

Mads Daniel Thomassen
Torgeir Omlid Steen

Monocoque-chassis til Formel 1- replika

Design, analyse og produksjonsmetode

Bacheloroppgave i Maskiningeniør fleksibel
Veileder: Thomas Haavi

Mai 2020

Monocoque-chassis til Formel 1-replika

Design, analyse og produksjonsmetode

Mads Daniel Thomassen og Torgeir Omlid Steen

[Gradering: Åpen]

Bachelor i ingeniørfag - Maskin
Innlevert: 20 mai 2020
Veileder: Thomas Haavi

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel: Monocoque-chassis til Formel 1 replika	Dato: 20.05.2020		
	Antall sider: 90		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Mads Daniel Thomassen og Torgeir Omlid Steen			
Veileder: Thomas Haavi			

Sammendrag:

NTNU Gjøvik har fått låne en mockup av en Ferrari F399 Formel-1 bil som skal danne grunnlaget for flere bacheloroppgaver. Målet er å lage en kjørbar replika av bilen.

Våren 2020 har fire grupper jobbet med forskjellige problemstillinger tilknyttet bilen og denne gruppen fikk oppgaven med å lage en CAD-modell av chassiset, også kalt monocoque. Modellen er styrkeberegnet med elementmetoden, en mulig materialoppbygging av karbonfiberarmert epoksy er valgt og det er presentert mulige produksjonsmetoder.

CAD-modellen er utarbeidet i Solidworks med en 3D-scanning av mockupen som grunnlag. Ytterlige designvalg er gjort i samhandling med de andre gruppene, veileder og litteratursøk.

Teorien om materialvalg og laster monocoquen er utsatt for er i stor grad hentet gjennom litteraturstudie, hvor studentoppgaver som omhandler Formula Student har vært til stor støtte og inspirasjon.

Elementanalyse er utført med Ansys ACP. Dette er en modul i Ansys workbench som muliggjør modellering av detaljerte sandwichpaneler med flere lag karbonfiberduk og kjernemateriale. Simuleringen har tatt for seg fire forskjellige lastscenarier for å verifisere at monocoquen har ønsket stivhet, vekt og styrke. Det er prøvd ut forskjellige materialtykkelser og konfigurasjoner for å optimalisere designet.

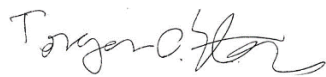
CAD-modellen som er designet ligger tett opp mot formen på mockupen, og der det har vært mulig er det utarbeidet fungerende grensesnitt mot andre deler av bilen. Det er imidlertid en del uavklarte momenter mot noen grensesnitt som gjør at ikke alle designelementer ferdigstilt. Det er funnet en materialsammensetning som ser ut til å tilfredsstille kravene som er satt til monocoquens egenskaper, selv om simuleringen avdekket noen problematiske områder i geometrien. Disse utfordringene er det kommet forslag til løsning på.

Det er presentert to mulige måter å produsere monocoquen på og gjort noen vurderinger om hvordan formene kan lages.

Prosjektet har levert en modell som er godt egnet for videre arbeid med bilen. Neste skritt for kommende bacheloroppgave vil være å konkretisere materialdetaljer og grensesnitt mot andre deler av bilen samt verifisere at styrkeberegningene holder mål med endelig design.

Stikkord:

Monocoque Formel 1 replika
CAD-design Solidworks
Elementanalyse Ansys
Produksjonsprosess karbonfiber





(sign.)

Abstract (engelsk)

NTNU Gjøvik has gained access to a mockup of a Ferrari F399 Formula-1 car that will form the basis for several bachelor's theses. The goal is to create a working replica of the car. In the spring of 2020, four groups have worked on various projects related to the car and this group was given the task of creating a CAD model of the chassis, also called the monocoque. The strength and stiffness are determined through finite element analysis, a valid configuration of the carbon fiber sandwich panels is selected, and possible production methods are presented.

The CAD model was developed in Solidworks with a 3D scan of the mockup as the basis. Additional design choices have been made in collaboration with the other groups, supervisors, and literature searches. The theory needed for this thesis is largely derived from literature searches, where similar student assignments, mainly within the Formula Student, have been of great help.

Element analysis was performed with Ansys ACP. This is a module in Ansys workbench that enables modeling of detailed sandwich panels with multiple plies of carbon fiber cloth and core material. The simulation has considered four different load scenarios to verify that the monocoque has the desired stiffness, weight and strength. Different material thicknesses and configurations have been tested to optimize the design.

The CAD model that is designed is close to the shape of the mockup, and where possible, a working interface has been developed against other parts of the car. However, due to unclear details about some of the interfaces, some details are left out of this thesis. A material composition has been found that seems to satisfy the requirements set for the monocoque properties, although the simulation revealed some problematic areas in the geometry. These problems have been addressed.

Two possible ways of producing the monocoque are presented and some assessments are made on how the molds can be made.

The project has delivered a model that is well suited for further work on the car. The next step for upcoming bachelor theses will be to specify material details and interfaces with other parts of the car, as well as verify that the structural strength meet the final design specifications.

Forord

Mange høyskoler og universiteter har studentteam som deltar i forskjellige konkurranser, der de basert på tverrfaglig samarbeid, og faglig fordypning og problemløsning jobber seg mot et felles mål. Eksempler på slike konkurranser med ingeniørfaglig bakgrunn er bl.a. Shell Eco Challenge, Formula Student og The Aero Design Competition. Det viser seg at deltagelse i slike konkurranser er en gir god motivasjon for å tilegne seg faglig kunnskap for studentene.

NTNU på Gjøvik ønsker å tilrettelegge for en studentbasert plattform for tverrfaglig samarbeid, der studentene kan gjøre teori om til praksis. Som et ledd i å danne en slik plattform har de, våren 2020 fått tak i en mockup av en Formel 1 bil, som via flere bacheloroppgaver skal danne grunnlaget for å bygge en kjørbar bil basert på dette designet. Dette gjøres for å danne en kunnskapsbase som kan benyttes til fremtidig deltakelse i konkurranser som Formula Student eller Shell Eco Challenge.

Denne oppgaven er skrevet i en co-engineering/samtidig prosjekterings-prosess med tre andre grupper, der alle gruppene har vært nødt til å jobbe frem egne resultater for å danne grunnlag for samkjørte løsninger. Og den er et avsluttende arbeid for bachelorutdanningen maskiningeniør, med fordypning i industriell design.

Bacheloroppgaven er skrevet av Mads Daniel Thomassen som har hovedansvaret for utformingen av modellen, og Torgeir Omlid Steen som har hatt hovedansvaret for utforming av rapporten og beregninger. Vi er begge nettstudenter med fulltidsjobb i tillegg, men vi har tilpasset oss hverandres arbeidssituasjon og samarbeidet godt.

Vi benytter sjansen til å takke vår veileder Thomas Haavi som har bidratt med gode faglige råd, og veiledet oss underveis i jobben med oppgaven. Thomas har også bidratt med tilbakemelding på oppgaven vår når vi har hatt behov for det. Vi vil også takke Tor Erik Nicolaisen som har vært veileder for noen av de andre gruppene, han har også bidratt med gode faglige innspill og veiledning til oss.

Vi begynte på denne oppgaven i starten av mars etter å ha innsett at vår opprinnelige oppgave ikke ville la seg løse. Vi estimerer at vi har brukt rundt 375 timer hver på denne bacheloroppgaven i perioden 03.03.2020-20.05.2020

Innholdsfortegnelse

Abstract (engelsk)	iv
Forord	v
Innholdsfortegnelse	vi
1 Innledning.....	2
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Målsetting	3
1.4 Prosjektgjennomføring	4
2 Teori	7
2.1 Historie chassis-design	7
2.2 Materialer.....	8
2.2.1 Karbonfiber kompositt	8
2.2.2 Kevlar	12
2.2.3 Kjerne	13
2.2.4 Vekt	15
2.3 Lastescenarioer	15
2.3.1 Globale laster.....	15
2.3.2 Lokale laster og kjerneinnsatser	18
2.3.3 Strukturell styrke	20
2.4 Nøkkeltall	22
3 Design.....	23
3.1 Utforming	24
3.2 Grensesnitt	25
3.2.1 Neseikon	25
3.2.2 Mot bakramme	27
3.2.3 Cockpit	27
3.2.4 Pedalboks	28
3.2.5 Hjuloppheng foran.....	29
4 Simulering og analyse	34
4.1 Oppsett i Ansys.....	34

