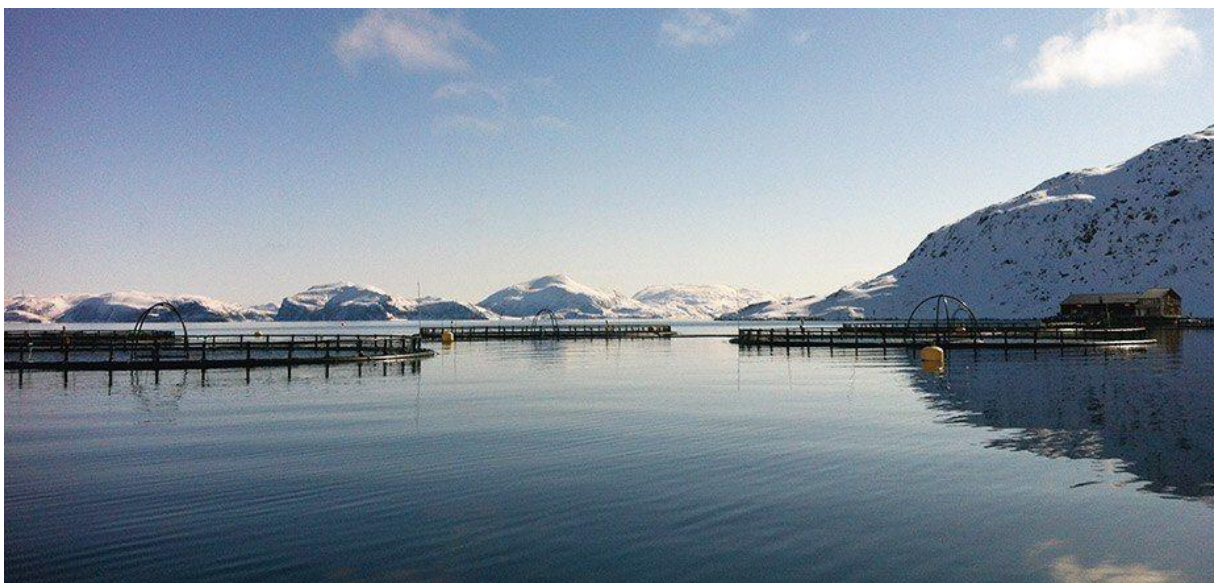
7. Diskusjon.....	54
7.1 Diskusjon rundt resultater	54
7.2 Diskusjon rundt fremgangsmåte.....	55
7.3 Diskusjon rundt utbedringer	56
8. Konklusjon	58
Referanser.....	59
Liste over Figurer	61
Liste over Tabeller.....	63

1. Innledning

Havbruk har vokst til å bli en betydelig næring i Norge og er i dag landets nest største eksportnæring. Som verdens største produsent og eksportør av atlantisk laks og regnbueørret, har Norge en viktig rolle som global produsent av bærekraftig mat. I 2020 ble det produsert og solgt over 1,4 million tonn norsk oppdrettsfisk [1]. Med et stort og økende volum, stilles det stadig strengere krav til at produksjon ivaretar bærekraft og god fiskevelferd gjennom hele syklusen. Alle aktører involvert i bransjen har et stort ansvar for å sikre denne utviklingen.

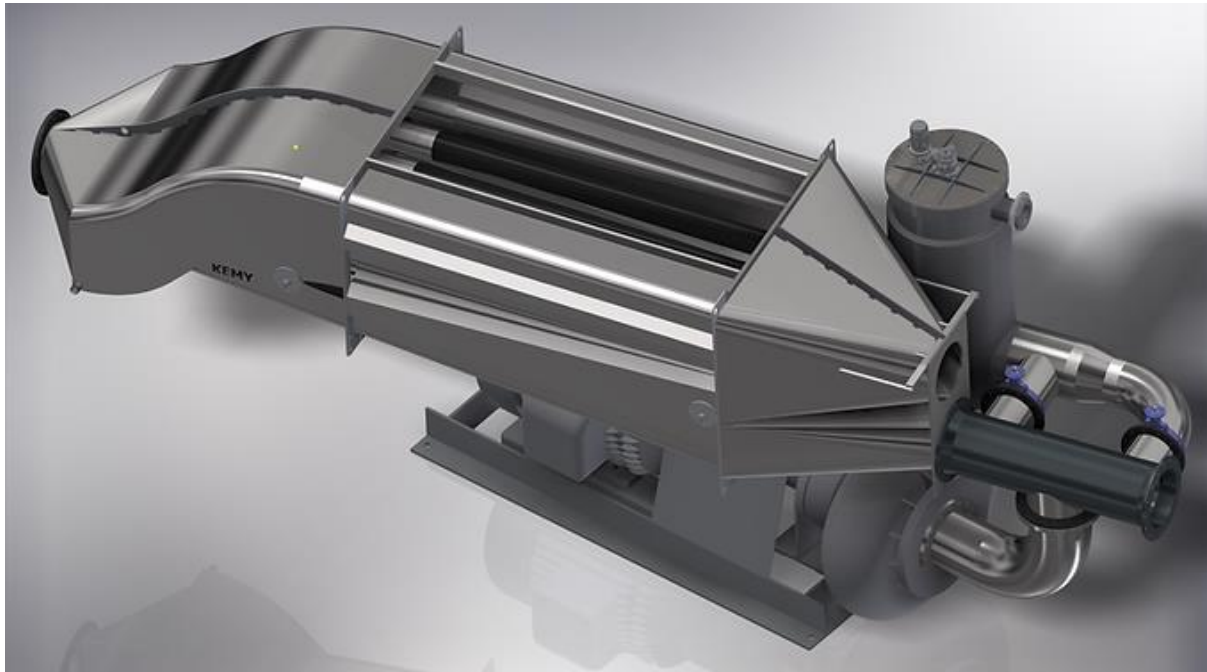
God fiskevelferd er en forutsetning for lav dødelighet og god kvalitet [2]. Ifølge Havforskningsinstituttet er det totalt sett betydelige problemer rundt fiskevelferd i oppdrettsnæringen. I tillegg til problemene som fisken opplever, påfører det næringen store tap i både økonomi og omdømme. Både næring, forskningsmiljøer og forvaltningsmyndigheter har derfor satt seg mål om å redusere dødeligheten og bedre velferden til oppdrettsfisken [3]. Det er dermed kritisk å sette fiskevelferd på toppen av prioriteringslisten når man skal utvikle nye produkter for næringen. For å få godkjent nye innovasjoner må fiskevelferden kunne dokumenteres.

Å optimalisere sortering av oppdrettsfisk har vært lavt prioritert sammenlignet med bekjempelse av lakselus og reduisering av rømmingsfare. Der det stadig har vært innovativ utvikling rundt lakselus og rømming, foregår sortering fremdeles ved hjelp av maskiner som ikke er utviklet med hensyn til fiskevelferd og dagens høye produksjonsvolum. Siden sortering spiller en stadig viktigere rolle i moderne oppdrettsindustri, er fordelene man kan oppnå enorme om man lykkes i å optimalisere sorteringsprosessen. Nøkkelen til suksess vil være en løsning som kan håndtere store produksjonsvolum samtidig som fiskevelferd og bærekraft ivaretas.



Figur 1: Illustrasjonsbilde [4]

1.1 Bakgrunn



Figur 2:Kemy [5]

Kemy AS er en gründerbedrift som optimaliserer utstyr innenfor fiskeoppdrett. Bedriften holder til i Ålesund og er en del av den marine klyngen på Nord-Vestlandet. Kenneth Myklebust er grunnlegger og daglig leder. Myklebust jobber til daglig som teknisk sjef i oppdrettsselskapet Hofseth Aqua, og har dermed innsikt i hvilke utfordringer og muligheter som er aktuelle i oppdrettsnæringen. Grunnet det økende behovet for sortering av levende fisk, er Kemy Split under utvikling. Per dags dato er prototype ferdig produsert og det ventes på tillatelse fra Mattilsynet til å kjøre fullskala-testing med levende fisk. Fiskevelferd er hovedprioritet i utviklingen.

I korte trekk splittes fiskegrupper basert på størrelse og vekt. Fisk blir pumpet opp fra sjøen og inn i maskinen. Sorteringsmekanismen består av koniske ruller i to ulike høyder. Fisk over en gitt størrelse vil skli over rullene til øvre utløp og videre i prosessen, mens mindre fisk vil falle gjennom rullene til nedre utløp som fører fisken tilbake til merden. Sorteringsrullene blir automatisk justert ved hjelp av aktuatorer som mottar signal fra fisketeller. Returvann og fisk blir avluset. Prototype er hovedsakelig produsert i rustfritt stål.

1.2 Problemstilling

«Vil maskinen og dens bestanddeler håndtere påkjenninger som forventes å oppstå?»

Oppgaven vil undersøke påvirkende krefter og hvordan disse vil påvirke konstruksjonen. Analysen vil bidra til å utvikle prototypen i veien videre mot ferdig salgsprodukt.

1.3 Begrensninger

Begrensninger er som følger:

- Systemer knyttet til justeringsmekanisme, fiskepumpe og avlusingsenhet.
- Termiske variasjoner.
- Økonomiske faktorer.

2. Metode

Kvantitativ og kvalitativ forskning er komplementære metoder som benyttes for å få resultater som både går i dybden og i bredden [6]. Oppgaven blir løst ved å kombinere disse to metodene.

2.1 Kvalitativ metode

Kvalitative data er informasjon som først og fremst beskriver et emne fremfor å måle det [6]. Innledningsvis i prosjektet ble det lagt ned mye tid til å avgjøre hvilke maskinkomponenter og påvirkende faktorer som skal danne videre grunnlag for analysen. Dette ble gjort gjennom innhenting av fagteori og dialog med veiledere og fageksperter. Maskinen ble grundig undersøkt gjennom 3D-modeller og fysisk observasjon. Siden maskinen er en ny type løsning, er det essensielt å forstå systemet og dets funksjon, samt hva som skiller den fra eksisterende løsninger.

2.2 Kvantitativ metode

Kvantitative data er konkret og statistisk, og har ofte en tallfestet verdi. Eksperimentell metode med bruk av avanserte dataverktøy blir brukt til å svare på problemstillingen. Gruppen har erfaring med disse programmene fra tidligere modelleringsfag gjennom studieløpet. Siden denne type analyseverktøy ikke er brukt ved design av prototypen, er det interessant å se om det gir forventede resultater og dermed en indikasjon på om maskinen er riktig dimensjonert.

Det vil analyseres hvordan fiskemassen påvirker sorteringsruller og om øvrig stålkonstruksjon vil tåle maks tillatte laster. Siden det ikke eksisterer tallfestet data på hvilke krefter som vil påvirke maskinen, blir en sentral del av analysen å beregne kreftene som oppstår. I andre del vil effekter av påført undertrykk undersøkes.

2.2.1 Programvare

Gruppen fikk tilsendt CAD-modell fra KEMY AS. Det ble gitt frihet til å utføre nødvendige modifikasjoner for å tilpasse modellen til analyseverktøyene.

Creo Parametric blir brukt som modelleringsprogram.

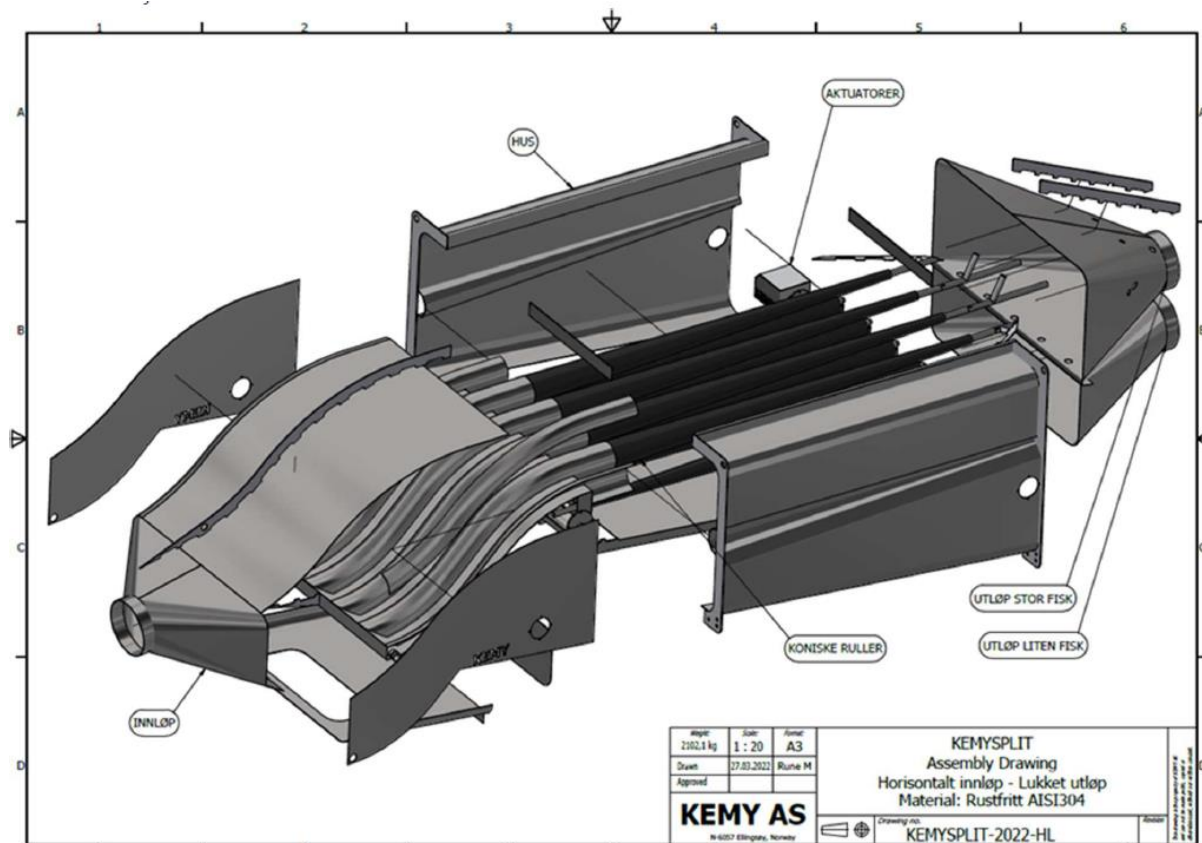
ANSYS Workbench 2021 blir brukt til å statiske analyser.

Alle modeller lagres som STEP-fil, som er standarden for utveksling av produktdata [7]. Dette filformatet forenkler deling av modeller mellom forskjellige CAD-programvarer.

3. Hvorfor Kemy Split

Dette kapitlet vil presentere hovedkomponenter, samt hva som skiller maskinen fra eksisterende løsninger. For å få forståelse for maskinens design og funksjon, bør man kjenne til relevante utfordringer og gjeldende retningslinjer.

3.1 Hovedkomponenter



Figur 3: Exploded view Kemy Split

3.1.1 Innløp



Figur 4: Kemy Split innløp



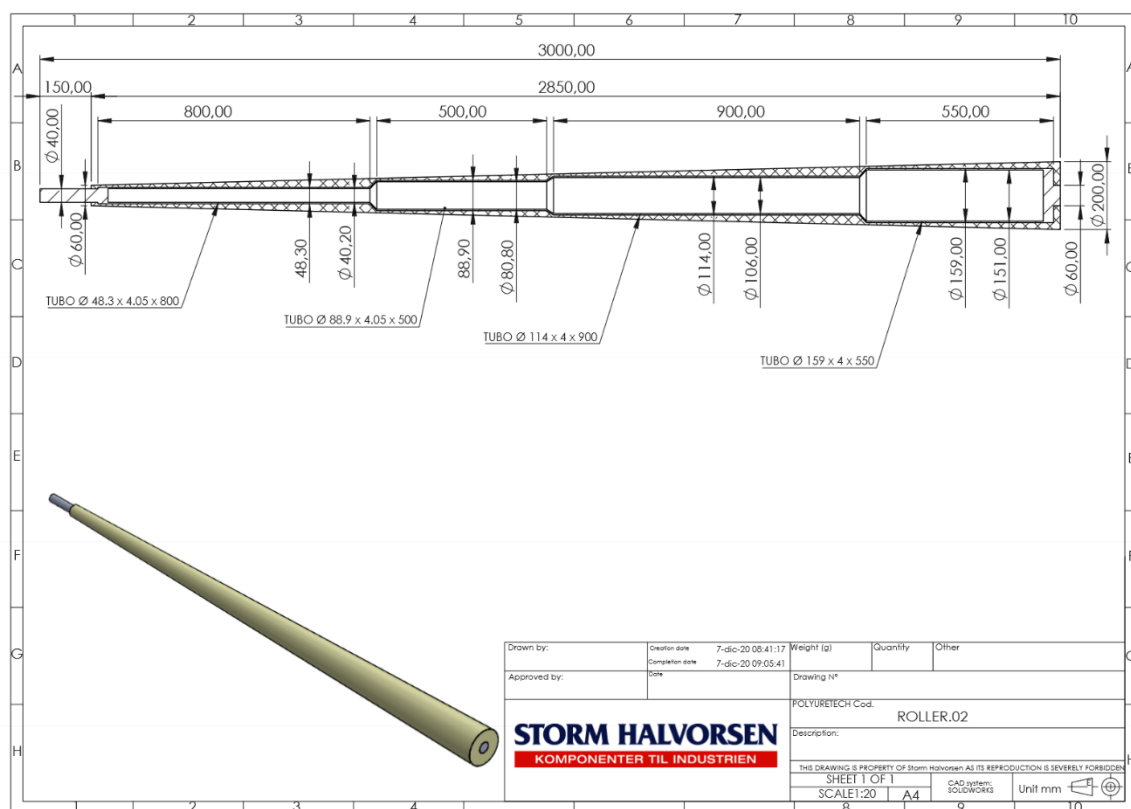
Figur 5: Innløp

Innløpet avgjør hvordan fisken kommer inn i selve sorteringsmekanismen, så utformingen av dette er viktig. Som figur 5 viser er det utformet for at fiskene skal legge seg mest mulig i ønsket retning for å sikre god sortering. Stort volum og radius på innløp er viktig for å ivareta fiskevelferd og enkelt renhold. Forskning har vist at trenging stresser fisken mest [8]. Risiko for trenging reduseres betraktelig i et hensiktsmessig utformet innløp, da innløpet er en plass for fisken kan være utsatt for trenging.

3.1.2 Sorteringsruller



Figur 6: Sorteringsruller



Figur 7: Teknisk tegning

De koniske rullene utgjør sorteringsmekanismen. Alle rullene er identiske og dimensjonert innvendig med fire forskjellige diameter som en flaggstang. Den tekniske tegningen viser to forskjellige komponenter av sorteringsruller. Det ytre, blåfargede laget av sorteringsrullene er laget i en spesiell type polyurethane. Dette plastmaterialet har lav friksjon mot fisken og lar den dermed skli enkelt

gjennom sorteringsmekanismen. Fisken har minimal kontakt med rullene, som er viktig for å redusere slitasjeskader på fisken, samt sørge for god distribusjon inn og ut av maskinen. Designet gir tidseffektivt vedlikehold og utskiftning av rullene. Ved drift har de ikke mulighet til å bevege seg da massen til rullene sørger for at den ligger stabilt.

3.1.3 Hus og utløp

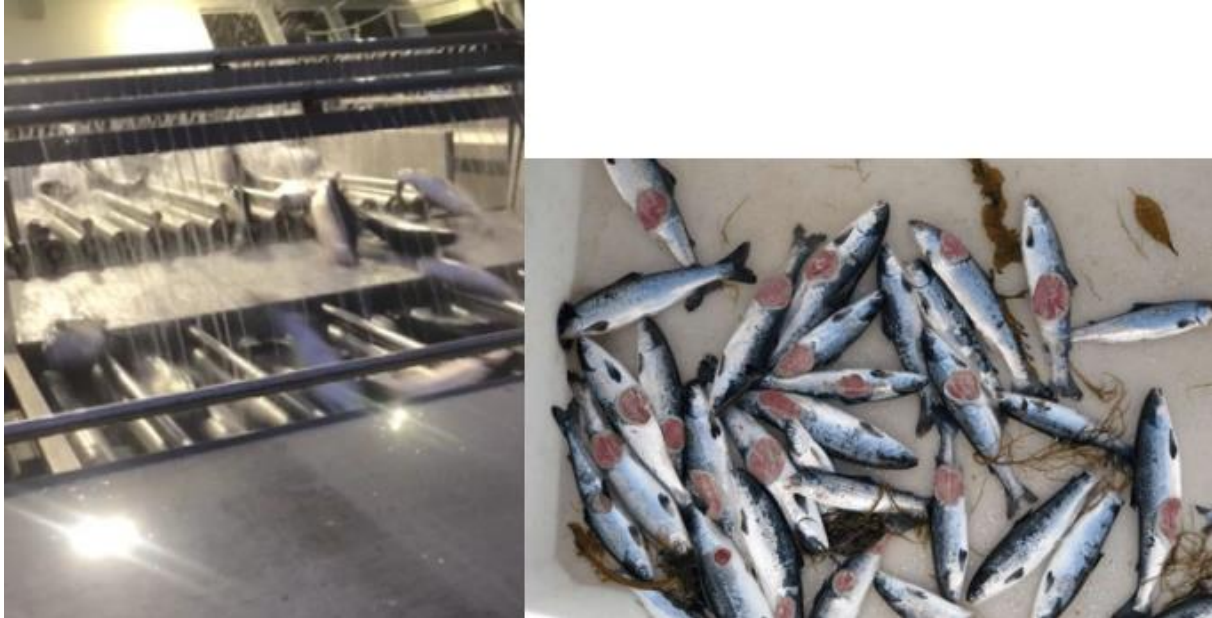


Figur 8: Hus og utløp

Huset er stålkonstruksjonen som omkranser sorteringsmekanismen. Husets lokk er foreløpig ikke konstruert. Innhulingen i sideveggene til huset gir flere sorteringsspalter, samt ekstra styrke til konstruksjonen. De to utløpene leder fisken videre, hvor nedre utløp fører fisk og vannstrøm tilbake til sjøen, mens øvre utløp vil ofte føre fisk videre til slakt. Figur 8 inkluderer ikke nedre utløp.