4.1.1	Modell	34
4.1.2	Mesh	37
4.1.3	Materialoppbygging og fiberorientering	38
4.1.4	Sikkerhetsfaktor og oppsettets validitet	39
4.2	Simuleringer	40
4.2.1	Torsjonsstivhet	40
4.2.2	Sving, brems, kul.....	42
4.2.3	Sidepanel	46
4.2.4	Åpning cockpit	47
4.3	Oppsummering elementanalyse.....	48
5	Produksjonsmetode	50
5.1	Tilvirking av karbonfiberdel.....	50
5.2	Prepreg.....	51
5.3	Infusjon gjennom vakuum	52
5.4	Form.....	55
6	Diskusjon.....	57
6.1	Design.....	57
6.2	Simulering og analyse	58
6.2.1	Material	58
6.2.2	Strukturell styrke	59
6.3	Co-engineering	60
6.4	Produksjon.....	60
7	Konklusjon og videre arbeid	62
7.1	Konklusjon.....	62
7.2	Videre arbeid	63
	Litteraturliste	64
	Vedlegg	66
	Vedlegg 1: Datablad og verdier fra Ansys for Fiberduk og Kjernemateriale	67
	Vedlegg 2: Resultat test 4.2.1 Torsjonsstivhet Δz -verdier	73
	Vedlegg 3: Resultater Test 4.2.2 Sving, brems, kul.....	75
	Vedlegg 4: Prosjektplan	77
	Vedlegg 5: Modell, sammenstilling og Ansys	82

Figurliste

Figur 1.1 Formel 1 mockup til venstre og originalen Ferrari F399 til høyre	2
Figur 1.2 Arbeidsflyt i prosjektet	4
Figur 2.1 Lotus 25 (tv.) og McLarenMP4/1 (th.)	7
Figur 2.2 Oppbygging av en sandwich-konstruksjon.....	8
Figur 2.3 Forskjellige typer vev. Fra venstre: Sateng, 2x2 twill og vanlig.....	10
Figur 2.4 Sidepanel gjennomtrengningsbeskyttelse	12
Figur 2.5 Globale laster: Sideveis bøyning, skjevdrag, vertikal bøyning og torsjon	16
Figur 2.6 Forenklet modell av hjulopphengenes rullestivhet og chassisets torsjonsstivhet....	17
Figur 2.7 Lokale krefter på satt innfesting til wishbone	18
Figur 2.8 Innsats med tapert kant	20
Figur 2.9 Pressområde for statisk test av sidepanel	21
Figur 2.10 Pressområde for statisk test cockpit sideveis.....	21
Figur 3.1 3D-scan av bilen, sett ovenfra, monocoquen er innenfor den røde oppmerkingen. .	24
Figur 3.2 Bilde som viser det utsnittet av bilen vi hadde tilgang til i starten.....	24
Figur 3.3 Prinsippskisse av «cam lock»	26
Figur 3.4 Her ser vi en Ferrari F399 hvor nesekonen er tatt av	27
Figur 3.5 Her ser vi tenkt sittestilling sett fra siden.	28
Figur 3.6 Skisse som viser deler i et hjuloppheng med wishbones.....	30
Figur 3.7 Mockupen med rørprofilen under.....	31
Figur 3.8 Fremparten av Ferrari F399	31
Figur 3.9 Detalj monocoque.....	32
Figur 3.10 En Formel 2 bil konstruert med en monocoque som er tilpasset demperoppsettet	33
Figur 4.1 Ferdig modell av monocoque i Ansys Spaceclaim.....	35
Figur 4.2 Skallinndelinger monocoque	36
Figur 4.3 Mesh med elementstørrelse 15mm, 10mm, 7mm og 5mm. De to siste har hhv. 3mm og 1mm elementstørrelse i utsatte områder.....	37
Figur 4.4 Kraftpar i torsjonsstivhetstest.	41
Figur 4.5 Lastscenario test 4.2.2 Sving, brems, kul	43
Figur 4.6 Problemområde på undersiden av modellen.....	44
Figur 4.7 Problemområder rundt cockpit	44
Figur 4.8 Resultat av test 4.2.2-1 med Core failure-kriteriet	45
Figur 4.9 Testoppsett for test 4.2.3 Sidepanel.....	46
Figur 4.10 Testresultat for test 4.2.3 Sidepanel, Tsai Wu-kriterie	47
Figur 4.11 Testoppsett for test 4.2.4 Åpning cockpit.....	47
Figur 4.12 Testresultat for test 4.2.4 Åpning cockpit, Tsai Wu-kriterie	48
Figur 4.13 Modell med valgt av materialkonfigurasjon. Paneltykkelse vist i mm.	49
Figur 5.1 Produksjonsprosess infusjon gjennom vakuum.....	53
Figur 5.2 PVC skumkjerne med riller for infusjon.	54
Figur 5.3 Eksempel på oppsett for infusjon på større modeller	55
Figur 5.4 Form til Formula Student-monocoque av MDF-plater.....	56

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Til vårsemesteret 2020 har institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk ved NTNU Gjøvik fått låne en mockup¹ av en Ferrari F399 Formel 1-bil. Med utgangspunkt i denne skal fire grupper gjennomføre sin bacheloroppgave på maskiningeniørstudiet. Målet er å produsere en kjørbar replika² for eieren av mockupen, der topphastigheten er begrenset til 150km/h. Bilen skal være kollisjonssikker samt at en ønsker å oppnå best mulig kjøreegenskaper.



Figur 1.1: Formel 1 mockup til venstre og originalen Ferrari F399 til høyre

De fire gruppene har jobbet med hhv. neseikon med frontvinge, fremre hjuloppheng, chassis og drivlinje/bakramme. Denne gruppen har laget et design for chassiset, også kalt monocoque. Dette er den midtre delen av bilen som inkluderer førerbrønn og diverse innfestninger til bl.a. motor og fremre hjuloppheng. Å produsere en ferdig bil er et omfattende prosjekt som er forventet å ta to eller flere år å fullføre. Arbeidet som blir gjort av gruppene dette semesteret vil danne grunnlag for nye bacheloroppgaver kommende år.

¹ Utkast, modell; etterligning

² Nøyaktig kopi eller modell

1.2 Problemstilling

I samråd med veileder kom vi fram til denne problemstillingen:

Hvordan kan man gå frem for å konstruere midtseksjonen til bilen, basert på mockupen av Formel 1-bilen som står på Gjøvik, som en monocoque basert på karbonfiber?

1.3 Målsetting

Målsettingen er å svare mest mulig utfyllende på problemstillingen. Hovedfokuset i oppgaven vil derfor være design, og simulering og analyse. Dette for å sikre at designet vil holde mål i den ferdige bilen. Deretter vil vi foreslå forskjellige produksjonsmetoder basert på de kravene vi får til sammensetning av materialer etter utførelse av analysen.

Design

Det skal designes en monocoque, som skal bygges med karbonfiber over en kjerne. Hovedelementet i oppgaven er å lage et design som tar utgangspunkt i mockupen på Gjøvik. Dette designet skal tilfredsstillende begrensningene som er satt for bilen. I tillegg skal monocoquen passe sammen med alle grensesnitt mot resten av bilen som bakramme, neseikon, hjuloppheng foran mm. Siden denne oppgaven skal danne grunnlaget for fremstilling av bilen er det viktig at alle designløsninger tilfredsstiller kravene og kan brukes i praksis.

Simuleringer og analyse

Det skal deretter utføres styrkeberegning på ferdig design vha. teoretiske beregninger og elementanalyse. I den sammenheng blir det også nødvendig å velge en mulig oppbygging av karbonskallet med kjerne som vil gi monocoquen tilstrekkelig styrke og torsjonsstivhet.

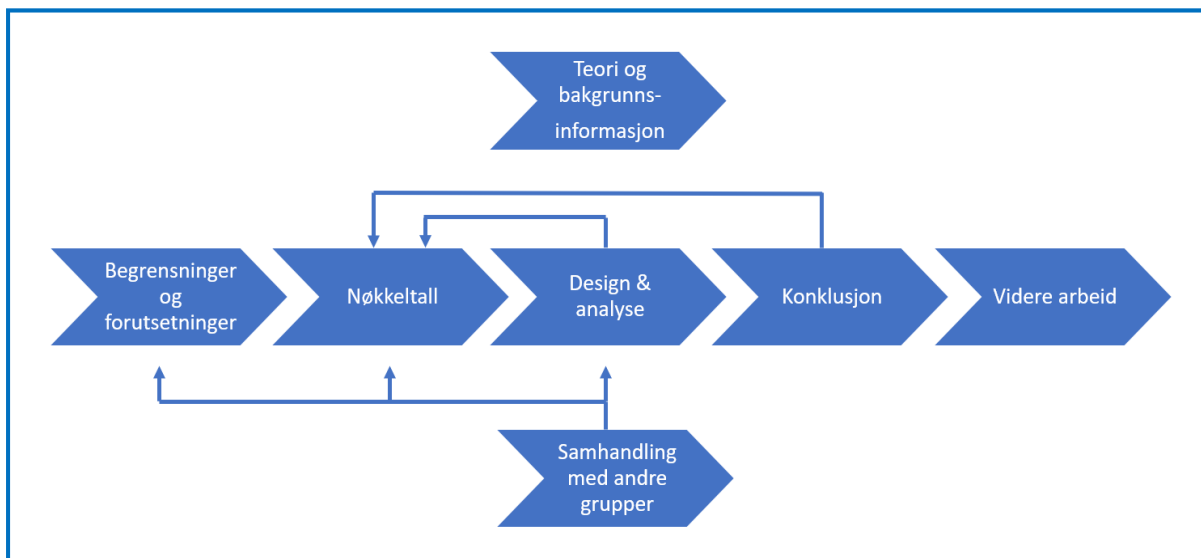
Styrkeberegning gjøres på grunnlag av lastscenarioer presentert i kapittel 2. Disse baserer seg på kjent teori på området, egne beregninger og tekniske krav som i hovedsak er hentet fra Federation Internationale De L'automobile (FIA) sine retningslinjer for Formel 4 og Formel 3. ANSYS er brukt til elementanalyse for å verifisere designet og materialsammensetningen.