3.2 Utfordringer rundt eksisterende løsninger

Viktigheten av fiskevelferd i oppdrettsnæringen er tydelig understreket, og utfordringer rundt de eksisterende løsninger er nært knyttet til dette. Mange tradisjonelle sorteringsmaskiner tar ikke nok hensyn til fiskens helse.



Figur 9: Fisk i fri luft gir slagskader og sår

Bildet over viser et vilkårlig eksempel av en sorteringsprosess. Dette er modifiserte maskiner som opprinnelig er designet for pelagisk industri. I slike tilfeller er fisk mye i fri luft hvor den får sprelle fritt. Dette fører til slagskader, sår og dårlig sortering, hvor konsekvensene ofte er utvikling av vintersår [9], økt dødelighet og nedklassing på fisk som skal slaktes. Høy dødelighet er en stor utfordring for hele næringen. Årlig blir det satt ut mer enn 350 millioner laks og regnbueørret i sjøen. Sykdommer, parasitter og skader som oppstår ved håndtering og transport, er blant årsakene til at hele 15–20 % av disse dør [3]. De høye tallene skyldes altså flere faktorer enn sortering alene, men et viktig grep for å redusere dødeligheten er å utvikle produksjonsløsninger som sikrer skånsom håndtering.

3.3 Retningslinjer

Dyrevelferdslovens krav til god fiskevelferd hos akvakulturfisk er i stor grad regulert gjennom forskrifter. Dette innebærer at det er gitt en rekke bestemmelser om fiskevelferd rundt all håndtering av fisk. Gjennom det kommende arbeidet vil paragraf 19 fra Akvakulturforskriften være tatt i betraktning.

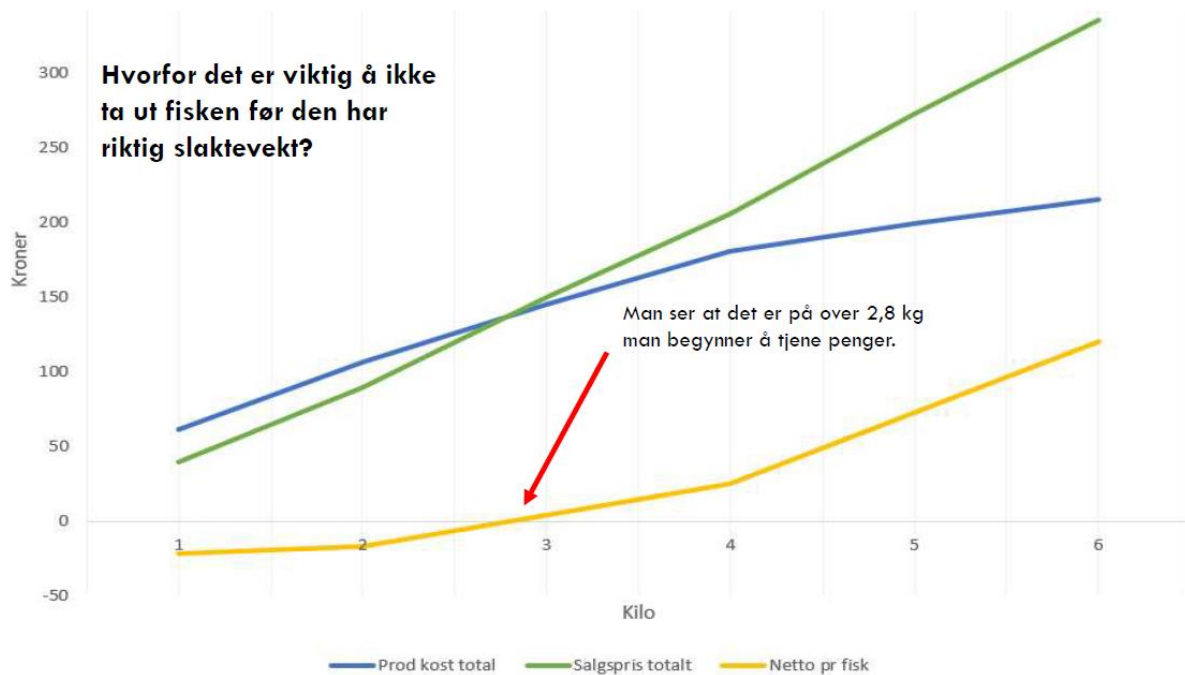
§ 19. Installasjoner og produksjonsheter [10]

Installasjoner og produksjonsheter skal:

- a. være slik at fiskene har god mulighet for bevegelse og annen naturlig adferd,
og eventuelt ha egnet substrat til støtte og skjul,
- b. ikke ha skarpe kanter og fremspring eller bestå av et materiale som kan være skadelig for fisken,
- c. medføre minimal risiko for skade og unødige påkjenninger, herunder ved utsett og innfangning,
- d. være slik at det er enkelt å foreta inspeksjon av fiskene,
- e. være slik at det er mulig å gi fiskene godt stell og god behandling, herunder effektiv medisinsk behandling
for alle affiserte individer,
- f. være tilrettelagt for godt renhold, og
- g. være godt egnet for stedet de skal brukes, under hensyn til bl.a. værforholdene.

3.4 Fordeler

Det som skiller Kemy Split fra mange eksisterende løsninger, er at fisken følger vannstrømmen fra merden gjennom hele prosessen. Dette påfører fisken minimalt med stress og man unngår slagskader. Selve sorteringsmekanismen har minimal friksjon mot fisken, og sørger for god og effektiv sortering. Løsningen er hermetisk lukket, noe som gjør renhold enkelt og effektivt. Fisken trenger gode miljøforhold for å trives, og godt renhold er essensielt for å unngå sykdomsfremkallende organismer [11].



Figur 10: Produksjonskost og netto inntjening

Lykkes man med en mer skånsom behandling som sikrer god fiskehelse, vil det og gi økt økonomisk utbytte. Grafen fra figur bruker tall fra Hofseth Aqua sin ørretoppdrett. Ved å unngå å slakte fisk under profitabel slaktevekt, samtidig som dødeligheten reduseres, blir den økonomiske oppsiden skyhøy. Dette bidrar også til mer bærekraftig matproduksjon. For én enkel merd med 100 000 stk. fisk, er gevinsten over 3 million NOK.

Hva er gevinsten med å bruke Kemy Split i 1 stk merde med 100 000 fisk:

REDUSERT DØDLIGHETEN MED 5%:	1 000 000,-
SØRGER FOR ALL FISKEN SLAKTES VED «IDEALVEKT»:	1 200 000,-
REDUSERER ANTALL AVLUSINGER FRA 5 STK TIL 3 STK:	900 000,-
ØKT TILVEKST:	??? ??,-
TOTALT PR MERDE:	3 100 000,-

Figur 11: Økonomisk gevinst

4. Teoretisk grunnlag

4.1 Krefter påført fra fiskemassen

4.1.1 Pumpeeffekt

Et uttalt mål fra bedrift er at maskinen skal kunne håndtere 200 tonn fisk i timen ved maks kapasitet. Kemy Split vil ofte være montert i et system med fiskepumper og andre avlusingsenheter. Disse opererer gjerne med tilsvarende kapasitet/pumpeeffekt, så man vil unngå å bli en «flaskehals» for kapasiteten i produksjonsprosessen [12].

200 tonn/time kan omgjøres til 55,56 Kg/sekund. For å omgjøre dette til krefter:

$$55,56 \frac{Kg}{sekund} * 9,81 \frac{meter}{sekund^2} = 545 \frac{N}{sekund}$$

Ved statisk tilnærming til problemstillingen, tas det utgangspunkt i at fiskene beveger seg over rullene med en syklus på 2 sekunder.

$$545 \frac{N}{sekund} * 2 \text{ sekund} = 1090N$$

Med utgangspunkt i 1090N og rullenes lengde på 3 meter, virker det til enhver tid en kraft **363,33 N/meter**, som gir grunnlag til videre utregning. For å finne ut om dette er realistisk ble det videre fremstilt hvor mye masse som er på rullene:

$$\frac{1090 N}{9,81 \frac{meter}{(sekund)^2}} \cong 111,11Kg$$

Bruker man fiskens gjennomsnittsmasse på 4,5 kg vil det være ca. 25 fisk på rullene til enhver tid. Etter fysiske observasjoner på maskinen virker dette som et realistisk estimat.

4.1.2 Fultons formel

For å få et bredere grunnlag i videre utregning, kan Fultons formel brukes til å se sammenhengen mellom lengde og masse til fisken [13]:

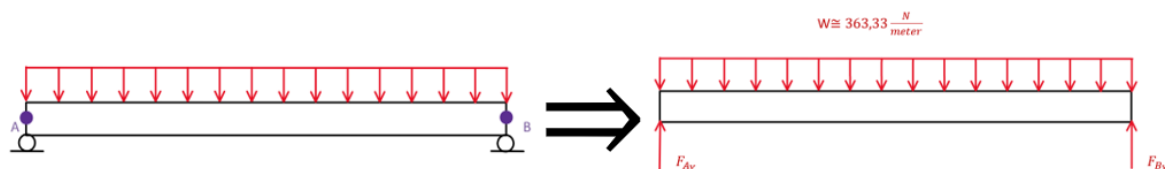
$$K = \frac{100 * Vekt}{Lengde^3}$$

K står for kondisjonsfaktor og indikerer om fisken er i god eller dårlig form. Kondisjonsfaktoren er artsavhengig, for eksempel har ørret verdier rundt 1.

4.1.3 Hvordan påvirker fisk sorteringsrullene

Belastningen fra fisk på sorteringsrullene må ifølge Newtons 3.lov tas opp [14]. Det er definert i dette prosjektet som glidelager og fast innspent lager. Ved fast innspent lager vil to legemer være fast i hverandre og horisontale, vertikale og momentkrefter må tas med i beregning. Glidelager tar opp vertikale krefter og kan bevege sett fritt horisontalt, sett fra grunnflaten. Før utregning lages Fritt Legeme Diagram (FLD) for å visuelt fremstille kjente og ukjente krefter. FLD er en forenkling og fremstiller kun deler av virkeligheten [15]. Det tas utgangspunkt i homogent materiale hvor det ikke tas hensyn til PU-materialet, E-modul, at krefter virker konisk og at tverrsnittarealet endrer seg. Disse faktorene vil inkluderes senere i oppgaven.

FLD:



Figur 12: FLD

$$+\uparrow \Sigma F_Y = F_{A_Y} + F_{B_Y} - 363,33 \frac{N}{meter} * 3meter = 0$$

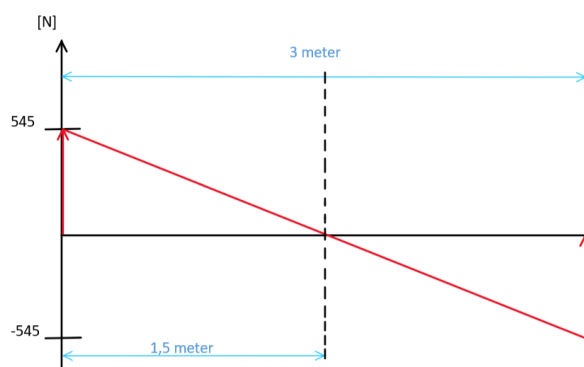
$$\Rightarrow F_{A_Y} + F_{B_Y} = 1090N \quad (1)$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_A = 363,33 \frac{N}{meter} * 3meter * 1,5meter - F_{B_Y} * 3meter = 0 \quad | * \frac{1}{3} meter$$

$$\Rightarrow F_{B_Y} = 363,3 * 1,5 = 545N \quad (2)$$

$$\Rightarrow F_{A_Y} = 1090N - 545N = 545N$$

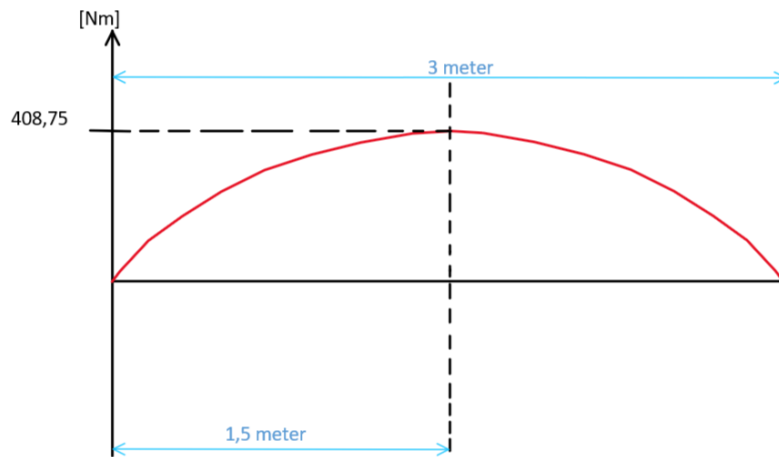
Hvor kreftene har høyest verdi blir analysert i skjærkraft- og momentdiagram. Skjærkraft er innad i materialet på legemet. Skjærkraft-diagram vises under:



Figur 13: Skjærkraftdiagram

Skjærkraftdiagrammet viser at modellen er symmetrisk. Momentkrefter er integralet av skjærkreftene og viser hvor det oppstår størst spenning. Disse kreftene regnes ut som:

$$\frac{545N \times 1,5meter}{2} = 408,75Nm$$



Figur 14: Momentkraftdiagram

Ved et større tverrsnitt vil legemet tåle høyere påsatte krefter enn ved lavere. For å regne ut bøyspenninger er tverrsnittet sentralt da forholdet mellom tverrsnitt, avstand fra tyngdepunktet, og annet arealmoment gitt ved følgende formel [16]:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I}$$

Der M er momentkreftene, I er annet arealmoment og c er avstand fra tyngdepunkt. For sirkel er c lik radius. Følgende formel for sirkel, er gitt for annet arealmoment [17]:

$$I = \frac{1}{4} \times \pi \times r^4$$

4.2 Materialelegenskaper

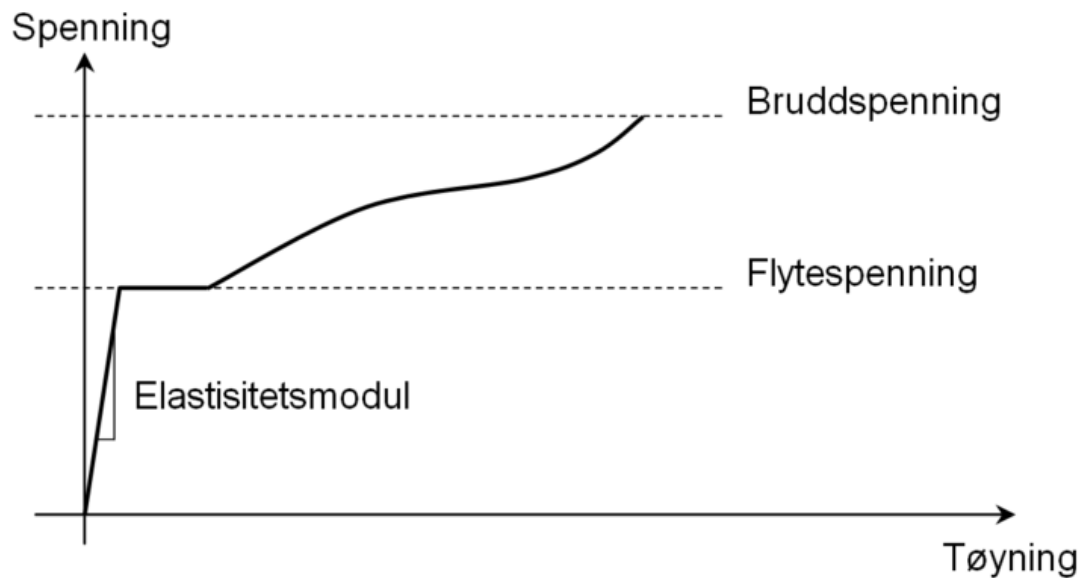
4.2.1 Rustfritt stål



Figur 15: Prototype av Kemy Split

Prototypen er produsert i hovedsakelig rustfritt stål, AISI 304L. Stålet har gode formings- og sveiseegenskaper, samt sterk korrosjonsbestandighet, styrke og høy strekkbarhet. 304L er en versjon av 304-legeringen med lavere karbon-innhold, noe som minimerer skadelig karbidutfelling ved sveising [18]. Dette er dermed et godt egnet materiale til Kemy Split.

4.2.2 E-modul og flytegrense



Figur 16: E-Modul [19]

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Elastisitetsmodulen, ofte omtalt som E-modul eller Youngs's Modulus, er forholdet mellom spenning (stress, σ) og tøyning (strain, ϵ) når deformasjonen av et materiale er elastisk. E-modulen forteller om materialets stivhet [20].

På toppen av den lineære linjen får man materialets flytegrense (yield strength), som forteller hvor mye spenning materialet kan påføres før det går over til plastisk deformasjon. Bruddspenningen (ultimate strength) er når materialet går til brudd.

Elastisk deformasjon er når materialet går tilbake til sitt originale utgangspunkt etter å ha blitt utsatt for spenninger, mens plastisk deformasjon blir permanent. I designprosesser er flytegrensen et kritisk punkt.

Modulus of Elasticity	193 - 200 GPa
Tensile Strength, Ultimate	564 MPa
Tensile Strength, Yield	210 MPa

Tabell 1: Utvalgte materialegenskaper, AISI304L [21]

Materialegenskaper i figur over er utgangspunktet i kommende analyse. Det er eksperimentert med noen andre legeringer, blant annet SS316, da de har omtrent samme egenskaper.

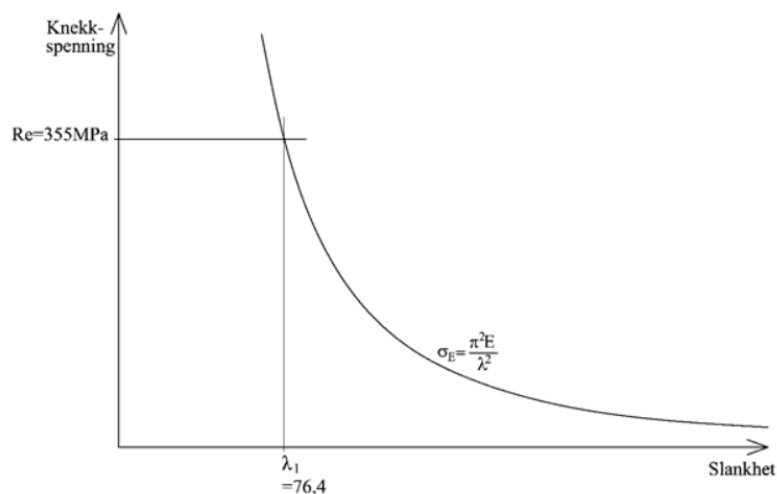
4.2.3 Knekking

I tillegg til elastisk og plastisk deformasjon, kan også knekking oppstå. Knekking er en form for svikt hvor et konstruksjonselement under trykk kollapser, som regel ved en plutselig sideveis svikt med store deformasjoner. Knekking kan oppstå selv om trykkspenninger ligger under materialets flytegrense. For å finne teoretisk knekklast kan man benytte Eulers formel:

$$P_k = \pi^2 \frac{EI}{L_k^2}$$

- P_k knekklast
- E elastitetsmodul
- I treghetsmoment
- L_k knekk lengde

E-modul er den eneste materialegenskapen som inngår i formelen. Element vil alltid knekke ut om tverrsnittets svakeste akse. Den tilhørende knekkspenningen, Eulerspenning, er knekklasten delt på stavens tverrsnittsareal.