Produksjonsmetode

Avslutningsvis ønsker vi å se på hva slags produksjonsmetode som kan benyttes til fremstilling av monocoquen. Her vil tilgjengelige fasiliteter, prisnivå og mulighet til gjennomføring av studenter med begrenset erfaring med karbonstøping være viktige elementer.

1.4 Prosjektgjennomføring

Vi skal her gå gjennom hovedelementene i gjennomføringen av oppgaven og kort om hvordan disse er tenkt utført. Vi har satt opp en enkel struktur for å hjelpe oss å holde en god flyt i arbeidet.



Figur 1.2: Arbeidsflyt i prosjektet

Samhandling

Gruppen består av to nettstudenter. Det meste av arbeidet er derfor individuelt utført, men med hyppige koordineringsmøter. Begge gruppemedlemmer har et likeverdig ansvar for fremdrift av oppgaven.

For å oppnå et tilfredsstillende resultat er alle gruppene som jobber med bilen avhengig av tett samhandling, i en såkalt co-engineering prosess. Siden utforming og spesifikasjoner på de fleste delene av bilen har innvirkning på hverandre må gruppene så tidlig som mulig komme til enighet om grensesnittene slik at disse passer sammen. All nødvendig informasjon må være tilgjengelig for alle gruppene. Det holdes derfor jevnlig statusmøter for å fange opp avklaringer som må gjøres. I tillegg er det opprettet et fellesområde i Teams hvor en raskt kan kommunisere og dele filer av f.eks. CAD-tegninger.

Tabell 1.1: Gruppeoppdeling bacheloroppgave

Gruppenr.	Oppgave
3	Monocoque
6	Bakramme/drivlinje
8	Frontvinge og neseikon
10	Hjuloppheng foran, pedalboks og styrekolonne

Nøkkeltall og begrensninger

For å kunne gjøre fornuftige vurderinger og analyser av designet må det settes målbare nøkkeltall for en rekke av monocoquens egenskaper som en ønsker å nå. Disse baseres på rammene for oppgaven satt av instituttet samt andre nødvendige og ønskelige forutsetninger vi avdekker i arbeidet. Verdiene for de forskjellige nøkkeltallene er presentert i kapittel 2. Monocoquen designes i Solidworks med en utforming som ligger så tett opp mot formen på mockupen som mulig. Gruppe 6 har scannet hele bilen, og denne 3D-scannefilen er brukt som modell for monocoquen. Løsninger på grensesnittene utarbeides i samråd med de andre gruppene og gjennom egne studier.

Fra skolen er det satt disse begrensninger for den utførelsen av den kjørbare bilen:

- Maks 150 km/h
- Førerbrønn skal sikres spesielt
- Styrekolonne skal være krasjsikker
- Det skal bygges inn krasjelementer i bilens side og front
- Bilen skal sikres mot overrulling
- Bilen skal utrustes med brannsløkkeanlegg

Diskusjon, konklusjon og videre arbeid

Når design og analyse er fullført skal resultatene oppsummeres. Det vil bli vurdert hvorvidt vi har nådd målene som er satt gjennom målsettingen, og om dette danner et godt grunnlag for et ferdig produkt. Vi vil her også adressere hvilke elementer som eventuelt er utelatt fra studiene pga. oppgavens omfang og komme med anbefalinger til videre arbeid med monocoquen.

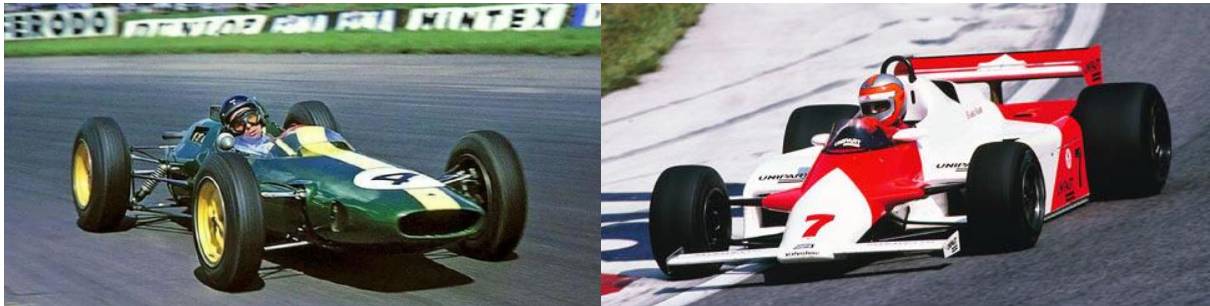
2 Teori

I dette kapittelet presenterer vi teori og forutsetninger som ligger til grunn for videre design og analyse av monocoquen. På grunnlag av dette skal det beregnes og fastsettes nøkkeltall og rammer for konstruksjonen som oppsummeres i avsnitt 2.4

2.1 Historie chassis-design

En monocoque-konstruksjon er en konstruksjon der bærestyrken utgjøres av ytterskallet. Uttrykket kommer fra gresk for enkel (mono) og fransk for skjell (coque). De største fordelene med slike konstruksjoner er gjerne lavere vekt og høyere stivhet. Historisk ble teknikken først tatt i bruk for fly under første verdenskrig og utviklet seg til å bli dominerende for fly under andre verdenskrig.

Den første Formel 1-bilen som tok i bruk teknikken var Lotus 25 i 1962 med sitt monocoque-chassis av aluminium, og i 1981 kom McLaren MP4/1 med den første monocoquen i karbonfiber. (Figur 2.1) (Wikipedia, the free encyclopedia, 2020)



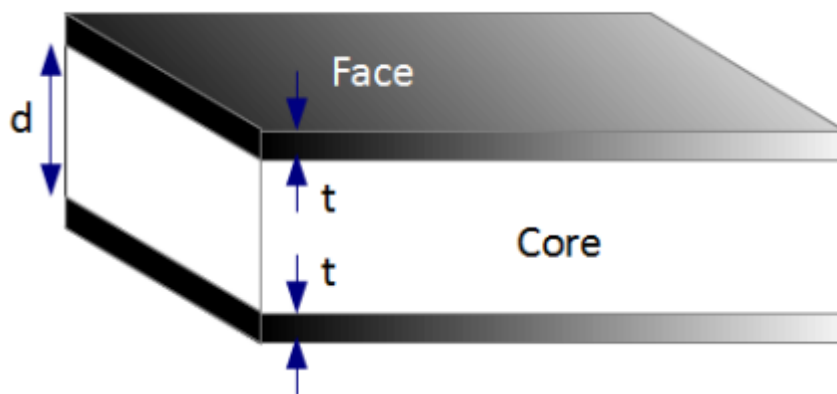
Figur 2.1: Lotus 25 (tv.) og McLarenMP4/1 (th.)

Introduksjonen av karbonfiber i motorsporten førte ikke bare til at det ble mulig å lage biler som er vesentlig lettere og stivere enn tidligere. Biler av karbonfiber har også vist seg å være overlegen andre materialer på kollisjonssikkerhet. På 60-tallet endte 1 av 8 kollisjoner i Formel 1 til død eller alvorlig skade. Dette førte til at en rekke reguleringer og sikkerhetskrav ble innført de kommende årene, og mange av disse ville ikke vært mulig uten karbonfiber. I 1992 hadde andelen ulykker med død eller alvorlig skade til følge sunket til mindre enn 1 av 250 og utviklingen går stadig videre. (Savage, 2009)

I dag er dermed karbonfiber det selvsagte materialvalget for alle lag i Formel 1.

2.2 Materialer

Monocoquen skal lages av karbonfiber kompositt over en kjerne (Figur 2.2). Dette er den mest brukte konstruksjonsmetoden for slike biler siden det muliggjør å lage et chassis som er sterkt, stivt og med lav vekt.



Figur 2.2: Oppbygging av en sandwich-konstruksjon

De to skallene med karbonfiber gir konstruksjonen styrke, mens den lette og stive kjernen øker tverrsnittet og dermed også bøyestivheten til konstruksjonen.

2.2.1 Karbonfiber kompositt

Et karbon komposittmateriale, oftest bare omtalt som karbonfiber, består av en eller flere duker av karbonfiber støpt inn i et bindemiddel, i vårt tilfelle epoksy. Dukene er enten et vevd stoff eller har fibre i samme retning.