Figur 17: Knekkspenning per slankhet

Diagrammet viser knekkspenning som funksjon av slankhet for stål, og forteller i praksis at til lengre og tynnere et element er, desto lettere vil knekking oppstå. Korte og kompakte element vil ha stor kapasitet mot knekking, slike elementer får i stedet plastisk deformasjon.

Eulers formel er beregnet for en feilfri rett stav med leddlager og sentrisk last, så vil derfor ha lite relevans for videre arbeid. Grunnet kompleksiteten i geometrien til Kemy Split vil det ikke bli utledet manuelle beregninger innenfor å finne kritisk knekklast, da det ville krevd svært avanserte ligninger med usikre variabler. Simuleringsverktøy er bedre egnet for slike utregninger.

Betydning av geometri, laster og material- og fabrikasjonseffekter spiller en sentral rolle for den reelle knekkstyrken. Ser man for eksempel til plater, har de ofte en betydelig reststyrke etter at knekklasten er nådd på grunn av spenningsomlagring. Den kritiske lasten for en plate er derfor ikke knekklasten. For å finne den kritiske lasten må en ta hensyn til kapasiteten etter at knekklasten er nådd [20]

4.2.4 Sikkerhetsfaktor

Sikkerhetsfaktor har som formål å ta høyde for andre påvirkninger som ikke kan kalkuleres ellers. Sikkerhetsfaktoren baseres på grad av usikkerhet og feilkonsekvenser, og settes gjerne mellom to og tre. Ved grundigere analyser kan den reduseres. Eksempelvis brukes 1,5 ofte i flyindustrien. [22]

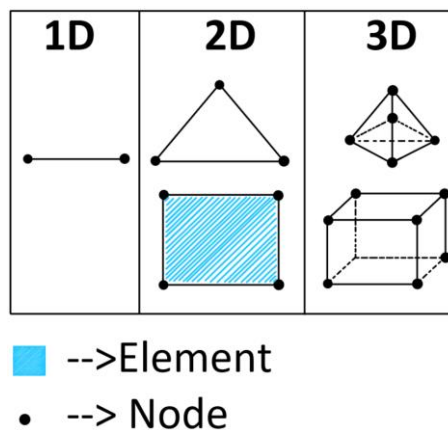
$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_y}{S.F}$$

Der σ_{max} er lik maksimal spenning konstruksjonen kan ha, σ_y er lik flyt grensen, og S.F er sikkerhetsfaktoren. En måte å bruke sikkerhetsfaktor på er ved å sammenligne σ_{max} med målt spenning.

4.3 Elementmetoden

Ved komplekse geometrier og fleraksiale krefter, er det svært krevende å utføre manuelle styrkeberegninger. Elementmetoden, på engelsk «Finite Element Method» (FEM), er en numerisk metode som har en sentral posisjon når det gjelder styrkeberegninger i konstruksjoner. Metoden benyttes også for beregning av strømming, varmeledning og andre typer feltberegninger [23]. Metoden ble utviklet av ingeniører innen styrkeberegning, og har gjort det mulig å beregne problemstillinger ved hjelp av matrisestatikk [24]. FEM forenkler designprosessen ved at man får testet produktet digitalt. Utfordringen med metoden er at man kan få feilaktige og villedende resultater om programmet ikke brukes riktig.

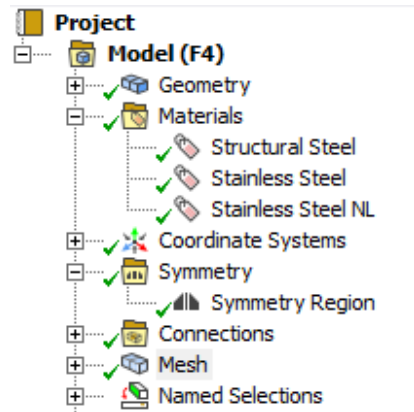
4.3.1 Mesh



Figur 18: Element og node

I moderne elementmetode tar man som regel inn en 3D-modell for analyse. For at datamaskinen skal kunne gjennomføre kalkulasjoner, må modellen deles inn i elementer med tilhørende noder. Dette kalles meshing, og er et av de viktigste trinnene for å utføre en nøyaktig simulering. Elementene som oppstår ved meshing blir til ulike figurer, ofte triangulære eller kvadratiske.

Bruker av systemet bestemmer selv størrelsen og dermed også antall elementer. Som regel vil mindre elementstørrelse gi nærmere tilnærming til virkeligheten, men krever desto mer dataressurser. Målet er å balansere mellom virkeligheten og tiden datamaskinen bruker på utregningene. Ved store, komplekse modeller kan det ta flere dager å gjennomføre simuleringer, særlig om mesh-valgene ikke er gunstige. De fleste programvarer har automatisk meshing, men for å oppnå et godt resultat bør bruker ha brukskompetanse i programvaren.

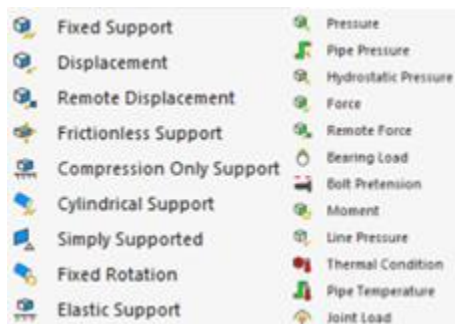


Figur 19: Oppsett i Ansys

I tillegg til mesh, er det flere steg som må defineres for datamaskinen. De inneholder som regel:

- **Geometry:** CAD-modell. Kan være modellert i Ansys Design Modeler eller importert fra eksternt program.
- **Materials:** Inneholder gjeldende materialdata. Hvilke materialegenskaper som kreves, varierer ut ifra type analyse.
- **Connections:** Forteller hvordan ulike komponenter skal oppføre seg i forhold til hverandre, for eksempel om de skal sitte fast i hverandre, ligge inntil, være friksjonsløst eller ikke.

4.3.2 Belastninger og betingelser

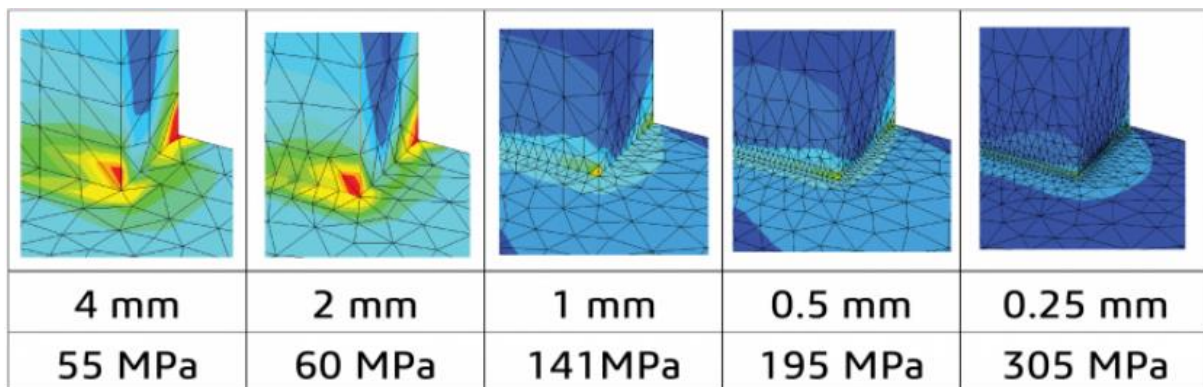


Figur 20: Belastninger og betingelser

Etter disse er definert, legger man på hvilke belastninger og fastholdninger som skal gjelde for den gitte modellen. Her har man mange valgmuligheter, og målet er å velge betingelser som relaterer seg nærmest til virkeligheten. Belastningene simulerer påkjenninger som systemet skal bli utsatt for. Fastholdninger hindrer modellen i å bevege seg på ulike måter. Fixed Support er en mye brukt fastholdning, da den relateres seg nærmest til fast innspent opplagring. Effekten av gravitasjonskrefter legges til ved Standard Earth Gravity. Her er det viktig å definere hvilken vei kraften virker.

4.3.3 Spenningssingulariteter

I simuleringer kan det oppstå punkter som gir urealistisk høye spenninger. Disse oppstår gjerne i hjørner hvor geometrien har en lav radier eller belastede kontaktflater med ulike strukturer. Siden spenning er definert som kraft delt på areal, vil spenningen ofte i teorien bli uendelig om mesh-elementer blir for små. Dette fører ofte til at simuleringprogrammet sliter med å konvergere til en spesifikk spenningsverdi, noe som gir unøyaktige resultater med lang kalkuleringsstid. Figur under viser et vilkårlig eksempel over hvordan Von Mises-spenning øker som følge av redusert elementstørrelse.



Figur 21: Spenningssingulariteter [25]

4.3.4 Analysetyper

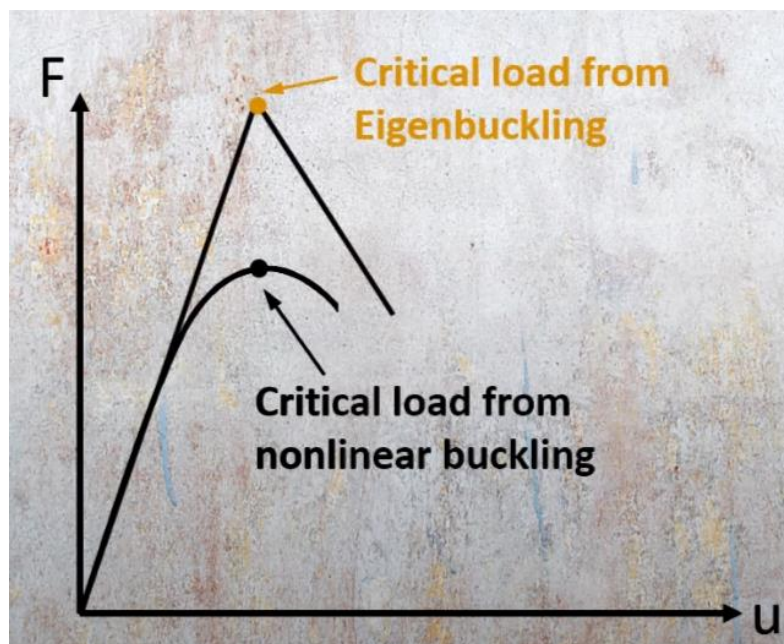
Static Structural

Elementmetoden blir brukt for mange ulike typer analyse. For styrkeberegning er statisk analyse (Static Structural) utbredt. En slik analyse forteller om spenninger, forlengelse og deformasjoner i en modell, og er et godt hjelpemiddel til for eksempel utvikling av prototyper. Statiske analyser kan løses lineært eller ikke-lineært. Lineære analyser forandrer ikke forholdet mellom spenning og forlengelse, og gir derfor begrensede resultat for modeller som går i den plastiske sonen etter flytegrensen. Ikke-lineær analyse ser på materialer som blir påført nok kraft til at materialet blir plastisk deformert. Slike analyser kan være svært komplekse, og kreve høy kompetanse og dataressurser. Denne oppgaven vil hovedsakelig bruke lineære statiske analyser.

Eigenvalue Buckling

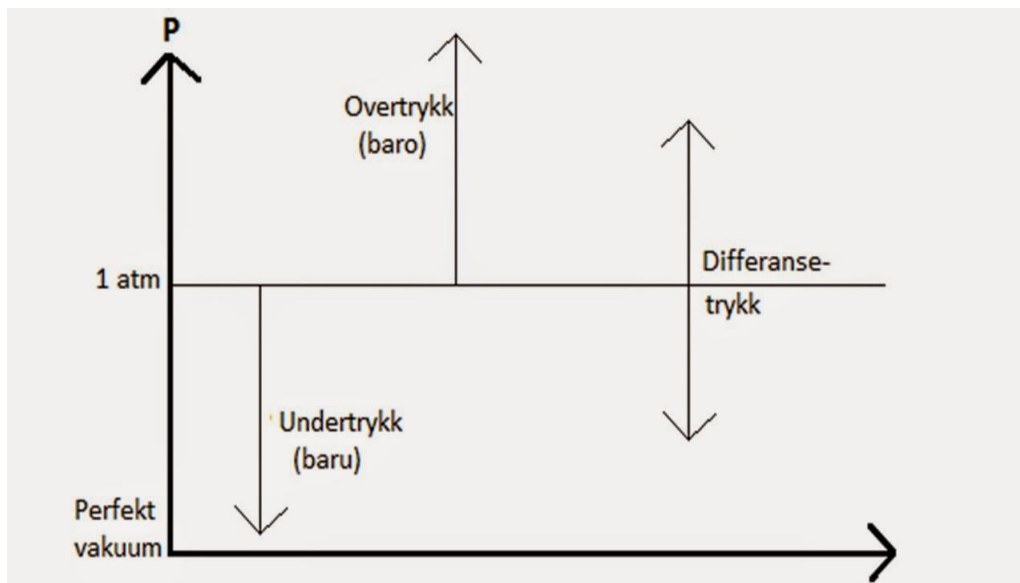
Eigenvalue Buckling et verktøy i Ansys Workbench for å estimere når og hvor knekking vil oppstå i et konstruksjonselement. Verktøyet bruker en lineær tilnærming til å regne ut teoretisk knekkstyrke. Metoden krever dermed mindre dataressurser og gir et godt utgangspunkt for tidlige stabilitetsundersøkelser. Eigenvalue bruker resultater fra statisk analyse til å forutsi knekkpunktet.

Knekkning er en svært ikke-lineær prosess. Siden Eigenvalue Buckling ikke tar hensyn til ikke-lineære faktorer, vil deler av resultatene være usikre. Spesielt utregning av kritisk last vil ofte være høyere sammenlignet med reell verdi, noe som illustreres i figur.



Figur 22: Eigenbuckling [26]

4.4 Undertrykk



Figur 23: Trykk [27]

Det atmosfæriske trykket tilsvarer tyngden av den ovenforliggende luften per flateenhet. [28] 1 atmosfæretrykk (atm) tilsvarer rundt 1,01 bar ved havnivå. Om trykket blir lavere enn dette kalles det undertrykk. Siden Kemy Split er hermetisk lukket, vil det oppstå undertrykk om luften i maskinen reduseres. Undertrykket blir altså relativt i forhold til atmosfæretrykket og kan defineres som:

$$\text{Relativt trykk} = \text{Trykk inni lukket beholder} - \text{Trykk utenfor lukket beholder}$$

Undertrykk påfører høy belastning for konstruksjonselementer. Konsekvensene kan være enorme for konstruksjoner som ikke er tilstrekkelig dimensjonert. Særlig knekking er en vanlig form for svikt ved for stort undertrykk. Strukturer og komponenter som er spesielt utsatt for undertrykk er flater med stort areal, manglende støtte/stivere og tynne seksjoner [29].

Nofima har i samarbeid med FHF (Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering) hatt et forskningsprosjekt knyttet til velferdsindikatorer hos vakuumpumpet fisk. Et absolutt trykk mellom 0,3 og 0,7 bar viste ingen skade på vakuumeksponert fisk [30]. Sett fra et fiskevelferdsperspektiv er altså dette akseptable verdier å bruke som utgangspunkt i analysen.

5. Fremgangsmåte

5.1 Observasjonstur

Midtveis i prosjektfasen reiste gruppen til Sunnmøre for fysisk observasjon av Kemy Split. Dette var i en tidlig testfase hvor maskinen var montert til et sjøvannsløp for å kjøre tester med død fisk. Forberedelser som ble gjort i forkant var å forstå maskinen basert på samtale med veiledere og tilsendte bilder og CAD-filer. Basert på figur 24, virket festepunktet til nedre ruller som et underdimensjonert element av konstruksjonen i forkant av observasjon, og et punkt som ville være utsatt for utmatting og brudd. Siden maskinen var vesentlig mer robust og veldimensjonert i forhold til inntrykket gruppen hadde fått, førte det til konkrete endringer i tiltenkt problemstilling.



Figur 24: Bilde utlevert fra bedrift

5.1.1 Vibrasjon

Vibrasjonskrefter eksisterer i ulik grad på alle maritime fartøy. Kreftene kommer hovedsakelig fra motoren, men også fra lasthåndterings- og kontrollutstyr, bølger og generell bevegelse på fartøyet. Siden Kemy Split i mange tilfeller vil monteres om bord større fartøy som for eksempel brønnbåter, var påvirkning av vibrasjonskrefter sett på som en mulig problemstilling innledningsvis. Dette da spesielt for opplagringssylindrene fra figur 24. Etter observasjon av hvor kraftig dimensjonert stålkonstruksjon og andre bestanddeler var, ble det konkludert med at vibrasjonskrefter vil ha minimal påvirkning. Veiledere med relevant kompetanse var enig i dette. Vibrasjon er et komplekst fagområde hvor det ville krevd avanserte dynamiske analyser for å utarbeide relevante resultater med hensyn til problemstillingen, noe gruppen har minimale forkunnskaper rundt. Grunnet høy kompleksitet og lav reell påvirkning blir vibrasjonskrefter neglisjert i oppgaven [31].

5.1.2 Hvordan sorteringsrullene er festet

Øvre:

De fire øvre rullene ligger i et sporklager som vist i figur 25. Sporet er utformet av komponenten som er sveist gjennom stålkonstruksjonen. Rullen vil derfor være mulig å løfte opp fra nevnte side. Ved motsatt side, der diameteren størst, er rullen presset inn i et hull og har liten mulighet til å bevege seg andre retninger enn inn og ut.



Figur 25: Sporklager



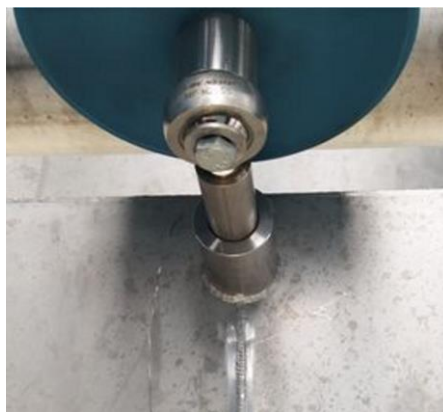
Figur 26: Opplagring til sorteringsruller

Nedre:

Fem nedre ruller hviler på en aksling som ligger vinkelrett i forhold til sorteringsrullene og har som formål å justere høyden. Akslingene på hver side har asynkrone justeringsmuligheter i høyden. Grunnet justeringsmulighetene blir spenningspunktet til rullene endret, og utmattelse vil derfor ikke ansees å være et problem. I enden ved minste diameter ligger rullene løst og er derfor nødvendige fester i motsatt ende. Opplagringssylindre tar imot diagonale og vertikale krefter, ikke horisontale. De går gjennom stålkonstruksjonen som vist i figur 29.



Figur 27: Opplagring



Figur 28: Opplagring nært



Figur 29: Opplagring nedenfor

5.2 Påvirkende krefter

Videre analyse av hvor mye krefter fra massen til fisken som påvirker sorteringsrullene blir presentert. Grunnet mange ulike variabler ble det opprettet et regneark i Excel for å strukturere og analysere disse dataene. Dette gir reliabilitet siden variablene kan endres og oppdateres. Det ble etterspurt fra bedrift å fremstille kapasitet ved ulikt antall sorteringsspalter, noe som inkluderes i regnearket. Spalter beskriver mellomrommet mellom øvre og nedre rull. Ved flere spalter vil avstanden mellom hver rull reduseres, og eksempelvis gjøre maskinen bedre tilpasset sortering av stor postsmolt, som er mindre fisk i en tidligere fase.

En av variablene er ulike bruksområder. For eksempel kan man variere mellom å sortere mindre fisk rundt om i merdene eller at det sorteres større fisk som skal til slakt. Kapasiteten avgjøres av antall tilgjengelige spalter, som igjen avhenger av bruksområdet. For å få best mulig resultat av regnearket kreves enten statistikk eller erfaring. Inputene som implementeres viser at det er forskjell av hvor mye krefter som virker.

Antall sorteringsruller vil være konstant på hver maskin og i fremtiden er det er aktuelt å tilby ulikt antall på for hver maskinmodell. Sett fra den nedre rull vil det være en spalte på hver side. På prototypen er det derfor være 9 ruller og 10 spalter. Hvert ark blir forklart under.

Ark «Oversikt»

Input er hvilke valg brukeren har som påvirker resultatene som Tabell 2: Eksempel på input viser. Det viser fire variabler som brukeren kan endre.

Input:	Skriv under
Sekund på syklus	1
Mellomrom fiskene [cm]	10
Kondisjonsfaktor (type fisk)	1
Masse som dekker to spalter [Kg]	5

Syklus
Syklus er definert ved tiden fisken bruker på å bevege seg fra starten på rullen til slutten.