I Tabell 2.1 er det listet opp egenskaper til en rekke forskjellige materialer. (Savage 2008) Her kan en se at karbon skiller seg ut positivt ut både i spesifikk styrke som er forholdet mellom styrke og vekt og spesifikk modul som er forholdet mellom stivhet og vekt. Begge er egenskaper som er ønskelig i materialet til en monocoque. Videre gir karbonfiber stor frihet til å påvirke materialegenskapene ved å variere materialtykkelse, fiberretning, fiberkvalitet og bindemiddel.

Tabell 2.1: Materialegenskaper for utvalgte materialer

Material	Density, ρ (g/cm ³)	Tensile strength, σ (MPa)	Tensile Modulus, E (GPa)	Specific strength, σ/ρ	Specific modulus, E/ ρ
Steel	7.8	1300	200	167	26
Aluminium	2.81	350	73	125	26
Titanium	4	900	108	225	27
Magnesium	1.8	270	45	150	25
E glass*	2.1	1100	75	524	36
Aramid	1.32	1400	45	1061	34
IM Carbon***	1.51	2500	151	1656	100
HM Carbon**	1.54	1550	212	1006	138

*E glass: Vanligste form for glassfiber

**Høy elastisitetsmodul karbonfiber

***Medium elastisitetsmodul karbonfiber

Ved valg av fiber må en vite hva slags laster materialet skal utsettes for. Dersom det for det meste oppstår strekkrefter, er det ønskelig å maksimere $\frac{E}{\rho}$ der E er elastisitetsmodul og ρ er massetetthet. For trykkrefter bør $\frac{\sqrt{E}}{\rho}$ maksimeres og $\frac{\sqrt[3]{E}}{\rho}$ for bøyekraft. (Eurenius, et al., 2013) Noen verdier for dette er gjengitt i tabell 2.2. (Savage, 2008)

Tabell: 2.2: Materialegenskaper under forskjellige lastscenarier

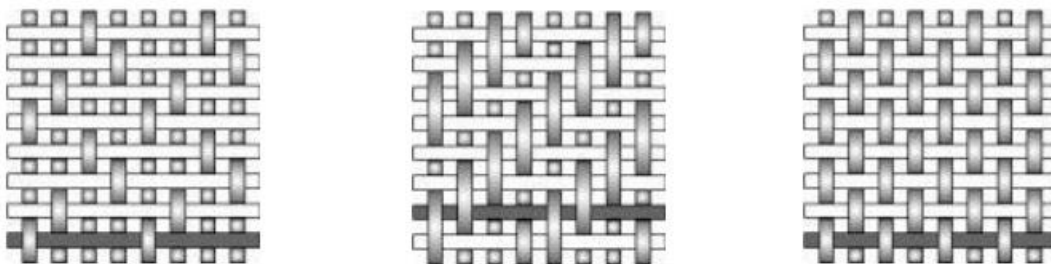
Material	Tension (E/ ρ)	Compression (E ^{1/2} / ρ)	Bending (E ^{1/3} / ρ)
Steel	26	1.8	0.7
Aluminium	26	3	1.5
Titanium	27	2.6	1.2
Magnesium	25	3.7	2
E glass	36	4.1	2
Aramid	34	5	2.7
IM Carbon	100	8.1	3.5
HM Carbon	138	9.5	3.9

Tabell 2.4: Forskjellige karbonfiberkvaliteter

Fibre	Type	Fibre diameter (μm)	Approximate HTT ($^{\circ}\text{C}$)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Failure Strain (%)	Density (gcm^{-3})
T300	Standard modulus	7	1000-1300	3530	230	1.5	1.79
T800	Intermediate modulus	5	1500	5490	294	1.9	1.81
T1000	Intermediate modulus	4.5	1500	6370	294	2.1	1.80
M46J	High modulus	4.4	2350	4210	436	1.0	1.84
M55J	Ultra-high modulus	4.4	2500	3780	540	0.7	1.93
M60	Ultra-high modulus	4.4	2600	3920	588	0.7	1.94

Det er vanlig å bruke duker med kvalitet opp mot T1000 i en monocoque til racerbil. (Savage, 2008) Siden det ikke er bestemt hvilken type duk som skal brukes i den endelige monocoquen har vi i simuleringen valgt å være konservative og bruke verdier som ligger nærmere T300 i kvalitet.

Karbonfiberduker kommer som nevnt i utgaver med fibre i samme retning (unidirectional, UD) og som vevd duk der fibre står vinkelrett på hverandre. Figur 2.3 viser forskjellige typer vev som hver har litt forskjellige egenskaper. (Haugum & Pløen, 2014)



Figur 2.3: Forskjellige typer vev. Fra venstre: Sateng, 2x2 twill og vanlig.

På grunn av oppgavens omfang har vi ikke sett på løsninger med UD-duk i monocoquen. Vevd duk vil gjøre skallene litt tyngrer og tykkere, men gir til gjengjeld enklere kontroll på styrken og er enklere å produsere for studenter med lite erfaring.

To vevde duker i par laminert med 45 graders vinkel mot hverandre vil gi et materiale med lik styrke i alle retninger i planet. Dette gjør også design- og produksjonsprosessen enklere.

Tabell 2.5: Egenskaper forskjellige typer vev

Property	Plain	Twill	Satin
Stability	****	***	**
Drape	**	****	*****
Porosity	***	****	*****
Smoothness	**	***	*****
Balance	****	****	**
Symmetrical	*****	***	*
Low crimp	**	***	*****

Fra tabell 2.5 (Haugum & Pløen, 2014) kan vi se at twill er en type vev som gir en god balanse mellom ønskelige egenskaper. Dette gjenspeiler seg også i tilgjengelige duker vi har funnet, der det er størst utvalg i 2x2 twill for vevde duker.

Tykkelse på dukene står en i utgangspunktet ganske fritt til å velge. Det er den totale tykkelsen som gir materialet sine mekaniske egenskaper. Når det er sagt vil det være langt mer arbeidskrevende å benytte tynne duker da det krever mange flere lag. I våre simuleringer har vi valgt en duk tilsvarende 450g/m^2 med 0.65mm tykkelse.

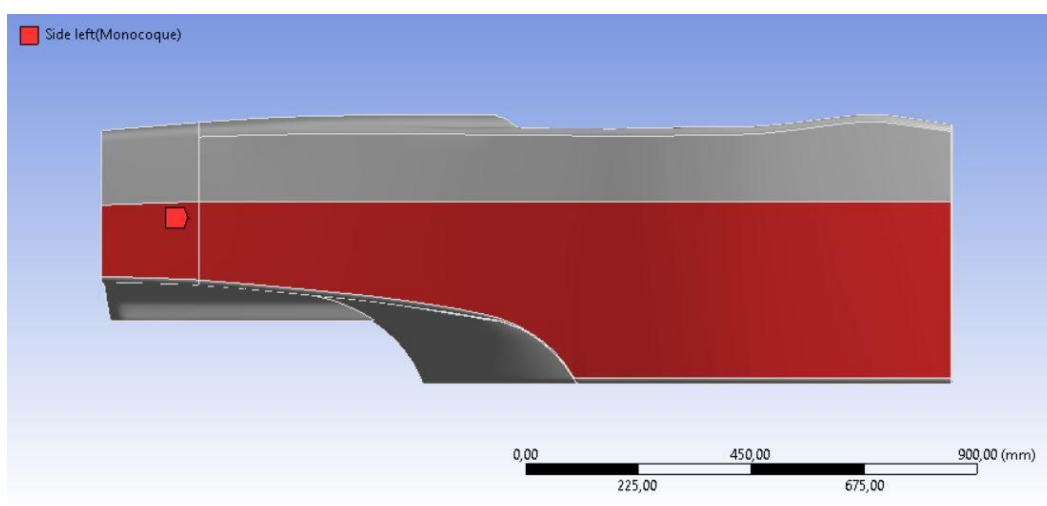
Bindemiddelets oppgave er å overføre laster til fibre. Epoksyen er flytende før den blandes og vil deretter herde til en hard og sprø konsistens. Hvor lang tid dette tar avhenger av epoksyens herdetid og temperatur. Det er viktig å velge en epoksy som matcher fiberkvaliteten. (Eurenius, et al., 2013) I tillegg må den ha en åpentid som gjør at en rekker å lage delen ferdig før epoksyen herder. Valg av epoksy avhenger også av produksjonsmetode. Om en eksempelvis skal benytte seg av infusjon må den uherdede epoksyen også ha god nok flyteevne.

Dersom det er mulig å få tilgang til en ovn som er stor nok til å romme formene bør en også vurdere å bruke prepreg-duk. Dette er karbonfiberduk som er impregnert med epoksy, og herder ved temperaturer typisk fra 60°C til 180°C. Fordelene er enklere produksjonsprosess og bedre kvalitet på ferdige deler siden fiber/bindemiddel-ratioen (V_f) vil være gunstigere.

2.2.2 Kevlar

Som en del av bilens kollisjonssikring anbefaler vi at den utstyres med ekstra sidepaneler av Kevlar for å forhindre at fremmedlegemer trenger gjennom monocoquen og skader føreren. Kevlar er et fibermateriale av polymer som kan brukes på samme måte som karbonfiber, men har litt forskjellige egenskaper. Både vekt og strekkstyrke ligger på nivå med karbon, men materialet er vesentlig dårligere til å ta opp trykkrefter. Til gjengjeld har Kevlar-epoksy-kompositt en seighet som gjør at det er godt egnet som beskyttelse mot gjennomtrengning. Det er derfor Kevlar også ofte brukes i f.eks. skuddsikre vester og hjelmer. (Eurenius, et al., 2013)

Utformingen av sidepanelene (Figur 2.4) er basert på Federation Internationale De L'automobile (FIA) sine tekniske retningslinjer for Formel 3, artikkel 15.3.9. (FIA, 2020) Der beskrives det at det skal benyttes 16 lag 300g/m² vevd Zylon i vekselvis 0° og 45° retning. Disse lagene skal omslutes av et lag vevd karbonfiber for å beskytte mot UV-stråler før de limes til monocoquen.



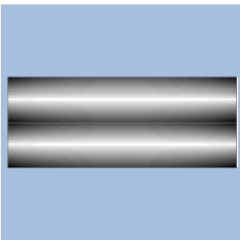
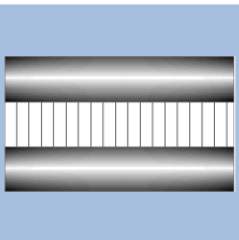
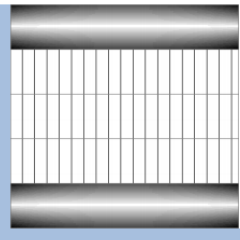
Figur 2.4: Sidepanel gjennomtrengningsbeskyttelse

Det har ikke lyktes å finne tilgjengelig Zylon, men det er derimot mulig å få tak i 300g/m² Kevlar 49-duk hos easycomposites.co.uk. Denne vil ikke ha like stor motstand mot gjennomtrengning som Zylon, men vi vurderer den til å være sterk nok med tanke på bilens bruksområde kontra en Formel 3-bil. Det skal også nevnes at den originale F300 fra 1999 ikke hadde slike sidepaneler siden det ennå ikke var innført krav om det i Formel 1. (Savage, 2009). Dette er altså en tilleggsikkerhet tilpasset dagens sikkerhetskrav som vi har mulighet til å inkludere i designet dersom eier av bilen ønsker det.

2.2.3 Kjerne

Kjernens oppgave er som nevnt tidligere å gi konstruksjonen et større tverrsnitt for å øke stivheten. Det er skallene som bærer lastene mens kjernen holder avstand og stiver av skallene. Lav vekt og stivhet er altså de viktigste materialegenskapene Kjernens innvirkning på sandwich-panelets stivhet er gjengitt i Tabell 2.6. (Savage, 2008)

Tabell 2.6: Endring i stivhet ved økt kjernetykkelse sandwichpanel

	Solid material	Core thickness t	Core thickness 3t
			
Stiffness	1	7	37
Flexural strength	1	3.5	9.2
Weight	1	1.03	1.06

Vi kan se at stivheten øker raskt med økt paneltykkelse, og siden et kjernemateriale gjerne har mye lavere vekt enn skallene vil det være mulig å øke stivheten mye med minimal økning av vekt. Eurenus, et al., (2013) har sett på optimal kjernetykkelse i forhold til skalltykkelse for et panel utsatt for bøyemoment. Gitt en kvotient $f = 2t/d$ der t = skalltykkelse og d = kjernetykkelse vil en verdi på $f = 0.04$ gi gunstig stivhet til vekt rate. Om en ser på styrke istedenfor modul kan panelet feile på forskjellige verdier av f . (Tabell 2.6)

Tabell 2.7: Feilmoder for forskjellige verdier av forholdet mellom skalltykkelse og kjernetykkelse

f-verdi	Feilmode
$f < 0,025$	Knekking
$0,025 < f < 0,1$	Skall gir etter
$f > 0,1$	Kjerne gir etter

For vårt design vil f være høyere enn 0,1 for hele monocoquen. Det vil si at vi enten må velge et kjernemateriale med høy nok skjærstyrke eller bruke sterkere innsatser i kjernen i utsatte områder.

Til vårt formål er det kjerne av skum eller aluminium honeycomb som er de mest aktuelle alternativene. Begge deler er mye brukt i slike prosjekter og er lett å få tak i. En skumkjerne i PVC eller PMI med masse på omtrent 80kg/m^3 vil fungere godt pga. lav vekt, høy stivhet og at det gjør produksjonsprosessen enklere. Aluminium honeycomb derimot har omtrent samme vekt avhengig av cellestørrelse, litt lavere stivhet og mye høyere skjærstyrke. Hvilken type som velges bør derfor bestemmes ut fra produksjonsmetode. Dersom det skal benyttes infusjon bør en velge skum siden en da kan støpe hele skallet i en operasjon. Honeycomb er ikke egnet til infusjon siden cellene ville fylles med epoksy i prosessen. Det ville være mulig å støpe i to omganger, men dette kompliserer produksjonen i for stor grad. (Easycomposites, 2020). Hvis det lar seg gjøre å bruke prepreg-duker vil sannsynligvis honeycomb være det beste alternativet. Datablader til noen aktuelle kjernematerialer er samlet i Vedlegg 1

På steder hvor panelet utsettes for krefter normalt på planet vil det være aktuelt å bruke et annet kjernemateriale lokalt der kreftene virker. Dette skal vi se nærmere på i avsnitt 2.3.2

2.2.4 Vekt

Å lage en monocoquen sterk og stiv nok er i utgangspunktet ikke så vanskelig. Utfordringen er å lage den sterk, stiv og samtidig lett. Selv om styrke og stivhet har hovedprioritet skal vi i tillegg passe på at vekten ikke blir for høy. Et Formel 1-chassis kan veie så lite som 35 kg (Dictionary, Formula 1, 2020), mens både Formel 3 og Formel 4 er regulert til at chassiset skal veie minst 52kg uten sidebeskyttelsespanel og med alt utstyr demontert (FIA, 2020).

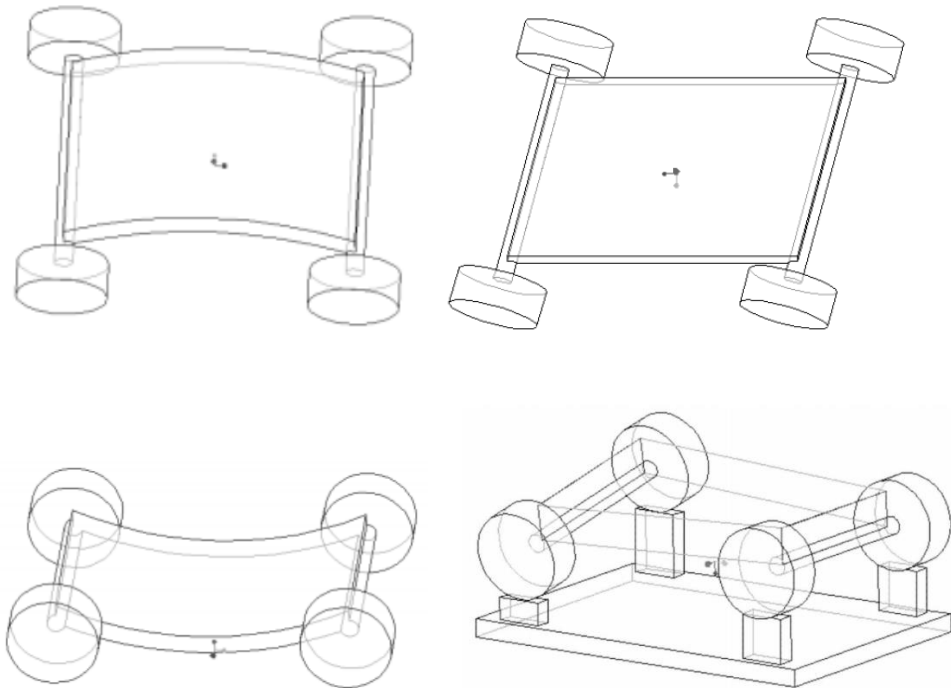
Målsetningen blir at vår monocoque heller ikke skal overstige 52kg. Vekten vi henter ut fra Ansys er uten fremre veltebøyle og innsatser rundt hjuloppheng og innfesting til bakramme. Vi anslår at dette vil utgjøre en vekt på opp mot 20kg slik at verdien vi henter ut fra Ansys ikke bør overstige 32kg.

2.3 Lastescenarioer

For å dimensjonere bilen riktig må vi vite hvilke krefter som virker på den. Lastene kan deles opp i globale laster som er de kreftene som påvirker hele bilen under akselerasjon, bremsing, sving og når den kjører over en dump eller kul. De lokale lastene er de konsentrerte lastene fra hjuloppheng, innfestning til bakramme og sete. I tillegg skal vi se på hvilke laster bilen må tåle for å motstå en kollisjon.