Tabell 2: Eksempel på input

Syklus er definert ved tiden fisken bruker på å bevege seg fra starten på rullen til slutten. Praktisk sett vil det være mellomrom fra halen til hodet på fisken bak. Kondisjonsfaktor har stor påvirkning på resultatet grunnet Fultons formelen. Ved en viss masse på fisken vil den dekke to spalter. Det betyr at over angitt masse vil antall spalter halveres der under 1 Kg og over 7Kg er utenfor tabellens begrensninger.

Tabell for 10 Spalter og 9 Ruller										
Masse per fisk [Kg]	Masse per fisk [g]	Lengde per fisk [cm]	Tilgjengelige spalter	Antall fisk	Kapasitet [Kg/sekund]	Kapasitet [Tonn/t]	Statiske krefter			
							Totaltvekt på rullene [N]	Vekt per rull [N]	Skjærkrefter [N]	Momentkrefter [Nm]
1,0	1000	46,42	10	53,18	53,18	191,44	521,66	57,96	28,98	21,74
1,2	1200	49,32	10	50,57	60,68	218,46	595,30	66,14	33,07	24,80
1,4	1400	51,92	10	48,45	67,82	244,17	665,35	73,93	36,96	27,72
1,6	1600	54,29	10	46,66	74,66	268,79	732,45	81,38	40,69	30,52
1,8	1800	56,46	10	45,14	81,25	292,50	797,06	88,56	44,28	33,21
2,0	2000	58,48	10	43,81	87,62	315,42	859,52	95,50	47,75	35,81
2,2	2200	60,37	10	42,63	93,79	337,65	920,10	102,23	51,12	38,34
2,4	2400	62,14	10	41,58	99,80	359,28	979,03	108,78	54,39	40,79
2,6	2600	63,83	10	40,64	105,66	380,36	1036,48	115,16	57,58	43,19
2,8	2800	65,42	10	39,78	111,37	400,95	1092,58	121,40	60,70	45,52
3,0	3000	66,94	10	38,99	116,97	421,09	1147,47	127,50	63,75	47,81
3,2	3200	68,40	10	38,27	122,45	440,82	1201,24	133,47	66,74	50,05
3,4	3400	69,80	10	37,60	127,83	460,18	1253,98	139,33	69,67	52,25
3,6	3600	71,14	10	36,97	133,11	479,18	1305,78	145,09	72,54	54,41
3,8	3800	72,43	10	36,39	138,30	497,87	1356,69	150,74	75,37	56,53
4,0	4000	73,68	10	35,85	143,40	516,25	1406,78	156,31	78,15	58,62
4,2	4200	74,89	10	35,34	148,43	534,35	1456,09	161,79	80,89	60,67
4,4	4400	76,06	10	34,86	153,38	552,18	1504,69	167,19	83,59	62,70
4,6	4600	77,19	10	34,41	158,27	569,76	1552,60	172,51	86,26	64,69
4,8	4800	78,30	10	33,98	163,09	587,11	1599,87	177,76	88,88	66,66
5,0	5000	79,37	10	33,57	167,84	604,23	1646,52	182,95	91,47	68,61
5,2	5200	80,41	5	16,59	86,27	310,57	846,30	94,03	47,02	35,26
5,4	5400	81,43	5	16,41	88,59	318,92	869,07	96,56	48,28	36,21
5,6	5600	82,43	5	16,23	90,88	327,18	891,57	99,06	49,53	37,15
5,8	5800	83,40	5	16,06	93,15	335,35	913,82	101,54	50,77	38,08
6,0	6000	84,34	5	15,90	95,40	343,43	935,84	103,98	51,99	38,99
6,2	6200	85,27	5	15,74	97,62	351,42	957,62	106,40	53,20	39,90
6,4	6400	86,18	5	15,60	99,82	359,34	979,19	108,80	54,40	40,80
6,6	6600	87,07	5	15,45	101,99	367,17	1000,55	111,17	55,59	41,69
6,8	6800	87,94	5	15,32	104,15	374,94	1021,70	113,52	56,76	42,57
7,0	7000	88,79	5	15,18	106,29	382,63	1042,66	115,85	57,93	43,44

Tabell 3: 10 spalter og 9 ruller

Ark «8 Spalter» til «14 Spalter»

Ark «8 Spalter», «10 Spalter», «12 Spalter» og «14 Spalter» har helt likt oppsett og formlene er helt lik. «Tabell for 10 Spalter og 9 Ruller» blir derfor presentert som eneste utgangspunkt.

Vekt & Lengde:

Massen til fisken blir fordelt med intervall med 0,2 Kilogram. Tilsvarende blir det samme ved gram. Det er to kolonner med masse, en for grafisk framstillingen og blir presentert ved Kg, den andre er bli presentert i gram som blir brukt i formler videre.

Ved å snu på Fultons formel får man oppgitt lengden med hensyn på masse.

$$L = \sqrt[3]{\frac{100 * vekt}{K}}$$

Tilgjengelige spalter:

Når fisken kommer over en angitt masse vil den dekke to spalter. Dette er tatt med i beregning ved å bruke "HVIS"-funksjon der alt over input, «Masse som dekker to spalter [Kg]», halverer antall spalter. Fra Tabell 3: 10 spalter og 9 ruller er det markert i mørkest blått «Tabell for» og «10» er derfor angitt i to forskjellige ruter.

Antall fisk:

Formelen for antall fisk på rullene er:

$$\text{Antall fisk} = \frac{300 * \text{Tilgjengelig spalter}}{\text{Lengden per fisk}[cm] + \text{Mellomrom fiskene}[cm]}$$

300 er lengden på rullene oppgitt i cm.

Kapasitet:

Kapasitet er oppgitt i to kolonner med forskjellige benevninger der den første oppgis i Kg per sekund:

$$\text{Kapasitet} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Sekund}} \right] = \frac{\text{Masse}[Kg] * \text{Antall fisk}}{\text{Sekund på syklus}}$$

Andre kolonne oppgis benevningen til [tonn/time] der kapasiteten ganges med 3,6 for omgjøring.

5.2.1 Statiske Krefter

Statiske krefter er uthevet da dette er vesentlig for oppgaven. Grunnlaget for forenklinger er basert på teorikapitlet.

Totalvekt på rullene:

Følgende formel er brukt:

$$\text{Totalvekt på rullene} [N] = \text{Masse per fisk} [Kg] \times \text{Antall fisk} \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Vekt per rull:

Vekt per rull er regnet ut ved å ta totalvekt på rullene og delt på antall ruller. Antall ruller står i egen rute mellom «Spalter og» og «Ruller» i øverst i det mørkeblå området Tabell 3: 10 spalter og 9 ruller.

$$Vekt \text{ per rull} = \frac{Totalvekt \text{ p\aa rullene [N]}}{Antall Ruller}$$

Skjærkrefter:

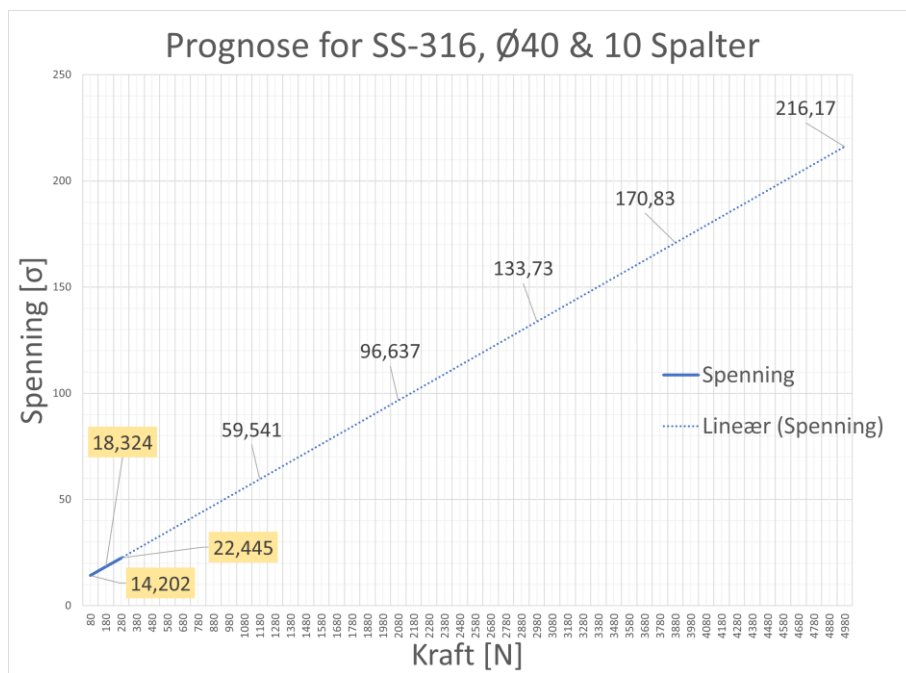
Forenkling gjør følgende mulig:

$$Skjærkrefter[N] = \frac{Vekt \text{ per rull [N]}}{2}$$

Momentkrefter:

Forenkling gjør følgende mulig:

$$Momentkrefter [Nm] = \frac{Skjærkrefter \times 1,5}{2}$$

Ark «Prognose for 10 Spalter»

Figur 30: Prognose ved 10 spalter

Utdrag fra tabell SS 316, Ø40		
Spenning [σ]	Kraft [N]	Antakelser
Fra Ansys		
13,79	80	Minst verdi
18,324	180	Realistisk verdi
22,445	280	Størst verdi
59,541	1380	
96,225	2580	
133,73	3880	
170,83	4980	
216,17	6080	

Tabell 4: Utdrag fra tabell SS 316, Ø40

Åtte resultater fra Ansys er presentert i «Utdrag fra tabell SS 316, Ø40» under kolonnen «Spenning» til venstre. Til høyre er «Kraft» presentert der de tre første verdiene er antas til å være minst, realistisk og størst verdi henholdsvis. Etter verdiene var samlet sammen, ble det oppdaget et lineært mønster som gjorde det mulig å prognosere hvor mye krefter som vil tilsvare maks spenning. Det ble funnet ved å avrunde resultatene og øke med 100 [N] for hver rute. Fem øvrige krefter ble bestemt for spenningsanalyse og utdrag av tabellen ble laget.

Input:	Skriv under
Sekund på syklus	1
Mellomrom fiskene [cm]	20
Kondisjonsfaktor (type fisk)	0,3
Masse som dekker to spalter [Kg]	3

Tabell 5: Inputs for minst antatt verdi

Input:	Skriv under
Sekund på syklus	1
Mellomrom fiskene [cm]	10
Kondisjonsfaktor (type fisk)	1
Masse som dekker to spalter [Kg]	5

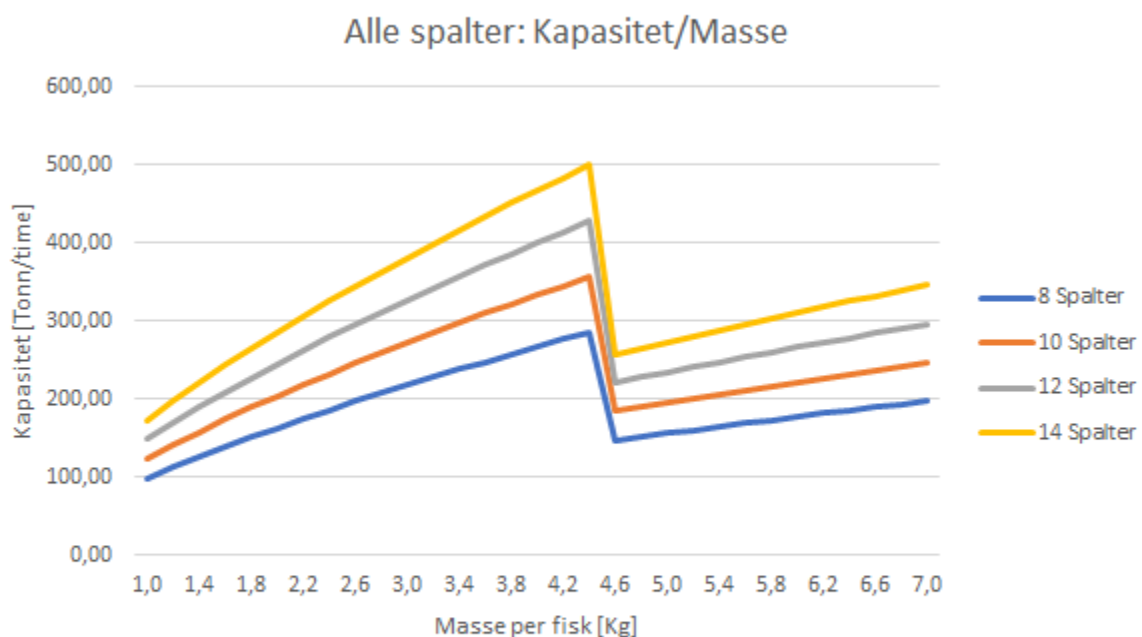
Tabell 6: Inputs for realistisk antatt verdi

Input:	Skriv under
Sekund på syklus	1
Mellomrom fiskene [cm]	0
Kondisjonsfaktor (type fisk)	1,7
Masse som dekker to spalter [Kg]	6

Tabell 7: Inputs for størst antatt verdi

5.3 Analyse 1: Maks tillatte laster

Responsible for process: Kenneth Myklebust	Approved by: Kenneth Myklebust
Reason for change: First version	



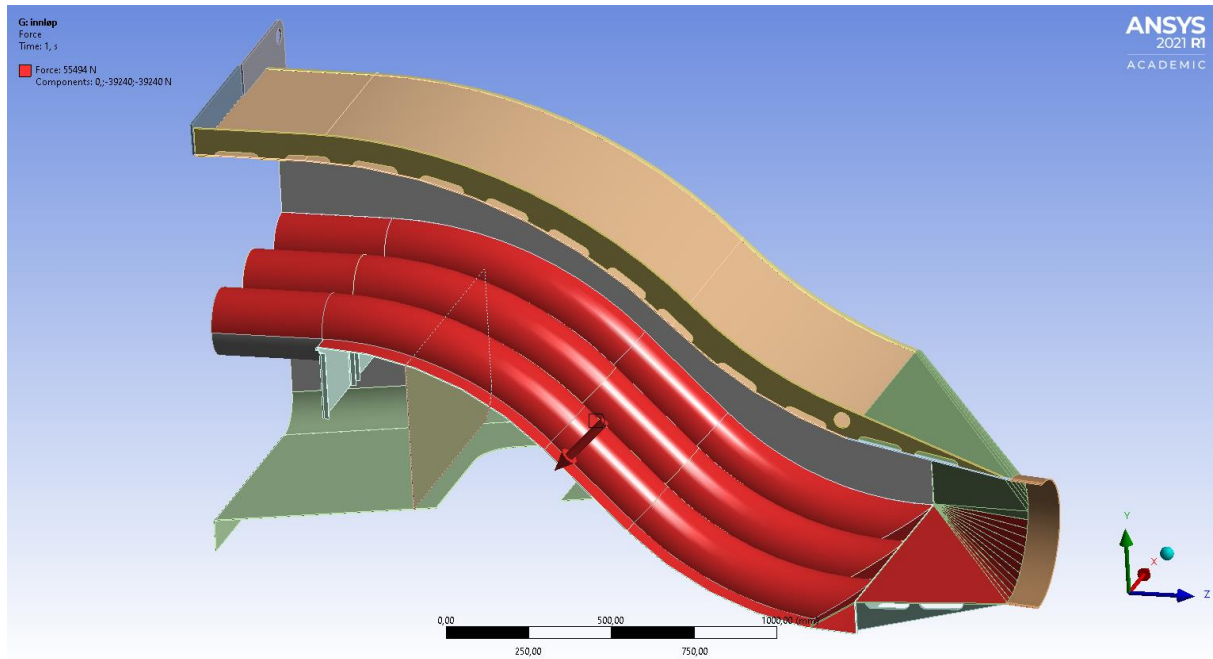
3.5 Maksimalt tillatte laster og lastfordeling

Tørrvekt: 2.000 kg, våtvekt (normal drift): 4.000 kg.

Komponentene er beregnet til å tåle alle værforhold og ytre påkjenninger som forventes å kunne oppstå.

Figur 31: Kapasitet fra brukerhåndboken

Kapasitetsdiagrammet er hentet ut ifra regnearket. Som punkt 3.5 i produktets brukerhåndbok viser, er maksimalt tillatt last ved normal drift 4000 kg. Dette betyr at maskinen skal tåle samlet vekt fra fisk og vannmasse på 4 tonn. Dette vil undersøkes som første punkt i FEM-analysen. I analysen vil innløpet analyseres, da det er den komponenten tar opp mest av vekt.



Figur 32: Påførte krefter, Analyse 1

4000 kg tilsvarer 39240 N. Denne kraften påføres separat i både negativ Y og negativ Z i forhold til koordinatsystemet vist i høyre hjørne. Dette gir høyere total last enn hva brukerhåndboken krever og fungerer dermed som en ekstra sikkerhetsmargin.

5.4 Analyse 2: Sorteringsrull

For å finne ut om sorteringsrullene er overdimensjonert, er det blitt analysert tre forskjellige modeller. Grunnlaget for dette er å øke reliabiliteten og spesifisere validiteten rundt problemstillingen. Kraftene som er benyttet er hentet fra mest realistisk verdi i utdrag fra «tabell SS316, Ø40» hvis ikke annet er nevnt.

5.4.1 Modell 1

Modell 1 tar utgangspunkt med diameter 40 mm hvor hypotesen tilsier, hvis den er overdimensjonert, vil en større diameter også være overdimensjonert. Modell 1 er analysert med åtte forskjellige krefter grunnet prognosen som nevnt i forrige kapittel. Fremgangsmetoden i Creo Parametric er å lage en sirkel med 40mm og forleng den 3000 mm. Endringer på kreftene er den eneste parameteren som er gjort for å resultere tabell «Stainless Steel 316, Ø40»

B: Modell1: 180 N

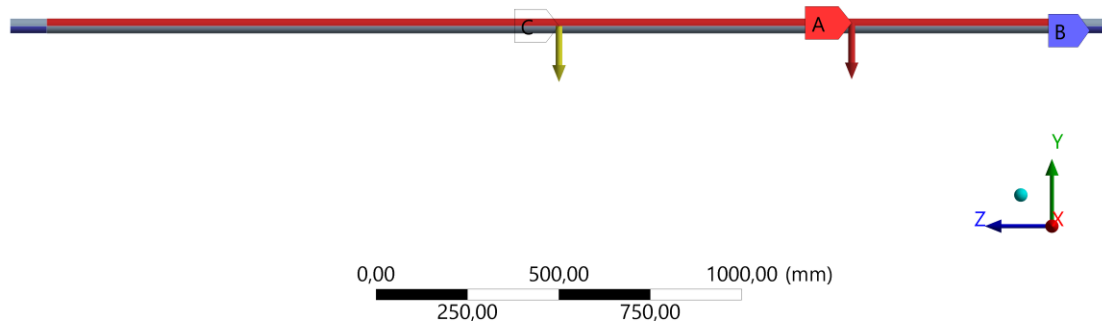
Static Structural

Time: 1, s

A Force: 180, N

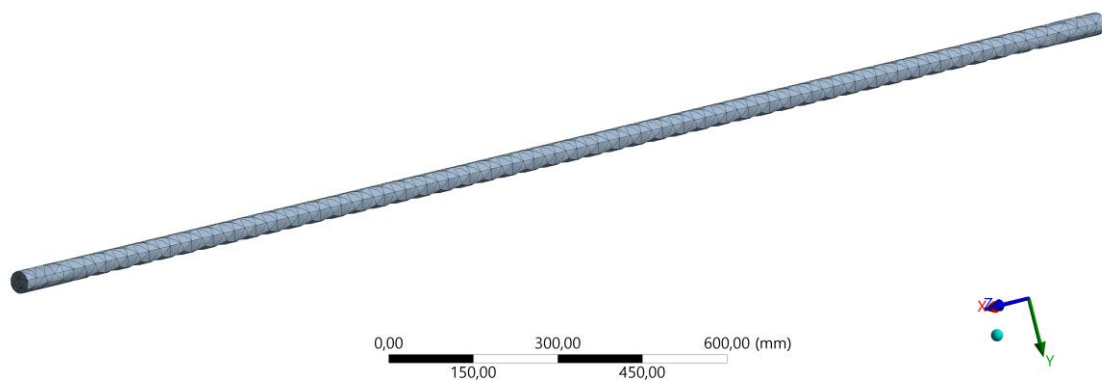
B Fixed Support

C Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²



Figur 33: Påførte krefter, Modell 1, Analyse 2

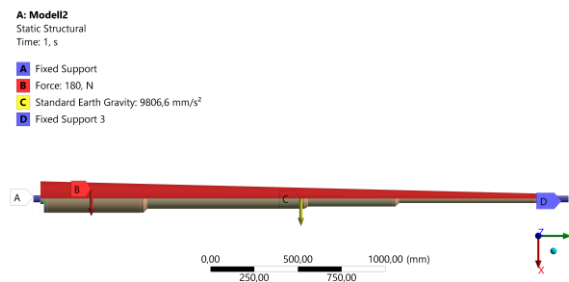
Figur viser påsatte krefter og fastholdninger.



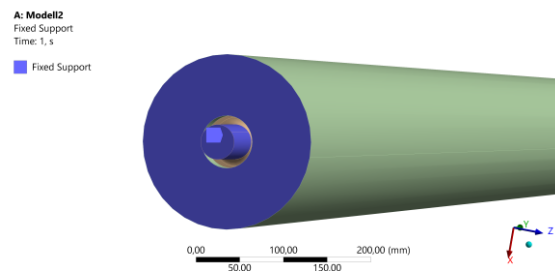
Figur 34: Meshing, Modell 1, Analyse 2

5.4.2 Modell 2

Modell 2 er identisk med teknisk tegning og består av to deler. Fremgangsmetoden for å lage delene, er ved funksjonen Revolve. Rullen tegnes den på langs og rulles 360 grader rundt aksene. PU-materialet vil da være hul i midten og blir videre festet sammen i Assembly. Materialet som er brukt i Ansys er PAI (30% Carbon fiber) for den blå plasten, da det mangler spesifikk materialdata av PU-materialet. Det var nødvendig å bruke et plast-materiale da massen påvirker mindre enn stål i tillegg til vinkelretningen til vekten.



Figur 35:Påførte krefter, Modell 2, Analyse 2



Figur 36: Fixed Support, Modell 2, Analyse 2

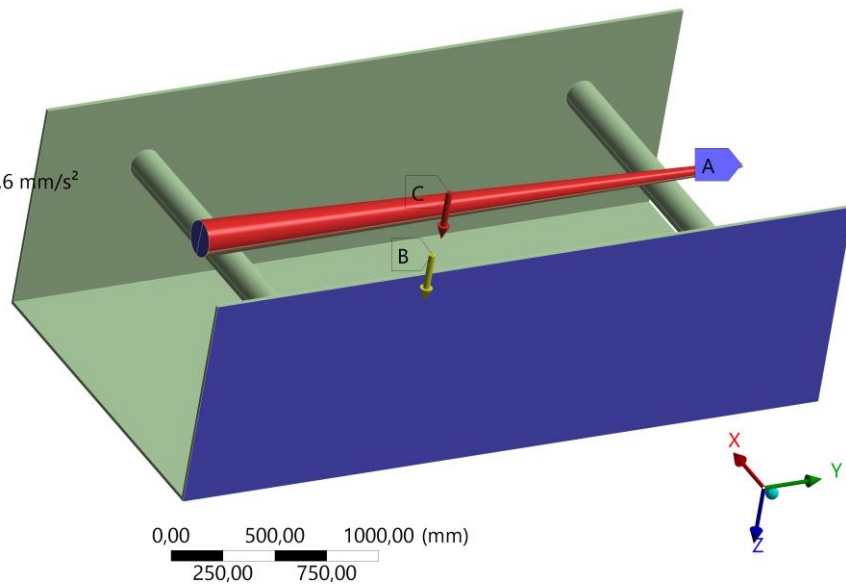
5.4.3 Modell 3

Modell 3 viser hvordan sorteringsrullene påvirkes ved å hvile på støttesylindere. Fremgangsmetoden ble utført ved å tegne hele modellen i én del. Den vil da bestå av bunnen, sideplatene, støttesylindrene og sorteringsrullen. Rullen er tegnet med to graders vinkel slik at den ligger på samme plan som støttesylindrene. Grunnet brukt funksjon og vinkelen er ikke endene vannrett på hverandre. Som konsekvens av dette er diameteren på hele rullen varierende og i realiteten er endene konstant 40mm. Det vil da si at området har en feilkilde, men dette anses til å ikke ha påvirkninger på resultatet da området som analyseres er mellom støttesylindrene, ikke utenfor. Det ble ansett til å være troverdige resultater ved sammenligning av overnevnte parametere og scenarior.

A: Modell 3

Static Structural
Time: 1, s

- A** Fixed Support
- B** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- C** Force: 180, N

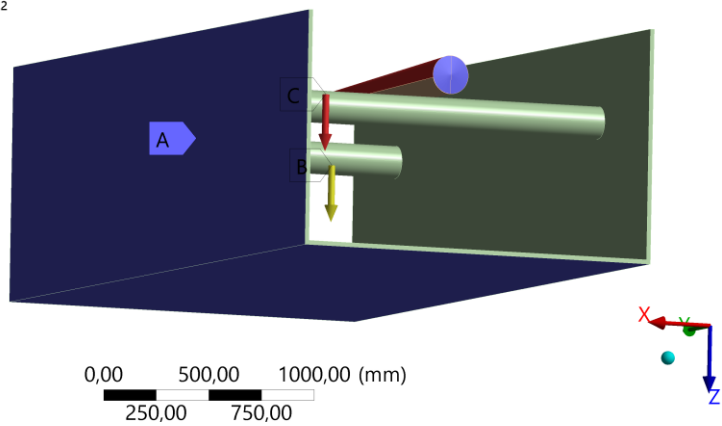


Figur 37: Påførte krefter, Modell 3, Analyse 2

A: Modell 3

Static Structural
Time: 1, s

- A** Fixed Support
- B** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- C** Force: 180, N

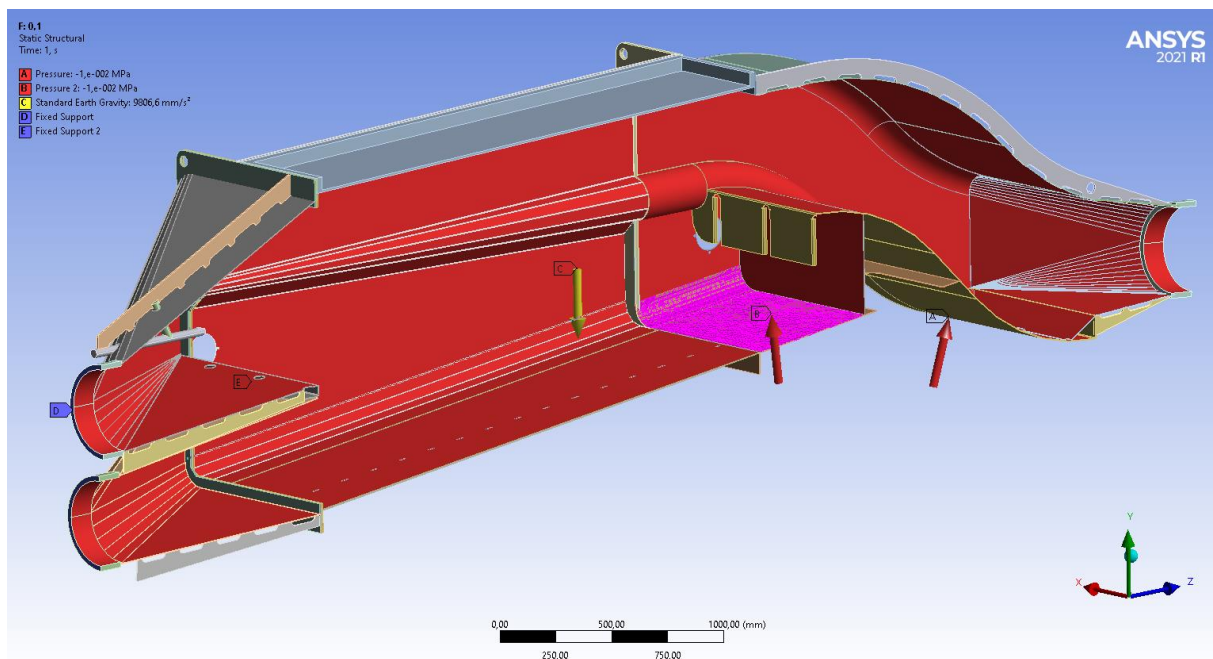


Figur 38: Fixed Support, Modell 3, Analyse 2

5.5 Analyse 3: Effekter av undertrykk

Nåværende prototype er ikke designet med hensyn til undertrykk, så hypotesen for analysen er at det vil være store mekaniske effekter ved middels til høyt trykk. Vakuumlasting er en losseprosess hvor det settes undertrykk i båt, og derfor kan det bli aktuelt å tilpasse Kemy Split dette. Å kunne bruke sorteringsmaskinen til for eksempel lossing vil være et fremmede salgsgargument.

5.5.1 Modifikasjoner



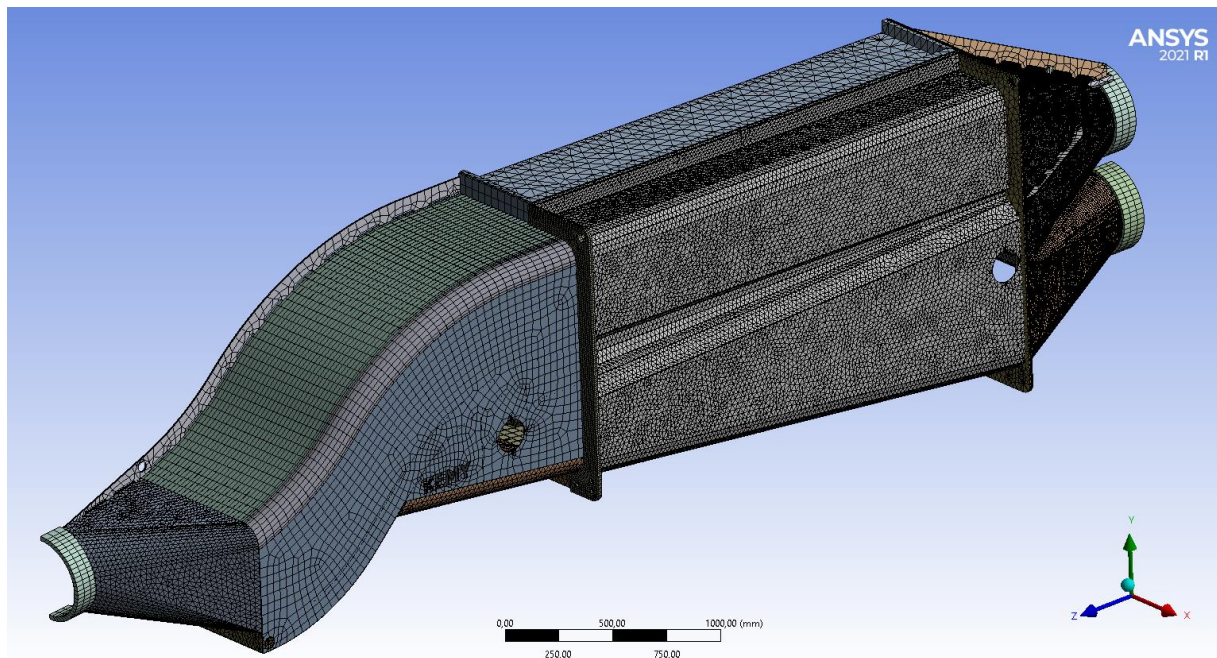
Figur 39: Modifikasjoner av modell, Analyse 3

Siden modellen er stor og kompleks i forhold til tilgjengelige dataressurser, var det viktig å avgjøre hvilke komponenter som var viktig å analysere. Innledningsvis ble modellen simulert i sin helhet, noe som førte til svært lang kalkuleringsstid med mange feilmeldinger. Siden et undertrykk i all hovedsak vil påvirke stålstrukturen, ble alt av sorteringsruller og tilhørende justeringsmekanismer fjernet fra modellen.

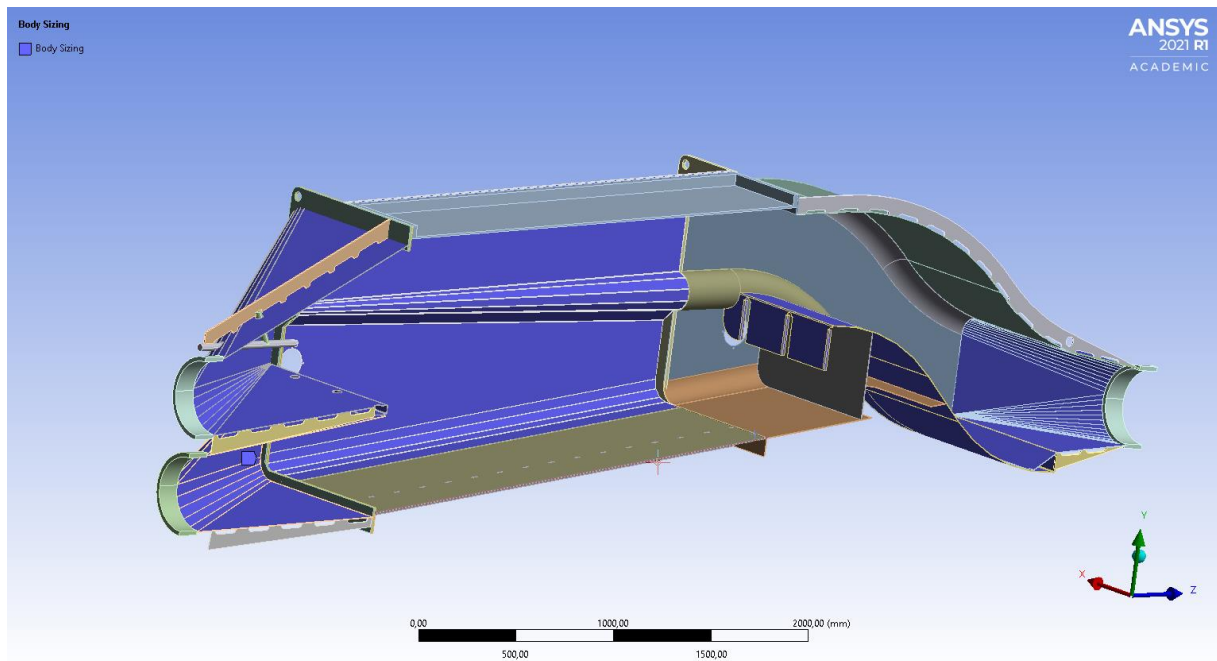
Modell er symmetrisk om y-aksen. Bruk av symmetriplan halverer modellen og reduserer dermed kalkuleringsstiden betraktelig uten å påvirke resultatet. Det forenkler også prosessen med å påføre laster og andre betingelser, særlig i dette tilfellet hvor trykk-kreftene påføres på «innsiden» av modellen. Symmetriplanet legges på i «Design Modeler», som er en del av Ansys Workbench.

I tilsendt CAD-modell er ikke lokket modellert. Dette ble lagt inn i modellen som en enkel, rektangulær plate. Ulike tykkelser ble brukt for å se hvordan dette påvirket spenningene som oppstod. Det ble også lagt inn en stiver under nedre utløp, siden det oppstod store deformasjoner i dette området. Stiveren er identisk med den som ligger mellom de to utløpene. Påvirkning av stiver og økt ståltykkelse vil bli presentert i resultater og diskusjon. Tykkelsen ble økt på flenser for å forbedre kontaktflater.

5.5.2 Static Structural



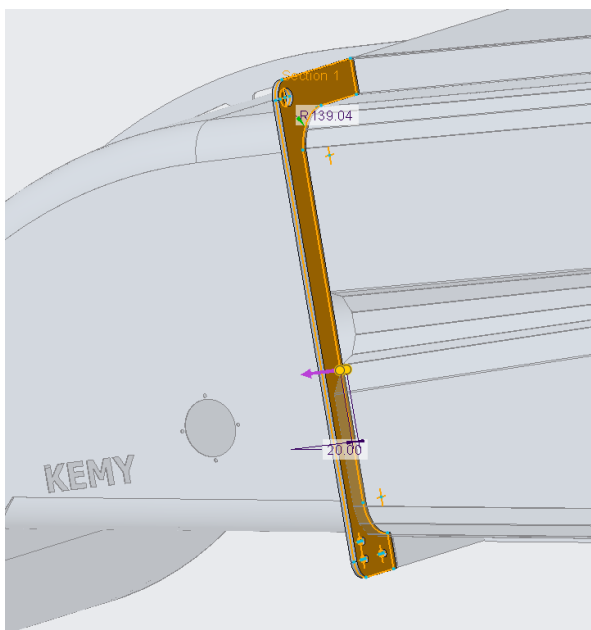
Figur 40: Meshing, Analyse 3



Figur 41: Body Sizing, Analyse 3

Som nevnt henger mye av kalkuleringstiden og resultater sammen med valg av mesh. Grunnet kompleks geometri på inn- og utløp, krevde programmet lav elementstørrelse i disse områdene for å fungere best mulig. Områder fra figur over markert med blå farge ble meshet ved hjelp av «Body Sizing» med elementstørrelse 25 mm. På resten av modellen er elementstørrelsen 50 mm.

Connections



Figur 42:Connections, Analyse 3

De fleste connections blir automatisk generert og definert som «bonded», som betyr at komponentene henger sammen med hverandre. Det oppstod noen utfordringer i overgangene mellom hus til inn- og utløp. Tilsendt modell virket ikke å være ordentlig satt sammen ved disse overgangene, programmet slet derfor med å definere kontaktflatene. Som figur over viser, ble tykkelsen på stålkonstruksjonen økt i Creo der disse utfordringene oppstod. Dette løste kontaktproblemet, men siden komponentene går «inn» i hverandre oppstod det senere utfordringer med meshing og spenningssingulariteter.

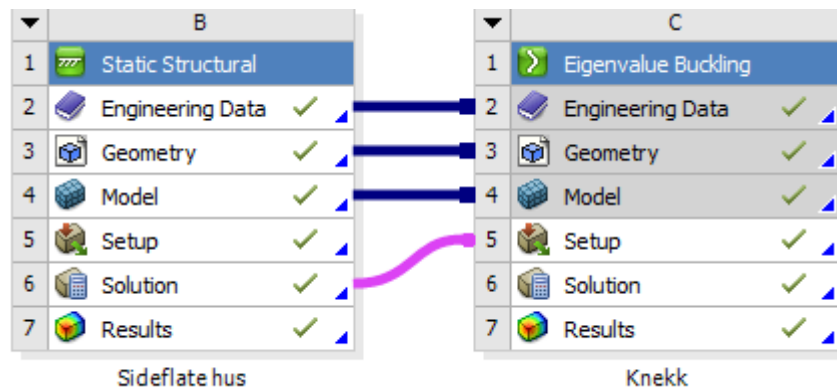
Figur 39: Modifikasjoner av modell, Analyse 3, illustrerer belastninger og andre betingelser. Disse er som følger:

Pressure: Simulerer undertrykket og påføres med negativt fortegn. Benevnningen er MPa og påføres kun ut ifra trykket som vil være inn i maskinen. Man tar altså ikke hensyn til atmosfæretrykket. 0,1 bar = 0,01 MPa.

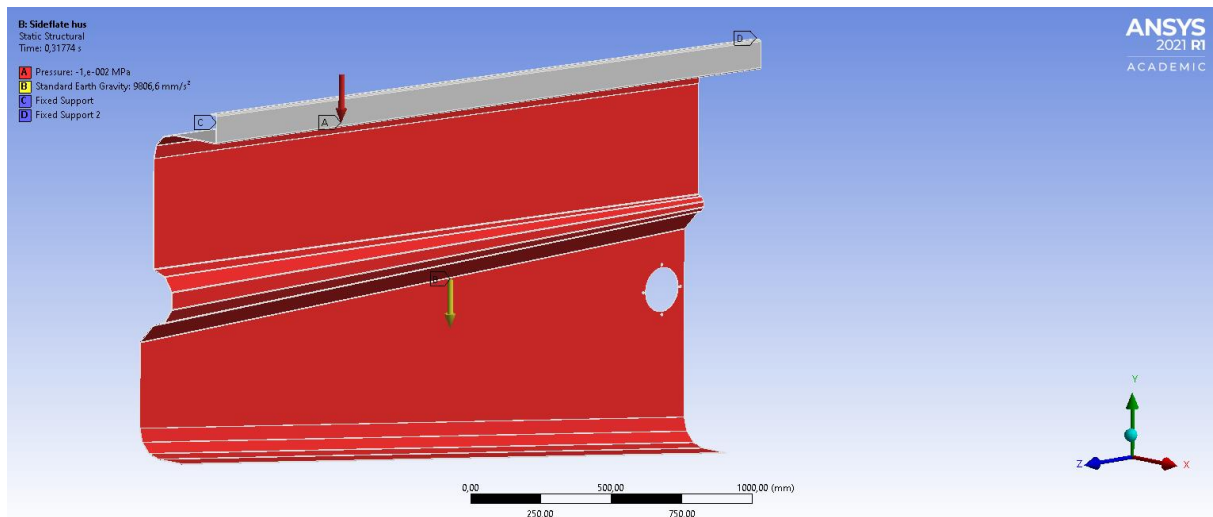
Standard Earth Gravity: Simulerer gravitasjonen.