2.3.1 Globale laster

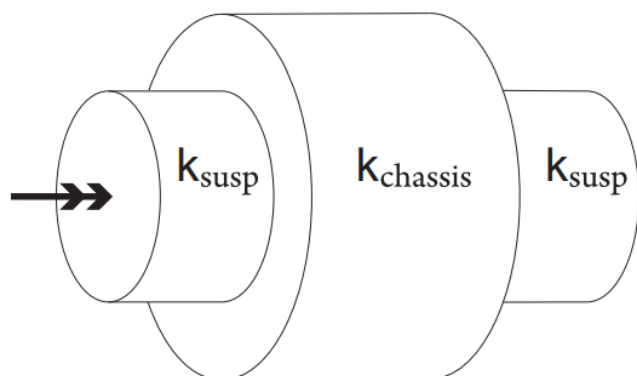
Det er fire typer globale lastescenarioer som påvirker et chassis: Torsjon, vertikal bøying, sideveis bøying og skjevdrag (Figur 2.5) (Eurenius, et al., 2013)



Figur 2.5: Globale laster: Sideveis bøying, skjevdrag, vertikal bøying og torsjon

Alle disse scenarioene har en innvirkning på kjøreegenskapene og må kontrolleres gjennom et stivt chassis. For å avgjøre om chassiset er stivt nok er det først og fremst torsjonsstivheten som må undersøkes. Dette fordi sideveis bøying ikke påvirker sideveis kraftoverføring i stor grad, og at det har vist seg at et chassis med tilstrekkelig torsjonsstivhet også har tilstrekkelig vertikal stivhet. (Milliken & Milliken, 1995)

På bakgrunn av dette er det torsjonsstivheten vi skal sette søkelys på i simuleringen av monocoquens stivhet og da må det settes et mål på hvor stivt som er stivt nok. På generelt grunnlag kan vi si at chassiset må være så stivt at det ikke påvirker bilens kjøreegenskaper. For å beskrive dette kan vi se på bilen som en tredelt modell vist i Figur 2.6 (Kerkhoven, 2008) med rullestivhet foran, chassisets stivhet i midten og rullestivhet bak.



Figur 2.6: Forenklet modell av hjulopphengenes rullestivhet og chassisets torsjonsstivhet.

Rullestivheten foran og bak $K_{susp\ foran}$ og $K_{susp\ bak}$ er gjerne stilt inn forskjellig for å oppnå ønsket kjøreegenskaper. Dette fører til at det virker ulike torsjoner foran og bak på chassiset når bilen krenger. Dersom chassiset ikke klarer å stå imot denne forskjellen i torsjon vil ikke innstillingen av rullestivhet i støtdemperne få sin tiltenkte effekt. Dette fører ofte til understyring av bilen. (Milliken & Milliken, 1995)

Når torsjonsstivheten til chassiset når et visst nivå vil økningen av forbedrede kjøreegenskaper avta raskt og det er forskjellige teorier om hvor den grensen går. (Eurenius, et al., 2013) har gjort en grundig sammenligning av to brukte teorier:

Deakin, et al. (2000) anbefaler at over 80% av forskjellen i rullestivhet foran og bak må føre til forskjell i fremre og bakre sideveis kraftoverføring.

Milliken & Milliken Race Car Vehicle Dynamics (1995) anbefaler at chassisets torsjonsstivhet bør være X ganger den totale rullestivheten (foran og bak). X anslås å ligge mellom 3 og 5.

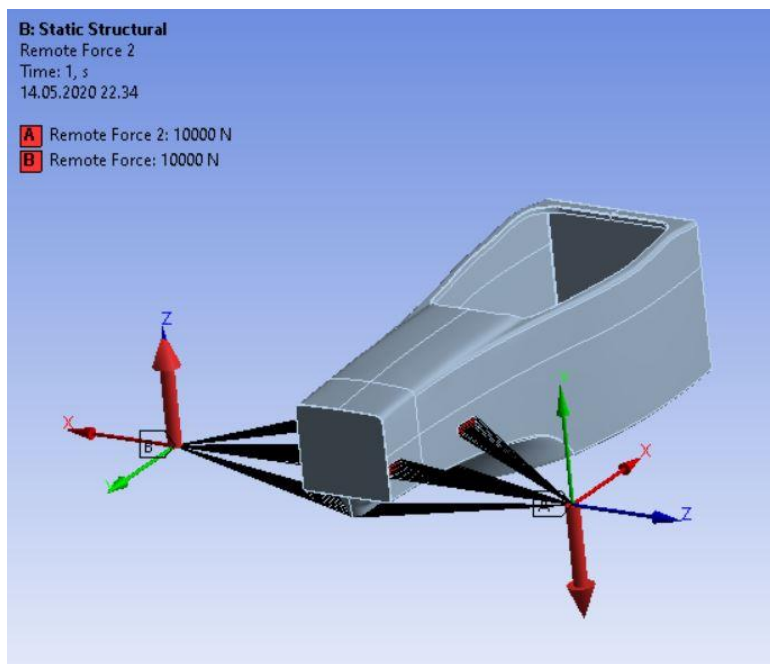
Konklusjonen på sammenligningen er at Deakin m.fl. sin grense på 80% ligger en del lavere enn Milliken & Milliken. Omregnet tilsvarer en stivhet på 3-5 ganger total rullestivhet 95-98% i Deakin et.al. sin modell.

På bakgrunn av disse betraktningene ønsker vi helst at vårt chassis skal ha en torsjonsstivhet på 5 ganger total rullestivhet, men alt over 3 er akseptabelt. Gruppe 6 har beregnet rullestivheten på bakre del til 867Nm/deg. For fremre hjuloppheng var det ikke klar noen beregning på rullestivhet da denne rapporten ble laget, så vi har tatt utgangspunkt i lik verdi som bak. I virkeligheten vil den nok være noe lavere. Ønsket måltall for torsjonsstivheten blir

da $867\text{Nm/deg} \times 2 \times 3 = 5202\text{Nm/deg}$, som minimum eller $867\text{Nm/deg} \times 2 \times 5 = 8670\text{Nm/deg}$ som ønsket mål.

2.3.2 Lokale laster og kjerneinnsatser

Med lokale laster menes de kreftene som virker konsentrert på chassiset i de forskjellige innfestningspunktene. De mest utsatte punktene på bilen er festene til fremre hjuloppheng og innfesting til bakramme/motor. (Figur 2.7)



Figur 2.7: Lokale krefter påsatt innfesting til wishbone

Sandwichpanelene tåler godt påkjenninger som går i planretning, da disse blir fanget opp av de sterke karbonskallene. Når en skal designe innfestningspunkter er det derfor viktig å forsøke å plassere de så kreftene går i planretning.

Krefter som går normalt på planet, lokale bøyemoment og lokal torsjon kan skape problemer for konstruksjonen. I slike tilfeller vil kjernematerialets skjærstyrke normalt på planretningen være dimensjonerende for hvor mye festet tåler. Siden kjernematerialer gjerne har relativt svak skjærstyrke, er det vanlig å erstatte kjernen med et annet og sterkere materiale i området hvor en har lokale laster.

Minimum størrelse på innsatsene kan bestemmes ut fra kontaktarealet mellom innsats og kjernemateriale, kjernens skjærstyrke, og krefter normalt på planet. (Haugum & Pløen, 2014)

S= Kjernematerialets skjærstyrke

h= Kjernens tykkelse

F=Kraft normalt på planet

d=innsatsens diameter

Dette gir for en sirkulær innsats:

$$d = \frac{F}{h\pi S}$$

Vi vurderer å bruke et kjernemateriale av skum til vår monocoque. Det betyr at vi kan anta en skjærstyrke på 1,0Mpa – 1,3Mpa for kjernen (Vedlegg 1). Tabell 2.8 viser noen eksempelverdier for hvor store innsatser vi trenger for forskjellige laster og kjernetykkelser.