Fixed Support: Flenser på begge sider er låst, og kan ikke bevege seg. Flensene vil i praksis kunne deformeres, men det antas at videre rørsystem på inn- og utløp er dimensjonert til å tåle trykket. Her kan man også bruke «Cylindrical Support», men det skal ikke ha betydning for resultatene. Kanten på nedre utløp er også fixed som følge av et problem med connections.

5.5.3 Eigenvalue Buckling



Figur 43: Eigenvalue Buckling



Figur 44: Påførte krefter, Analyse 3

Siden Eigenvalue Buckling ofte krever mer dataressurser sammenlignet med Static Structural analyse, ble det besluttet å redusere modellen ytterligere. Med bakgrunn fra den første statiske analysen, ble knekkanalyse kun utført for sideveggen i huset. Et undertrykk på 0,1 bar ble påsatt som samme måte i den statiske analysen. Ytterkantene i veggen er begrenset fra å bevege seg ved Fixed Support.

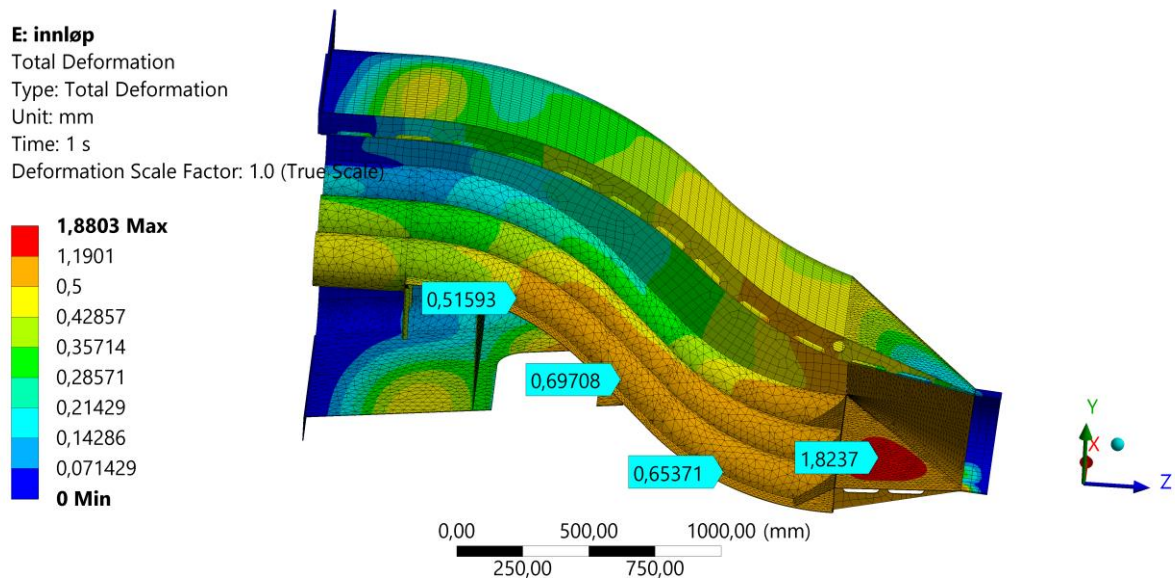
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	On
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off

Figur 45: Innstillinger Eigenvalue Buckling, Analyse 3

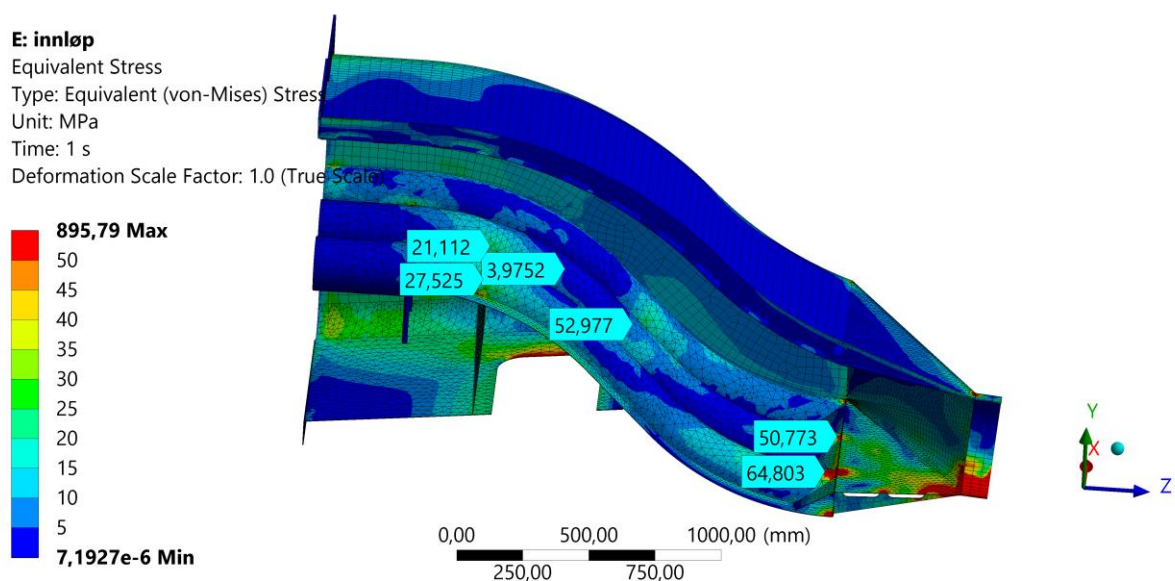
Ved å skru på Large Deflection, tas ikke-lineære faktorer med i beregningene. Resultater med og uten Large Deflection vil bli presentert.

6. Resultat

6.1 Analyse 1



Figur 46: Deformasjon, Analyse 1



Figur 47: Spenning, Analyse 1

Resultatet viser stor variasjon av spenninger som skyldes spenningssingulariteter. Det er sannsynlig at spenninger rundt 50-60 MPa vil oppstå. Sammenlignet med flytegrensen er dette lave spenninger som ansees å være ubetydelige.

6.2 Analyse 2

Modeller presenteres ved autoskalering, som betyr at deformasjonene ikke er like store som de fremstår av grafikken. Sikkerhetsfaktor er ikke tatt med i beregning.

6.2.1 Modell 1

Resultater med 180 Newton:

B: Modell1: 180 N

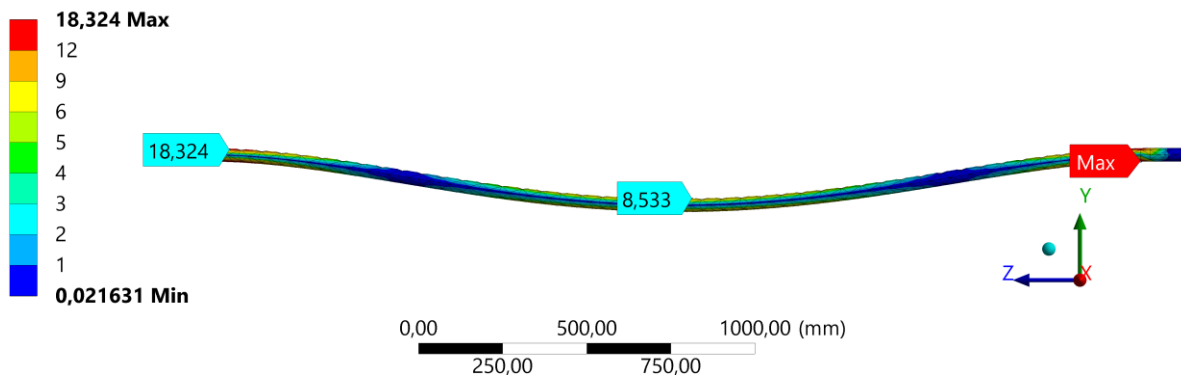
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1,3e+002 (Auto Scale)

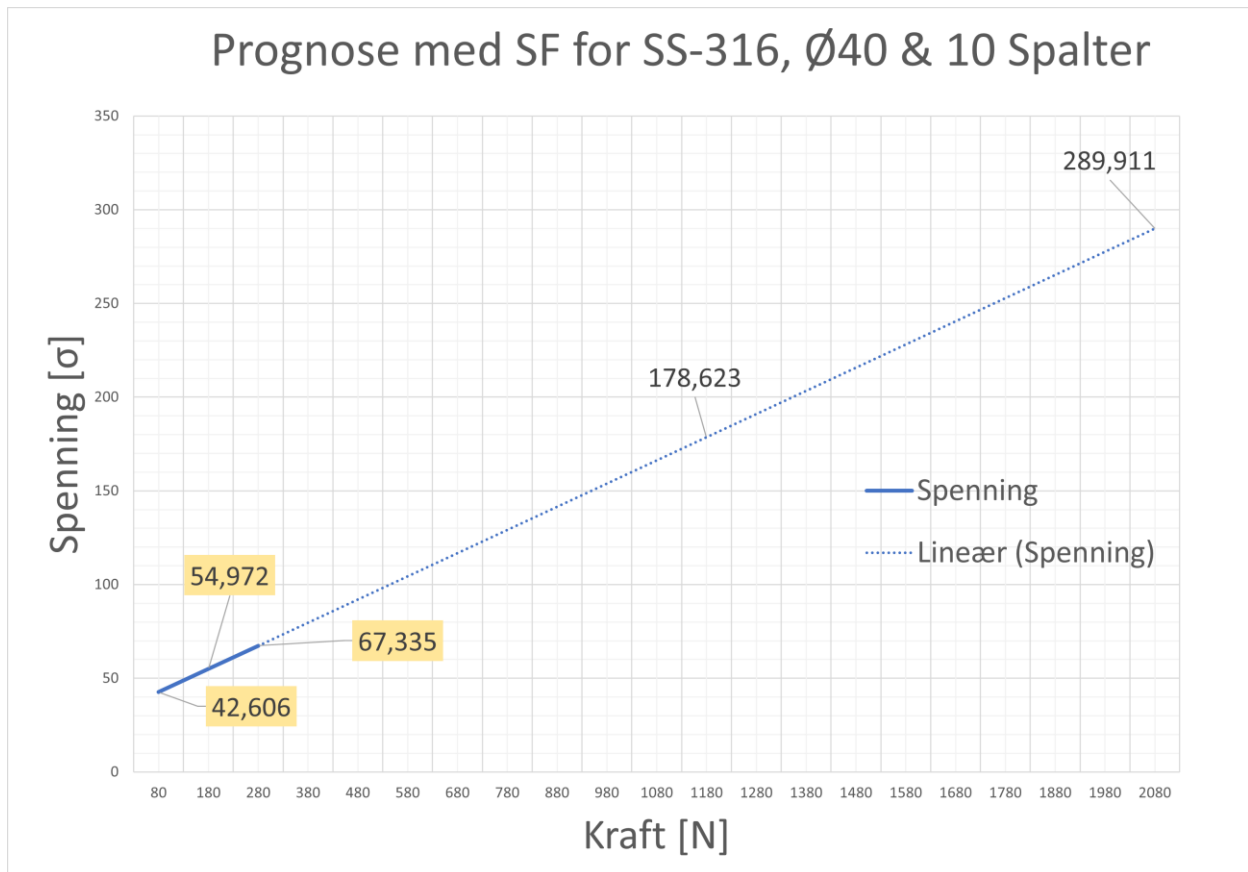


Figur 48: Deformasjon, Modell 1, Analyse 2

Resultatet viser maksimal spenningene lik 18,324 MPa, noe som er minimalt sammenlignet med flytegrensen. Sikkerhetsfaktor er ikke tatt med i simuleringberegningene. Det blir fremstilt i tabell og grafisk prognose under. Sikkerhetsfaktoren kan variere og i prognosen er verdien tre lagt til grunn.

Utdrag fra tabell SS 316, Ø40			
Spenning [σ]		Kraft [N]	Antakelser
Fra Ansys	Med S.F		
13,79	41,37	80	Minst verdi
18,324	54,972	180	Realistisk verdi
22,445	67,335	280	Størst verdi
59,541	178,623	1380	
96,225	288,675	2580	
133,73	401,19	3880	
170,83	512,49	4980	
216,17	648,51	6080	

Tabell 8: Utdrag fra tabell SS316, Ø40 med SF



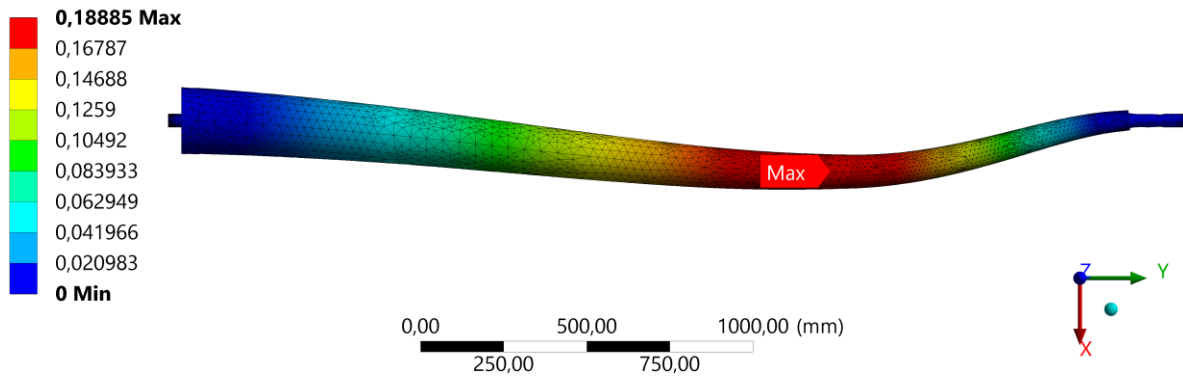
Figur 49: Prognose for 10 spalter med SF

Krefter som har blitt ansett som minst, realistisk og størst krefter er markert i gult. Som grafene viser, tåler sorteringsrullene gitte krefter medregnet sikkerhetsfaktor. Videre er det laget trendlinje som gir en viss forståelse for hvor mye de faktisk kan tåle.

6.2.2 Modell 2

A: Modell2

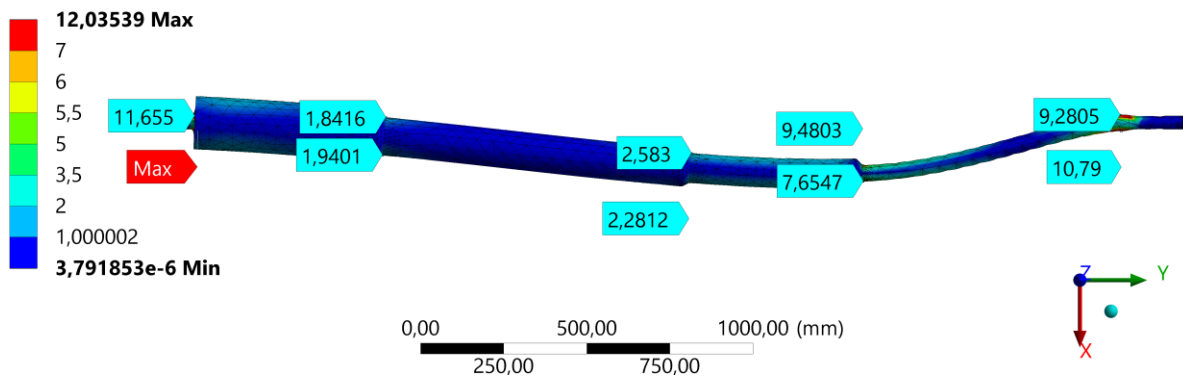
Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 Deformation Scale Factor: 8,1e+002 (Auto Scale)



Figur 50: Deformasjon, Modell 2, Analyse 2

A: Modell2

Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 Deformation Scale Factor: 8,1e+002 (Auto Scale)



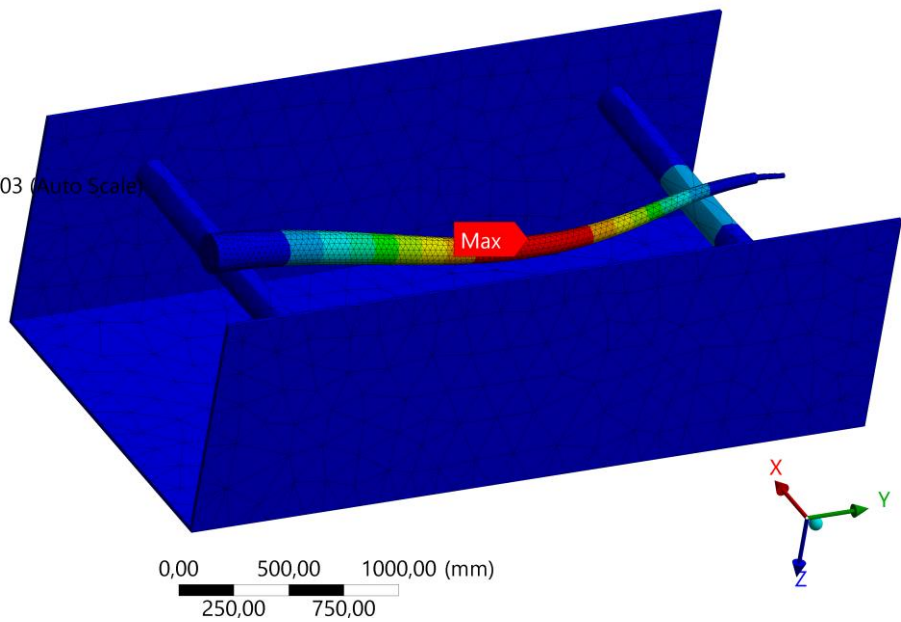
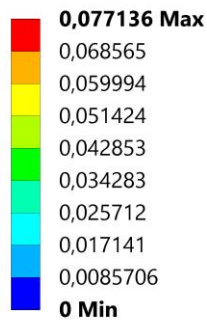
Figur 51: Spenning, Modell 2, Analyse 2

Resultatene viser maks spenning er lik 12 MPa og påsatte krefter tåler belastningen da det sammenlignes med flytegrensen. Det viser også hvor de mest og minst kritiske områdene er. Resultatet viser at spenningen reduseres synkront/parallelt med diameteren. Største spenninger vil være ved minst diameter i endene. Singularitet er påvirkende ved maks og ved 9,28 MPa.