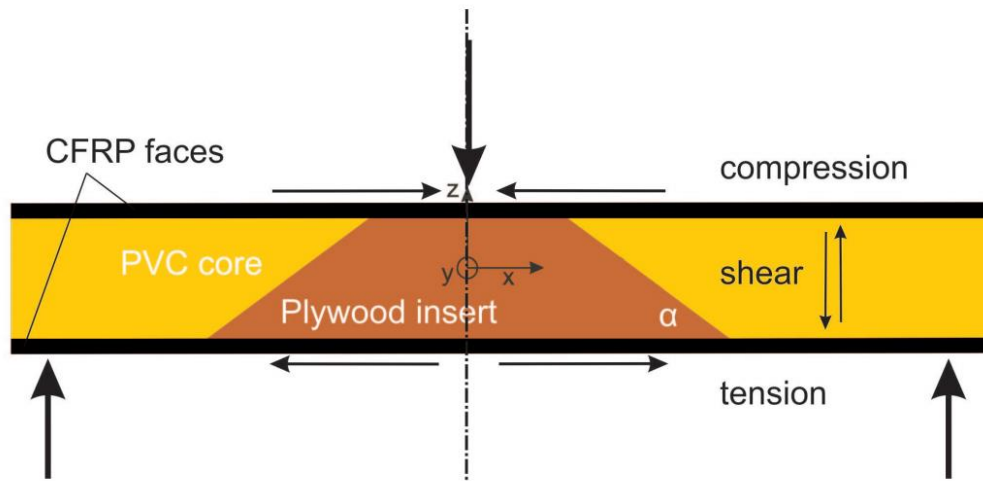
Tabell 2.8: Eksempel på forskjellig innsatsstørrelser ved bruk av Rohacell kjerne

Innsatsstørrelser for Rohacell kjerne, S=1,3Mpa		
F	h	d
10000N	10mm	244mm
10000N	25mm	98mm
20000N	10mm	488mm
20000N	25mm	196mm

Siden vi ønsker å holde både h og d lave må vi i mange tilfeller inngå kompromiss. Det finnes flere metoder for å få til dette best mulig. (Kerkhoven, 2008)

- Øke tykkelsen på kjernen i nødvendig område rundt innsatsen.
- Tapere innsatsen så den får større kontaktflate med kjernen, Figur 2.8, (Kerkhoven, 2008)
- Velge et innsatsmateriale med en viss elastisitet slik at spenningene i skille mellom kjernemateriale og innsats blir mindre.

- Bytte til kjernemateriale med høyere skjærstyrke. Honeycomb-materialer har f.eks. høyere skjærstyrke normalt på planet på bekostning av lavere stivhet.



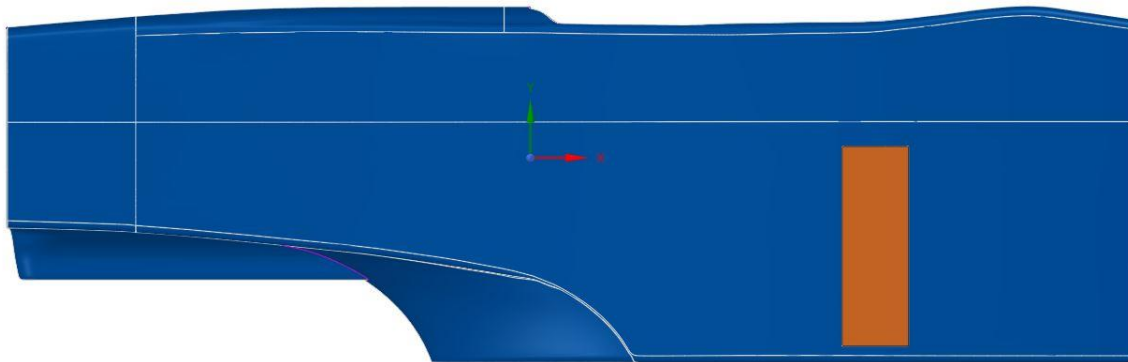
Figur 2.8: Innsats med tapert kant

Uansett hvordan innsatsene designes bør innfestingsområdene verifiseres gjennom fysiske tester av prøvepaneler. En fysisk test kan også gi grunnlag for ytterligere reduisering av innsatsstørrelsen dersom resultatene tilsier det. Det er sannsynlig at dette er tilfelle siden karbonskallets stivhet i seg selv vil oppta noe av kreftene før de påvirker kjernen.

2.3.3 Strukturell styrke

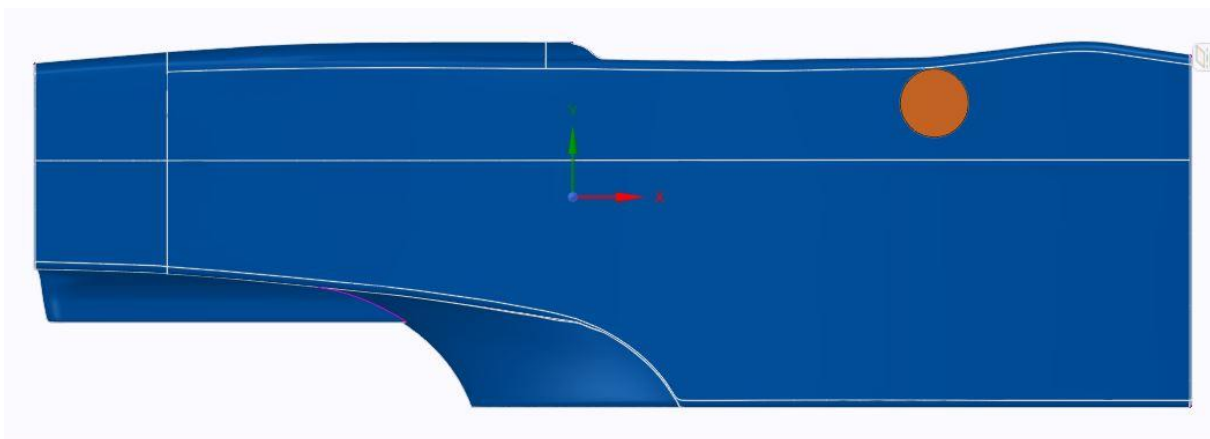
For å sikre monocoquens strukturelle styrke har vi valgt å ta utgangspunkt i de tekniske forskriftene til formel 4. I avsnitt 15-18 (FIA, 2020) er det beskrevet grundige testprosedyrer for fysiske tester. Fysisk testing ligger utenfor denne oppgavens rammer, og vil heller ikke være mulig å gjennomføre i en slik skala ved senere oppgaver. Vi har derfor valgt å simulere to statiske tester og tilpasse de så de er mulig å gjennomføre i Ansys. Testene er beskrevet i avsnitt 18.2 og 18.7 i retningslinjene til Formel 4. (FIA, 2020)

I test 18.2 plasseres en plate på 100mm x 300mm med maksimal radius 3mm i hjørnene på hver side av modellen nederst på den bredeste delen. Platene følger modellens geometri. (Figur 2.9) Platene påsettes en kraft på til sammen 20kN tverrgående. modellen skal tåle testen uten skade.



Figur 2.9: Pressområde for statisk test av sidepanel

I test 18.7 skal to plater med en diameter på 100mm plasseres på hver side av åpningen til cockpit. (Figur 2.10) Øvre kant på platene skal sammenfalle med kanten på cockpit og senter 250mm foran bakkanten på cockpitåpningen. En samlet tverrgående kraft på 15kN påsettes platene.



Figur 2.10: Pressområde for statisk test cockpit sideveis

Disse testene vil gi en god pekepinn på om strukturen er sterk nok til å motstå trykk fra siden.

Vi skal også gjøre en test der vi ser for oss et scenario hvor bilen svinger for fullt med full brems og samtidig treffer en kul med det ene hjulet. Verdiene for dimensjonering av wishbones var ikke tilgjengelig for oss da testen ble gjort, så vi måtte finne andre tilnærmede verdier. Vi benyttet oss av verdier fra Formel 1 (Dictionary, Formula 1, 2020) som sier at bilen kan bli utsatt for 5g under brems, 4g-6g i sving og 3g når hjulet treffer en kul. Vi antok at kun det ene hjulet traff en kul. Bilens vekt satt vi til 700kg med utgangspunkt i Gruppe 6

sin vekt på bakdelen av bilen (450kg.) g-kreftene fra Formel-1 ble noe nedjustert siden vår bil ikke skal opp i samme hastigheter. Våre verdier er gjengitt i avsnitt 4.2.2

Ved disse tre testene av monocoquens strukturelle styrke bruker vi som nøkkeltall en Tsai Wu-faktor $<0,8$. Tsai Wu-kriteriet og valget av denne verdien er beskrevet i avsnitt 4.1.4

Chassiset skal også utstyres med en fremre veltebøyle som monteres innvendig rett i forkant av åpningen til cockpit. Denne er ikke tatt med i simuleringene og må derfor styrkeberegnes separat før endelig valg av dimensjon. Veltebøylene vil også bidra til å gi monocoquen en ekstra stivhet.

Kollisjonssikring mot front ivaretas i stor grad av neseconen designet av gruppe 8. Det antas at monocoquen vil tåle restrykket etter en kollisjon etter deformasjon av neseconen. Kjernen i deler av baksiden på monocoquen vil erstattes av aluminiumskinner. Disse har til hovedoppgave å forsterke panelet i bolteinnfestingene til bakramma, men vil også øke kollisjonssikkerheten bakfra.

2.4 Nøkkeltall

Oppsummert i tabell 2.9 har vi nå en del nøkkeltall vi ønsker å oppnå gjennom simuleringen.