6.2.3 Modell 3

A: Modell 3

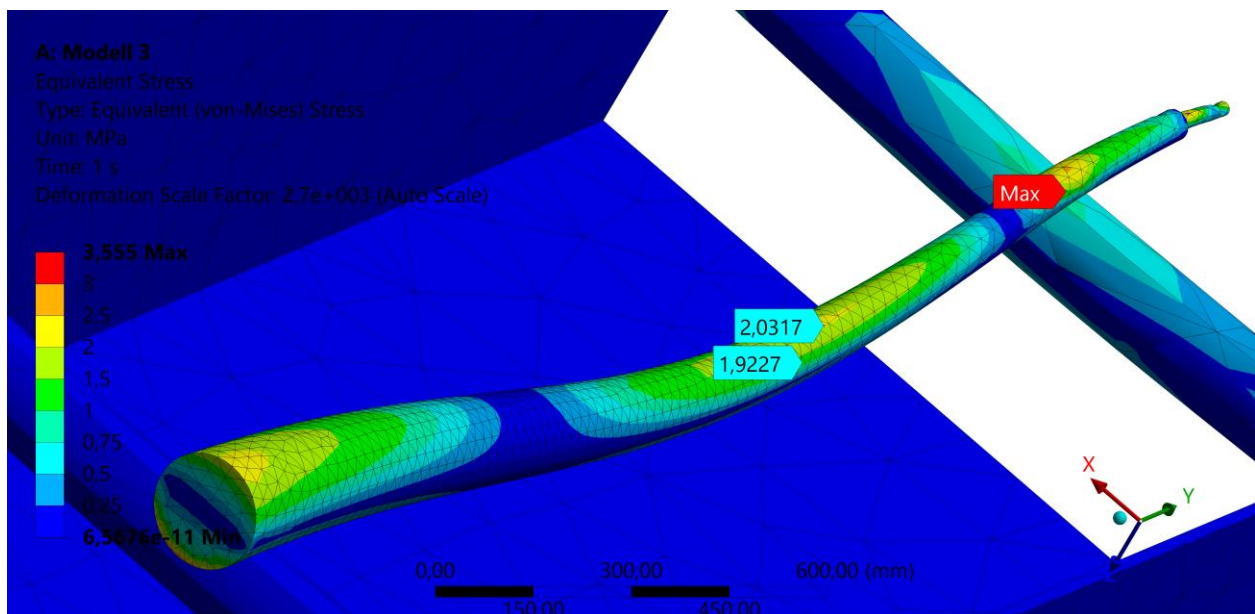
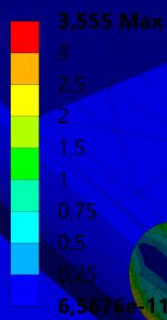
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
Deformation Scale Factor: 2,7e+003 (Auto Scale)



Figur 52: Deformasjon, Modell 3, Analyse 2

A: Modell 3

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1 s
Deformation Scale Factor: 2,7e+003 (Auto Scale)

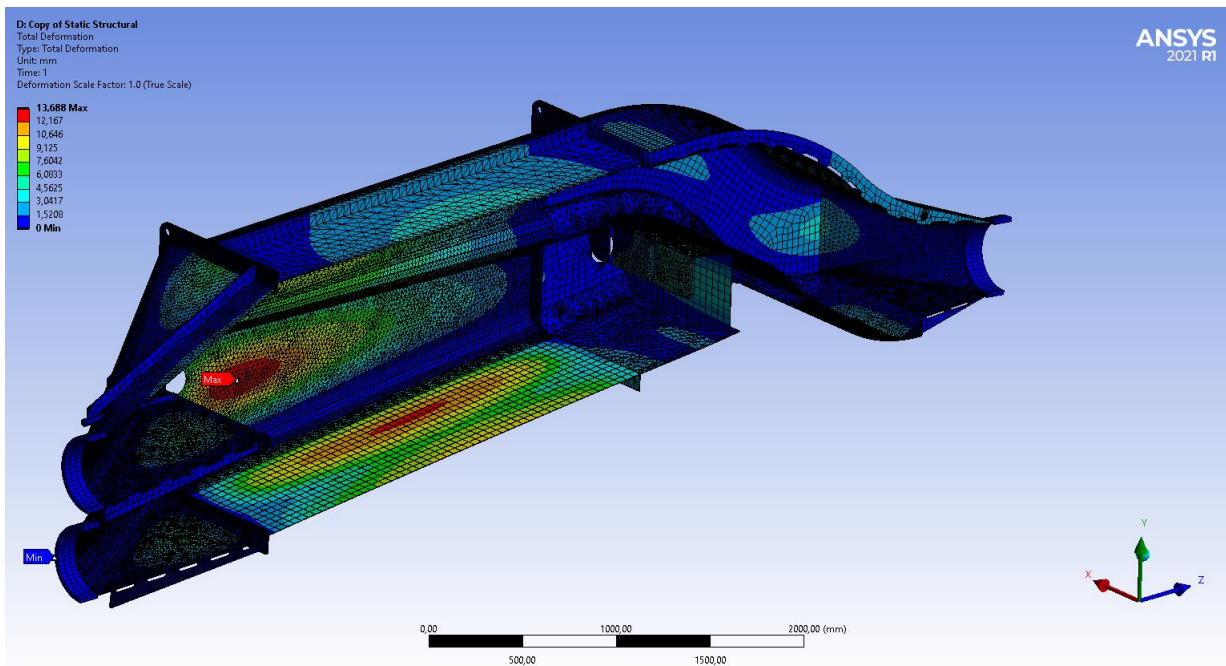


Figur 53: Spenning, Modell 3, Analyse 2

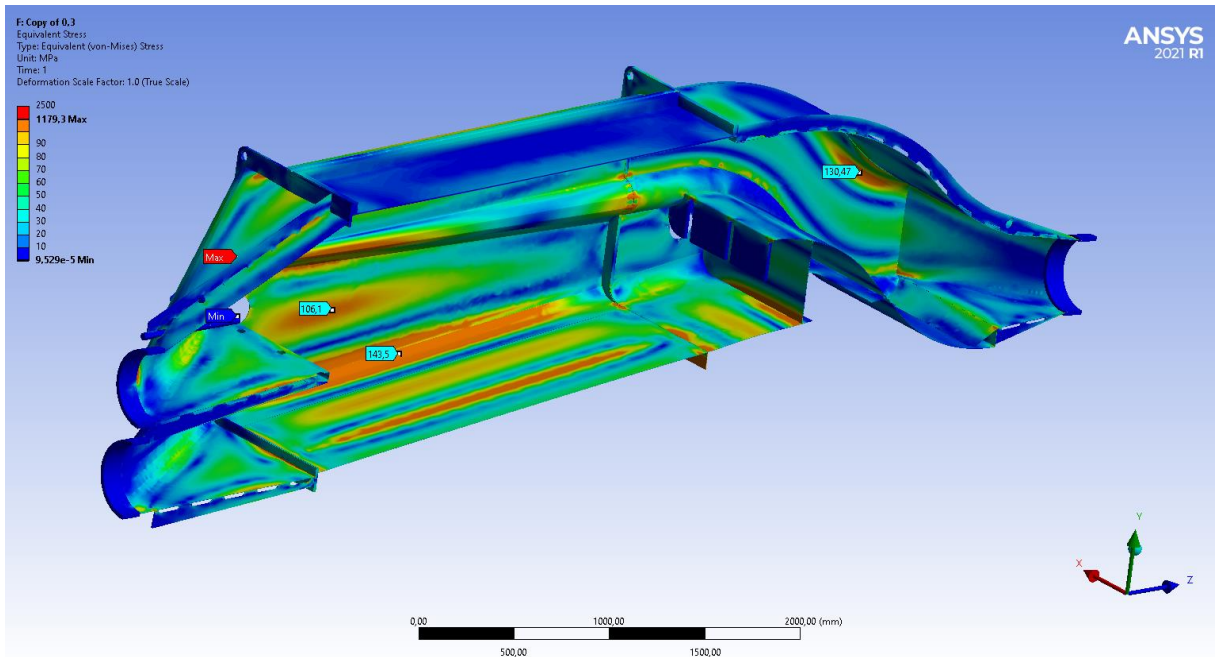
Resultatene fra Modell 3 viser maks spenning lik 3,55MPa og illustrerer nedbøyingen.

6.3 Analyse 3

6.3.1 0,1 bar



Figur 54: Deformasjon, Analyse 3

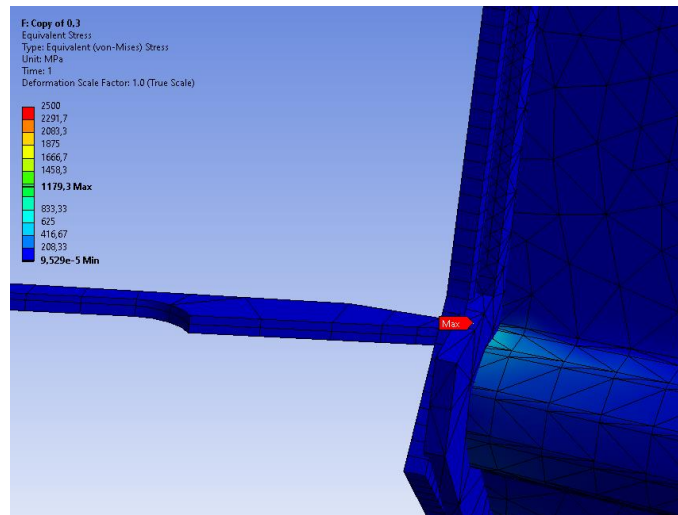


Figur 55: Spenning, Analyse 3

Figur viser deformasjoner ved undertrykk på 0,1 bar og allerede her ser man betydelige effekter av trykket. De største deformasjonene oppstår ved huset rundt sorteringsrullene. Dette er som forventet.

Hypotesen er at undertrykk vil føre til knekking før plastisk deformasjon oppstår, det er derfor naturlig å se til spenningsverdier kontra deformasjoner. Disse har som regel nær korrelasjon til hverandre.

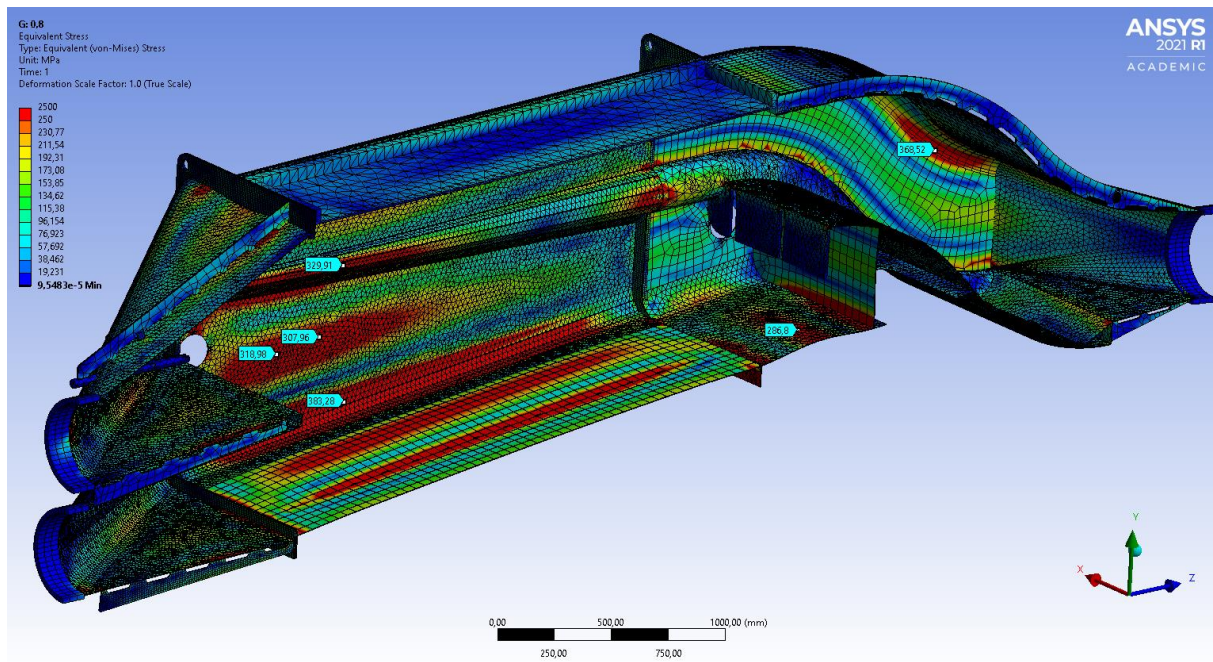
I punktet hvor det oppstår størst deformasjon, viser figur 55 spenning på 106 MPa, noe som er nær stålets flytegrense med S.F. 2. Med hensyn til at knekking kan oppstå før flytegrensen, nærmer man seg et kritisk punkt allerede ved 0,1 bar. Øvrige spenninger oppstår ved forventede punkter.



Figur 56: Singularitet, Analyse 3

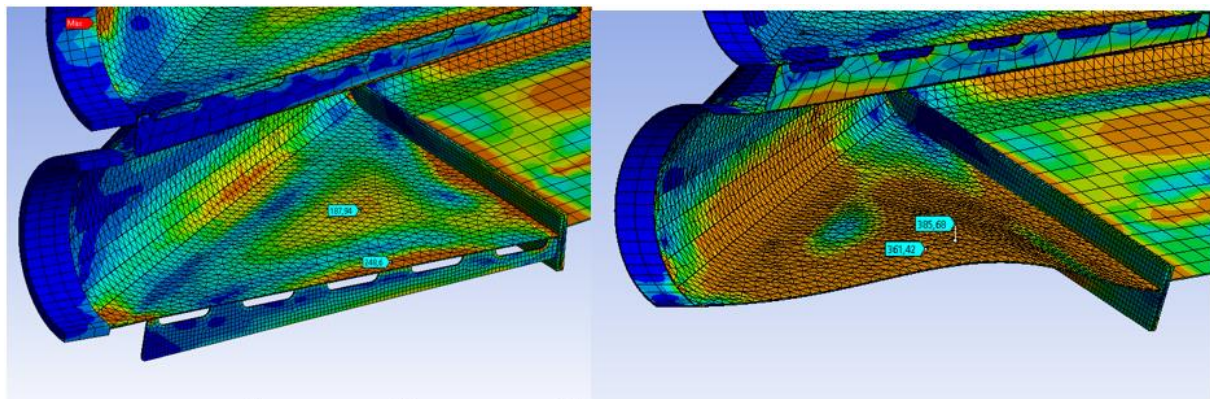
Analysen gir enkelte verdier av urealistisk verdi. Dette skyldes hovedsakelig spenningsingulariteter i området hvor det ble modellert inn tykkere stål for å forbedre kontaktflaten mellom hus og utløp.

6.3.2 0,3 bar



Figur 57: Spenning, 0,3 bar, Analyse 3

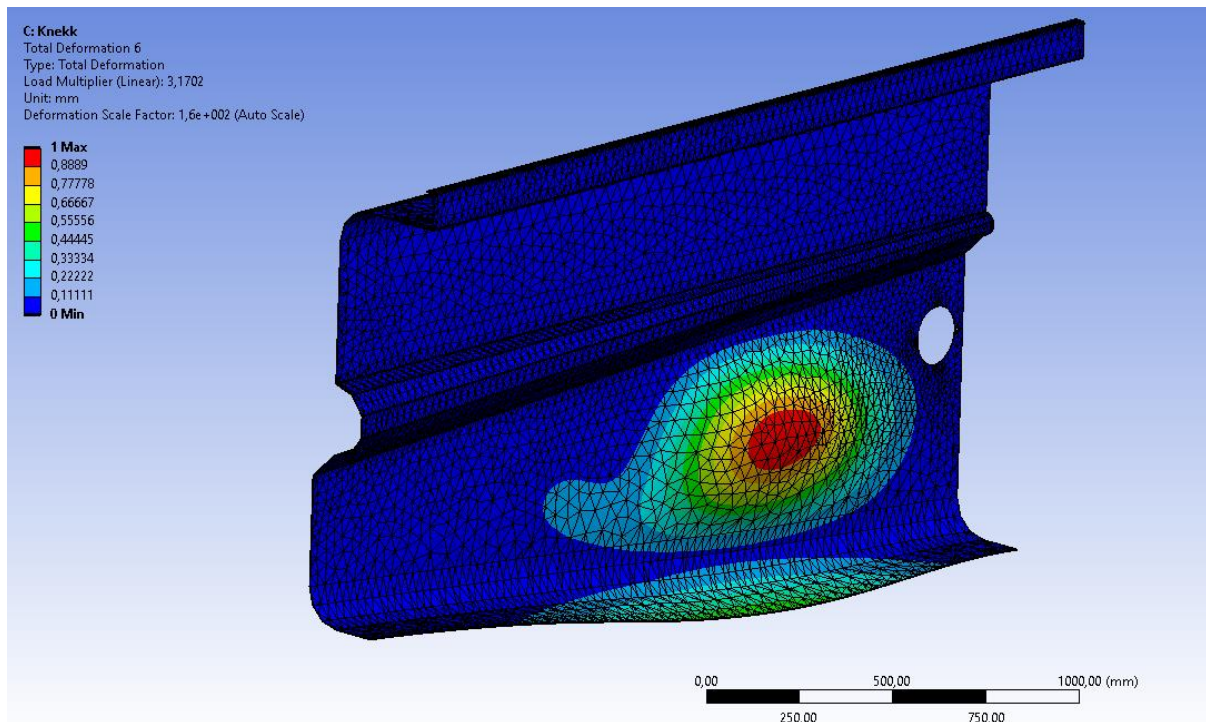
Figur viser spenning ved 0,3 bar undertrykk. Spenningen overstiger 300 MPa ved flere punkter, noe som vil føre til plastisk deformasjon.



Figur 58: Effekt av innført stiver

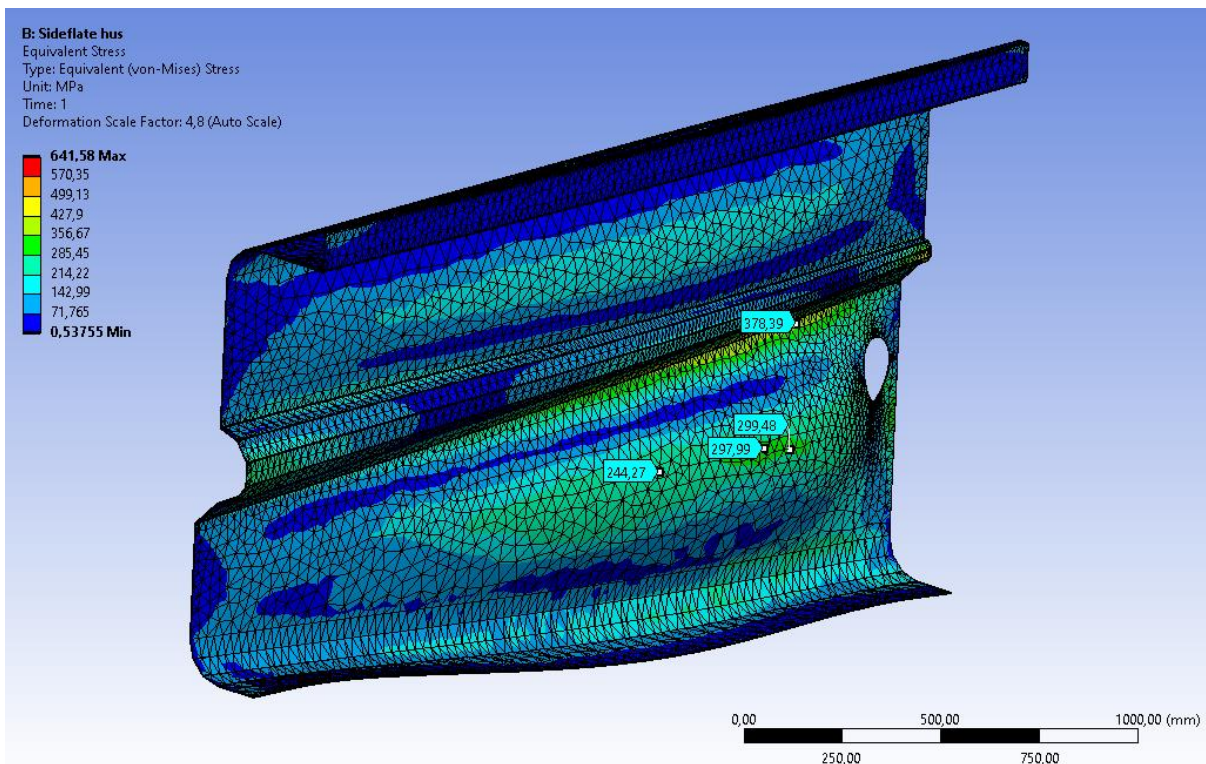
Det ble lagt til stiver under nedre utløp, og effekten av denne vises tydelig fra figur.

6.3.3 Knekkanalyse



Figur 59: Deformasjon, Knekk, Analyse 3

Programmet estimerer at knekking i sidevegg oppstår ved 0,317 bar trykk.



Figur 60: Spenning, Knekk, Analyse 3

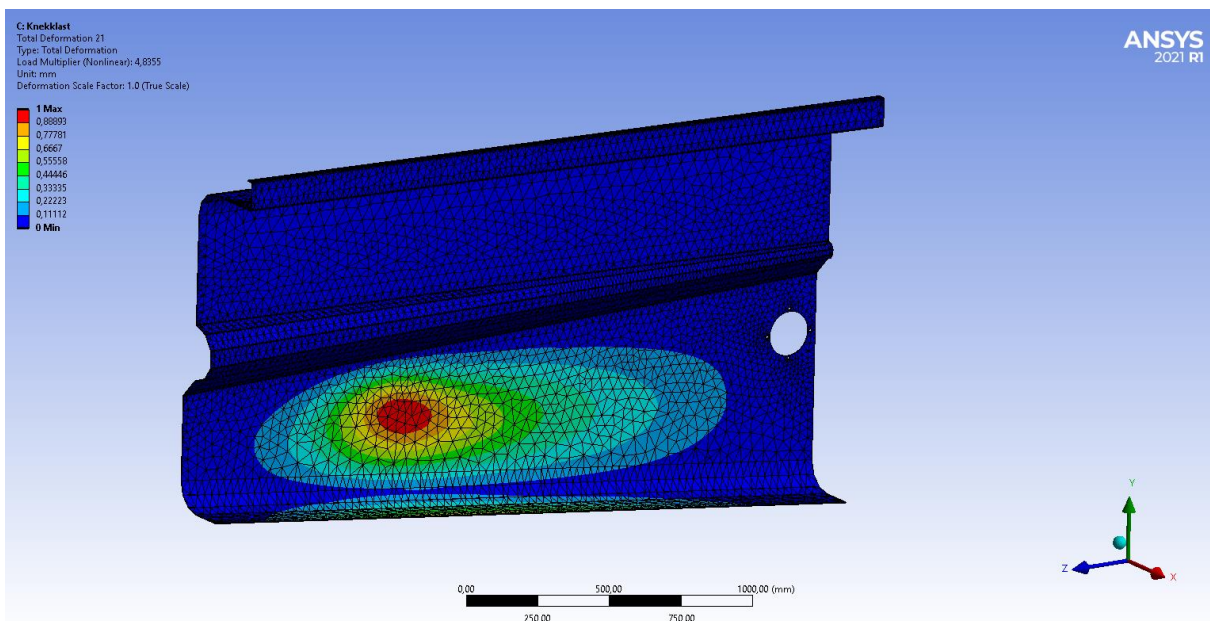
4,	-5,6469		Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Load Multiplier
5,	-3,7835	1	1,	3,1702
6,	3,1702	2	2,	3,6786
7,	3,6786	3	3,	3,8551
		4	4,	4,9561
		5	5,	5,7526

Tabell 9: Load Multiplikator Eigenvalue Buckling

Lastmultiplikatoren gir et forholdstall ut ifra påført trykk fra den statiske analysen. Ved å inkludere negative verdier, får man vite når knekking ville oppstått om det var påført overtrykk. De laveste verdiene gir mest relevante resultater, siden det er da knekking oppstår først. Etter hvert som trykket øker, vil det også oppstå knekking i andre deler elementer av konstruksjonen.

Påført 0,317 bar i tidligere Static Structural analyse gir spenninger rundt 300 MPa i punktet hvor knekket oppstår, som er godt over flytegrensen. At knekking oppstår et stykke forbi flytegrensen, kan forklares med stålets materialegenskaper og platens utforming.

Ikke-lineær analyse



Figur 61: Ikke-lineær knekk, Analyse 3

Den ikke-lineære analysen gir knekk ved lastmultiplikator 4,8355, noe som er vesentlig høyere sammenlignet med resultatet fra lineær analyse. Dette kan skyldes at ikke-lineær analyse inkluderer faktorer rundt platens reststyrke og spenningsomlagring. Siden usikkerhetene er mange og feilkonsekvensene store bør det beregnes rikelig sikkerhetsfaktor rundt disse beregningene.

7. Diskusjon

7.1 Diskusjon rundt resultater

Analyse 1 og 2

Påvirkende krefter er hentet fra regnearket. Analyse 1 undersøker kravene som er oppgitt i produktets brukerhåndbok, og resulterer i lave spenningsverdier ved innløpet.

Den andre er realistisk verdi hentet fra regnearket. Modell 1 fra analyse 2 viser størst nedbøying på midten av rullen, mens modell 2 viser nedbøying mot den mindre diameteren. Sistnevnte er henimot realiteten.. Med hypotesen; hvis diameter på 40mm er overdimensjonert er også en høyere diameter overdimensjonert, er det trolig at spenningene ikke overstiger 18MPa ved 180 N. Sammenlignet med modell 3 er det grunn til å tenke at det oppstår mindre krefter på nedre ruller. Dette virker logisk med tanke på momentkreftene som er gitt ved, kraft gange arm, og armen er mindre i modell 3. Øvre ruller hviler i spor da denne konstruksjonen er sveist fast i stålkonstruksjonen. Gitt at den holder, vil spenningen for øvre ruller være omtrent et sted mellom modell 1 og 2. Det er derfor antydninger til nedre rullene tåler mer enn øvre der begge er overdimensjonert. Som prognosen viser, er konstruksjonen overdimensjonert med den høyeste verdien fra analyse 2 og en høy sikkerhetsfaktor.

Analyse 3

Resultater viser at undertrykk gir merkbar effekt på konstruksjonen. Med bakgrunn i presentert teori oppstår spenningene i forventede områder. Sidevegg fikk ut ifra den statiske analysen størst deformasjon og spenning. Dette er et område med relativt stor flate uten støtte fra stivere, så resultatet er som forventet ut fra presentert teori. Maskinen vil tåle 0.1 bar undertrykk, men allerede her vil man nærme seg et kritisk punkt.

Knekkanalysen av sidevegg estimerer at knekk oppstår ved rundt 0,32 bar. Dette er noe høyt ut ifra hva man hadde forventet etter å ha gjennomført statiske analyser, men alt i alt en realistisk verdi med tanke på at Eigenvalue Buckling kan gi verdier som er høyere enn hva virkeligheten tilsier. Resultater fra den ikke-lineære knekkanalysen har mange mulige feilkilder siden den tilhørende statiske analysen ble løst lineært. Det tas dermed begrenset hensyn til disse resultatene. Det er ikke gjennomført knekkanalyse på andre elementer av maskinen, så man kan derfor ikke utelukke at knekking kan forekomme også ved lavere trykkbelastning. For eksempel innløpet kan vise seg å være mindre resistent mot knekking, selv om spenningene var lavere sammenlignet med sideveggen. Verdier

Det anslås at maskinen vil kollapse ved et undertrykk på 0,3 bar. Analysen indikerer at selve designet av maskinen er bra i forhold til resistans mot undertrykk, men det kreves utbedringer som styrker konstruksjonen. Høy sikkerhetsfaktor bør beregnes siden det er stor grad av usikkerhet og kompleksitet, med påfølgende store feilkonsekvenser, i utregninger som omfatter effekter av undertrykk.

7.2 Diskusjon rundt fremgangsmåte

FEM forenkler designprosesser og gir mulighet til å løse komplekse problemstillinger. Metoden gjør livet lettere for ingeniører og designere fra mange ulike fagfelt. Mulighetene er mange, men det kreves at brukeren har høy kompetanse rundt både programvare og det som skal analyseres. Har man en viss formening om hvordan resultatene vil komme til å se ut, er det lettere å avdekke mulige feilkilder. De første simuleringene rundt undertrykksanalysen viste store deformasjoner i områder hvor dette ikke var forventet på forhånd. Dette viste seg å skyldes utfordringer rundt meshing og connections på grunn av brukerfeil og dårlig modellering.

Tre ulike modeller ble brukt i analysen rundt sorteringsrullene. Dette for å redusere feilmarginer og kunne se sammenheng mellom disse. Det ble vurdert om modell 3 skulle lages fra bunnen av i Creo Parametric for å få den mest mulig realistisk, men dette ble sett på som for tidkrevende i forhold til resultatet det ville gi. Det er gjort et forsøk på å bruke Assembly på Modell 3 uten hell. Det var krevende å plassere sorteringsrullene på støttesylindrene grunnet vinkelen til rullen og at det ikke var andre deler fra omgivelsene å ta utgangspunkt fra. Om modellen skulle bli laget på ny, ville det vært godt nok å analysere med en diameter lik 40mm og sammenlignet med modell 1 og 2.

Arbeidet rundt undertrykk fremhevet også viktigheten av å balansere kalkulerings tid med hvilke resultater man faktisk ønsker å oppnå. Dette gjelder særlig når man analyserer store modeller med flere komponenter. Innledningsvis ble modellen importert rett til Ansys uten modifikasjoner, noe som viste seg å bli svært tidkrevende og noe som tok opp mye dataressurser. Etter irrelevante komponenter ble fjernet, bedre tilpasset meshing og valg av symmetriplan, ble kalkulerings tiden drastisk redusert. Analyser som tidligere kunne ta flere timer, ble løst på et par minutter, med tilsvarende resultater. Da det blir en del prøving og feiling i denne type prosjekt, er det essensielt å oppnå balansert kalkulerings tid.

Observasjonsturen førte til endringer på enkelte hypoteser og problemstillinger. Verdien av fysisk observasjon rundt denne type arbeid ble derfor tydelig understreket. Selv om CAD-programmer og lignende blir stadig bedre og velutviklet, er det likevel lett å overse små detaljer som er lettere å legge merke til når man ser maskinen fysisk.

Regneark

Det er flere faktorer som påvirker kreftene på sorteringsrullene. Kreftene på sorteringsrullene er løst som ved statiske beregninger, mens det i realiteten er dynamisk. Vannmassens påvirkning på rullene neglisjeres, da vannet vil skli gjennom rullene og dermed ha svært lav påvirkende effekt.

En annen variabel som kunne vært inkludert med i beregningene er spalteåpningen. Når fisken som kommer til øvre utløp er for liten, vil det være naturlig å øke spalteåpningen. Det ble diskutert å ha dette som en variabel i regnearket, men ansett unødvendig siden Fultons formel var mest relevant i forhold til kreftene som påvirket sorteringsrullene.

7.3 Diskusjon rundt utbedringer

Veien videre for Kemy Split avhenger av kommende testing med levende fisk. Det er først her man vil få svar på hvor godt sorteringsmekanismen fungerer i praksis, og om det må gjøres eventuelle justeringer. I tillegg må fiskevelferden kunne dokumenteres gjennom ulike biologiske velferdsindikatorer hos behandlet fisk.

Oppnå gode testresultater og løsningen får innpass i markedet, er det viktig å optimalisere prototypen grundig inn mot ferdig produkt. Med hensyn til de lave spenningsverdiene som ble funnet i resultater, er det naturlig å redusere enkelte av stål dimensjonene. I dagens marked med skyhøye priser på råvarer og materialer, vil selv små reduksjoner i dimensjonering gi betraktelig økonomisk besparelse, særlig om man etter hvert får høye produksjons- og salgsvolum.

Med bakgrunn i lave spenningsverdier, kan det argumenteres for at sorteringsrullene kunne blitt produsert ved et billigere og svakere material, som for eksempel plast. Likevel er det enkelt å forstå valget om å bruke rustfritt stål med rikelig styrke. Når man lanserer et nytt produkt og skal utfordre etablerte løsninger, vil man unngå å bli møtt med skepsis rundt materialvalg og om maskinen vil tåle tøffe påkjenninger.

Skal Kemy Split tilpasses vakuumlastering hvor det blir undertrykk i maskinen, kreves det vesentlige utbedringer for å styrke konstruksjonen. Innføring av stivere og økt ståltykkelse er vanlige praktiske grep for å styrke konstruksjonen. Utbedringer må gjøres i samsvar med retningslinjer for fiskevelferd. Man kan for eksempel ikke innføre stivere på innsiden av konstruksjonen, da det kan skade fisken.

Etter hvert anbefales det å utvikle forskjellige modeller av maskinen, hvor dimensjoner kan variere ut ifra kundens behov og bruksområder. Med prototype som utgangspunkt er det naturlig å produsere en standardvariant med noe redusert dimensjonering, samt en sterkere modelltype som vil håndtere

undertrykk. Å kunne tilpasse antall spalter vil også kunne åpne for nye marked, særlig rundt landbasert oppdrett og postsmolt. Forslag til videreutvikling av regnearket er å kunne velge fisketype som en variabel der anbefalt kondisjonsfaktor lagt til grunn. Formålet ved sortering kunne blitt et valg der anbefalte ruller og spalteåpning ble lagt fram.

Oppgaven har ikke til hensikt å foreslå konkrete utbedringer, men kan brukes veiledende rundt dette. Endringer på dimensjoner må tas gjennom en helhetlig vurdering hvor spesielt økonomiske og produksjonstekniske faktorer også inkluderes.

8. Konklusjon

«Vil maskinen og dens bestanddeler håndtere påkjenninger som forventes å oppstå?»

Det konkluderes med at maskinen og dens bestanddeler vil håndtere påkjenninger som forventes å forekomme. Prototype av Kemy Split anses som en kraftig og godt designet konstruksjon. Maskinens design er i samsvar med retningslinjer knyttet til fiskevelferd, og fremstår dermed som et forbedret alternativ til sortering, gitt at de kommende tester gir gode resultater.

FEM-analysen indikerer at stålkonstruksjon og sorteringsruller vil oppleve minimal belastning fra påkjenningene. Sorteringsruller er overdimensjonert i forhold til resulterende spenningsverdier. De bør optimaliseres til ferdig salgsprodukt for å redusere unødvendige materialkostnader.

Et forslag til videre utvikling er å dimensjonere maskinen med hensyn til undertrykk. Nåværende prototype vil merke store effekter av undertrykk, og anslås til å kunne kollapse ved 0,2-0,3 bar. Dermed kreves det utbedringer om det skal settes trykk i maskinen.

Referanser

- [1] Regjeringen, «Norsk havbruksnæring,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/fiskeri-og-havbruk/Norsk-havbruksnaring/id754210/> .
- [2] Mattilsynet, «Fiskevelferd,» 2022. [Internett]. Available: https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/.
- [3] Havforskningsinstituttet, «Tema: Fiskevelferd,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/fiskevelferd>.
- [4] Kyst, «Stor rapport om havbruksnæringen,» *kyst*.
- [5] K. Myklebust, «Kemy,» Kemy AS, [Internett]. Available: <https://www.kemy.no> .
- [6] Surveymonkey, «Forskjellen mellom kvantitative og kvalitative undersøkelser,» [Internett]. Available: <https://no.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>.
- [7] Adobe, «Step file,» [Internett]. Available: <https://www.adobe.com/no/creativecloud/file-types/image/vector/step-file.html>.
- [8] L. T. Hosteland, «Kyst.no,» [Internett]. Available: <https://www.kyst.no/article/havbrukssamlingen-trenging-stresser-fisken-mest/>. [Funnet 2022].
- [9] Veterinærinstituttet, «Klassiske vintersår,» [Internett]. Available: <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/klassiske-vintersar>.
- [10] Lovdata, «Forskrift om drift av akvakulturanlegg,» Regjeringen, [Internett]. Available: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822#KAPITTEL_3. [Funnet Mai 2022].
- [11] A. A. M. K. M. R. K. K. a. M. T. P. G. Morten T. Limborg, «Applied Hologenomics: Feasibility and Potential in Aquaculture,» Mars 2018.
- [12] Sceanspace Media, «Skipsrevy,» *Aas Mek. Verksted A/S leverte den 3. juli 2017 nybygget «Steinar Olaisen» til Nova Sea. Fartøyet er oppkalt etter gründeren med samme navn, som var en pioner innen havbruksnæringen.,* nr. 1.
- [13] A. R. Kleiven, «Fultons formel,» Store Norske Leksikon, 5 Januar 2021. [Internett]. Available: www.snl.no/fultons_formel. [Funnet Mai 2022].
- [14] Meccanica, «statikk og fasthetslære,» Meccanica, [Internett]. Available: <http://meccanica.no/statikk/kraft.html>. [Funnet Mai 2022].
- [15] [Internett]. Available: <http://meccanica.no/statikk/likevekt2.html> .
- [16] Meccanica, «Statikk og fasthetslære,» Meccanica, [Internett]. Available: <http://meccanica.uit.no/fasthet/boyespenning.htm>. [Funnet Mai 2022].
- [17] Meccanica, «Statikk og fasthetslære,» [Internett]. Available: <http://meccanica.uit.no/fasthet/18t.html>.

- [18] Nordic Steel, «Forskjellen på 304, 304L, 316 og 316L,» [Internett]. Available: <https://www.nordicsteel.no/fagartikler/forskjellen-pa-304-304l-316-og-316l>.
- [19] Jernbanekompetanse, «Wikipedia,» Jernbanekompetanse, [Internett]. Available: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fil:NedbrytningsmekanismerFig2.3.PNG>.
- [20] J. D. G. R. William D. Callister, Materials Science and Engineering, Ninth Edition, Wiley, 2011.
- [21] [Internett]. Available: <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304L>.
- [22] K. A. Rosvold, «Sikkerhetsfaktor,» Store Norske Leksikon, 25 September 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/sikkerhetsfaktor>. [Funnet Mai 2022].
- [23] HVL, «MAS207 Elementmetode (FEM),» [Internett]. Available: <https://www.hvl.no/studier/studieprogram/emne/mas207>.
- [24] R. W. M. Kolbein Bell, «Store Norske Leksikon,» 7 Juli 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/elementmetoden>. [Funnet Mai 2022].
- [25] [Internett]. Available: <https://blogs.solidworks.com/tech/2018/07/what-is-a-stress-singularity-in-solidworks-simulation.html>.
- [26] Ansys Innovation courses, «Youtube,» Ansys, [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Wc3Eukyl4KQ&t=184s>.
- [27] [Internett]. Available: <http://belysningbolig.blogspot.com/2017/09/relativt-trykk-definisjon.html>.
- [28] Ekte data, «Atmosfærisk trykk,» [Internett]. Available: <https://ektedata.uib.no/oppgaver/atmosfaerisk-trykk/>.
- [29] M. A. B. M. K. Yunus A. Cengel, Thermodynamics, An Engineering Approach, Ninth Edition, McGrawHill, 2020.
- [30] [Internett]. Available: https://www.fhf.no/media/3305/5_-_smoltpumping_og_storfiskpumping_-_se_espmark_nofima.pdf.
- [31] «Noise and vibration on maritime equipment,» [Internett]. Available: <https://no.inaschulz.com/752829-noise-and-vibration-on-maritime-AIQTDB>.

Liste over Figurer

Figur 1: Illustrasjonsbilde [4]	1
Figur 2:Kemy [5].....	2
Figur 3: Exploded view Kemy Split.....	5
Figur 4: Kemy Split innløp.....	6
Figur 5: Innløp.....	6
Figur 6: Sorteringsruller	7
Figur 7: Teknisk tegning	7
Figur 8: Hus og utløp.....	8
Figur 9: Fisk i fri luft gir slagskader og sår.....	9
Figur 10: Produksjonskost og netto inntjening.....	11
Figur 11: Økonomisk gevinst	11
Figur 12: FLD	13
Figur 13: Skjærkraftdiagram	14
Figur 14: Momentkraftdiagram.....	15
Figur 15: Prototype av Kemy Split.....	16
Figur 16: E-Modul [19].....	17
Figur 17: Knekkspenning per slankhet.....	18
Figur 18: Element og node	20
Figur 19: Oppsett i Ansys.....	21
Figur 20: Belastninger og betingelser.....	21
Figur 21: Spenningssingulariteter [25].....	22
Figur 22: Eigenbuckling [26]	23
Figur 23: Trykk [27].....	24
Figur 24: Bilde utlevert fra bedrift	25
Figur 25: Sporlager.....	26
Figur 26: Opplagring til sorteringsruller	26
Figur 27: Opplagring	27
Figur 28: Opplagring nært.....	27
Figur 29: Opplagring nedenfor	27

Figur 30: Prognose ved 10 spalter.....	31
Figur 31: Kapasitet fra brukerhåndboken.....	33
Figur 32: Påførte krefter, Analyse 1	34
Figur 33: Påførte krefter, Modell 1, Analyse 2	35
Figur 34: Meshing, Modell 1, Analyse 2.....	35
Figur 35:Påførte krefter, Modell 2, Analyse 2	36
Figur 36: Fixed Support, Modell 2, Analyse 2.....	36
Figur 37: Påførte krefter, Modell 3, Analyse 2	37
Figur 38: Fixed Support, Modell 3, Analyse 2.....	37
Figur 39: Modifikasjoner av modell, Analyse 3.....	38
Figur 40: Meshing, Analyse 3	39
Figur 41: Body Sizing, Analyse 3	40
Figur 42:Connections, Analyse 3	40
Figur 43: Eigenvalue Buckling.....	42
Figur 44:Påførte krefter, Analyse 3.....	42
Figur 45: Innstillinger Eigenvalue Buckling, Analyse 3	43
Figur 46: Deformasjon, Analyse 1	44
Figur 47: Spenning, Analyse 1	44
Figur 48: Deformasjon, Modell 1, Analyse 2.....	45
Figur 49: Prognose for 10 spalter med SF.....	46
Figur 50: Deformasjon, Modell 2, Analyse 2.....	47
Figur 51: Spenning, Modell 2, Analyse 2	47
Figur 52: Deformasjon, Modell 3, Analyse 2.....	48
Figur 53: Spenning, Modell 3, Analyse 2	48
Figur 54: Deformasjon, Analyse 3	49
Figur 55: Spenning, Analyse 3	49
Figur 56: Singularitet, Analyse 3	50
Figur 57: Spenning, 0,3 bar, Analyse 3	51
Figur 58: Effekt av innført stiver.....	51
Figur : Deformasjon, Knekk, Analyse 3.....	52
Figur : Spenning, Knekk, Analyse 3	52

Figur : Ikke-lineær knekk, Analyse 3	53
--------------------------------------------	----

Liste over Tabeller

Tabell 1: Utvalgte materialegenskaper, AISI304L [23]	17
Tabell 2: Eksempel på input	28
Tabell 3: 10 spalter og 9 ruller	29
Tabell 4: Utdrag fra tabell SS 316, Ø40	32
Tabell 5: Inputs for minst antatt verdi	32
Tabell 6: Inputs for realistisk antatt verdi.....	32
Tabell 7: Inputs for størst antatt verdi	33
Tabell 8: Utdrag fra tabell SS316, Ø40 med SF.....	45
Tabell 9: Load Multiplikator Eigenvalue Buckling.....	53