Tabell 2.9: Nøkkeltall monocoque

Nøkkeltall monocoque					
Kriterier	Torsjonsstivhet	Masse (uten innsatser)	Sving- Brems- Kul	Sidepanel statisk	Side cockpit statisk
Verdi	5200Nm/deg – 8670Nm/deg	$<32\text{kg.}$	Tsai Wu $<0,8$	Tsai Wu $<0,8$	Tsai Wu $<0,8$

3 Design

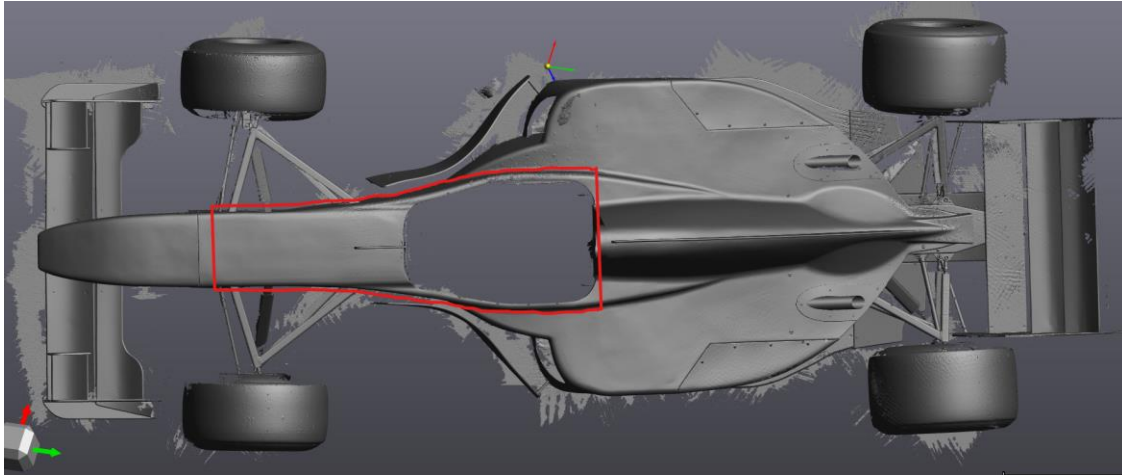
Vi har designet en CAD-modell av en monocoque, som skal brukes i en replika av en Ferrari F399. Selve formen på monocoquen er i stor grad låst opp til formen på mockupen på Gjøvik, som skal være en fremstilling av en Ferrari F399.

Mockupen har i sin tid blitt laget for å være med rundt på messer som en slags attraksjon, og den er konstruert i henhold til det formålet, derfor er formen ved første øyekast veldig lik Ferarri F399. Men når vi har studert bildene og 3D-scan av mockupen så skjønner vi at de har gjort en del forenklinger. Derfor har vi vært nødt til å gjøre en del tilpasninger som avviker fra mockupen. Disse kommer vi tilbake til senere.

Utforming av CAD modellen er gjort i programmet SolidWorks, heretter kalt SW. Og som hjelpemiddel hadde vi tilgang til en 3D-scan som var utført av gruppe 6. For å kunne lese denne 3D-scanningen benyttet vi programmet VX Elements, som vi fikk tilgang til etter hvert. Alle de vitale målene vi har brukt i utformingen er hentet ut fra denne 3D-scanningen.

Den første delen av designprosessen var for vår del var å legge en plan for hvilke bestanddeler av karosseriet vi skulle ha med som en del av vår monocoque, og hvilke deler vi mener bør lages utenom. I denne prosessen lærte vi at de forskjellige Formel- klassene alle opererer med en form for «survival cell» som utgjør bilens monocoque chassis, en slik «survival cell» er en lukket konstruksjon som i hovedsak inneholder bilens cockpit og dens intensjon er å beskytte føreren fra ytre påkjenninger i en eventuell ulykke.

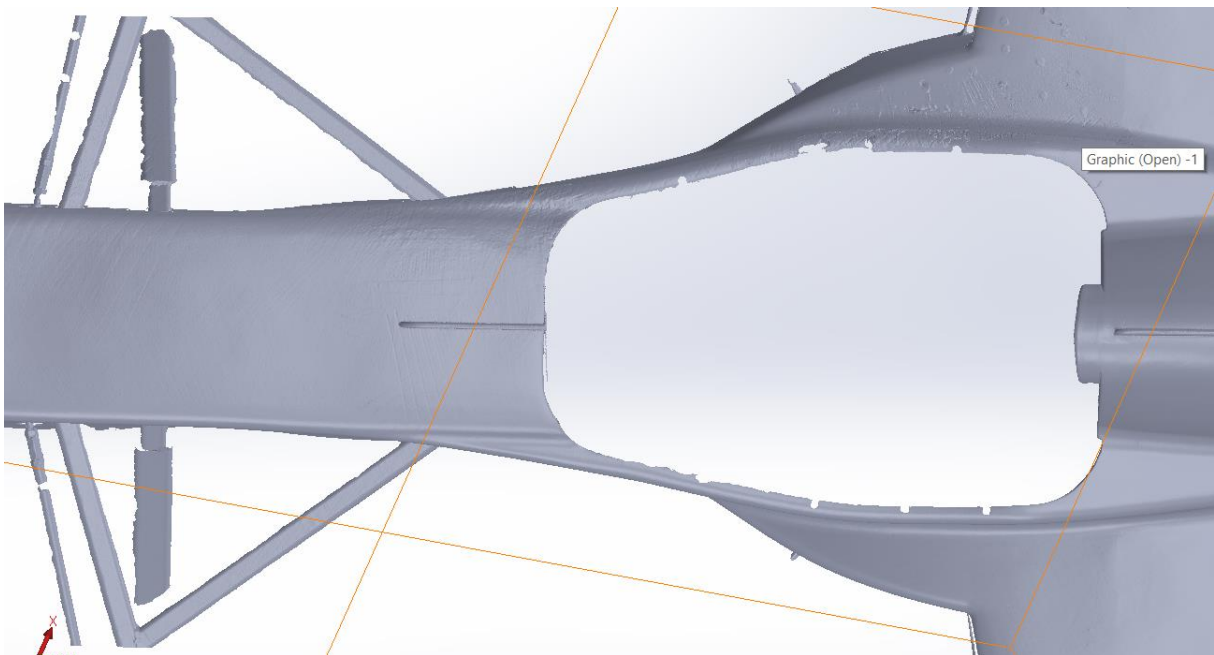
Denne cellen strekker seg fra skillet mellom neseconen og helt til motorfestet som befinner seg bak føreren, se figur 3.1. Karosseriet med luftinntakene til motoren er ikke en del av monocoquen, det er mest hensiktsmessig å ha dette med som en del av motordekselet, og vil dermed bli utformet senere.



Figur 3.1: 3D-scan av bilen, sett ovenfra, monocoquen er innenfor den røde oppmerkingen.

3.1 Utforming

Når vi startet utformingen av monocoquen hadde vi tilgang til et tredimensjonalt utsnitt av bilen i filformatet STL, som Pål Erik Endrerud ved NTNU Gjøvik hadde generert ut fra 3D-scanningen gjort av gruppe 6, og der det som for vår del var overflødige deler av bilen er kuttet bort. Grunnen til at det bare var et utsnitt vi hadde som utgangspunkt er at filen med hele bilen rett og slett ble for stor til å behandle uten riktig programvare, som vi først fikk tilgang til en del senere.



Figur 3.2: Bilde som viser det utsnittet av bilen vi hadde tilgang til i starten

Ut fra dette utsnittet lagde vi så todimensjonale omriss av det som skulle bli monocoquen. Dette var en veldig krevende metode og vi klarte ikke oppnå den nøyaktigheten som oppgaven tilsier. Det var også veldig ufordelaktig at vi manglet nesekonen i utsnittet vårt.

Derfor var det en stor fordel å få tilgang til VX Elements og den originale filen fra 3D-scanningen. Da vi fikk tilgang til hele modellen fikk vi bekreftet det vi mistenkte når vi så mockupen på Gjøvik; mockupen har en del skjevheter som det var viktig å ikke få med inn i vår CAD-modell, og vi fikk sett at en del detaljer er svært forenklet på mockupen i forhold til de originale Ferrari-ene, så på de punktene har vi studert bilder av Ferrari-en for å formgi monocoquen mest mulig riktig i forhold til originalene.

VX Elements ga oss mange valgmuligheter for hvordan vi skulle overføre formen fra 3D-scan, til en funksjonell CAD-modell av monocoquen. Og vi gikk over til å dele 3D-scannet i skiver, og i hver av disse skivene kunne vi hente ut omrisset av karosseriet, og overføre disse til SW. Men på grunn av de nevnte skjevhetene måtte vi for hver enkelt skive tegne opp en tilnærming til omrisset i SW slik at vi sitter igjen uten skjevheter, men med et tilnærmet likeformet resultat.

3.2 Grensesnitt

Her tar vi for oss de hvordan grensesnittene mellom monocoquen og de andre delene er/vil være. Løsningene for de forskjellige grensesnittene er i hovedsak jobbet frem i samråd med de andre gruppene. Vi går også gjennom de eventuelle tilpasningene og forbeholdene vi har gjort under utformingen av modellen, som skal sikre at de andre delene av bilen vil kunne passe sammen med monocoquen i den ferdig bygde bilen.

3.2.1 Nesekon

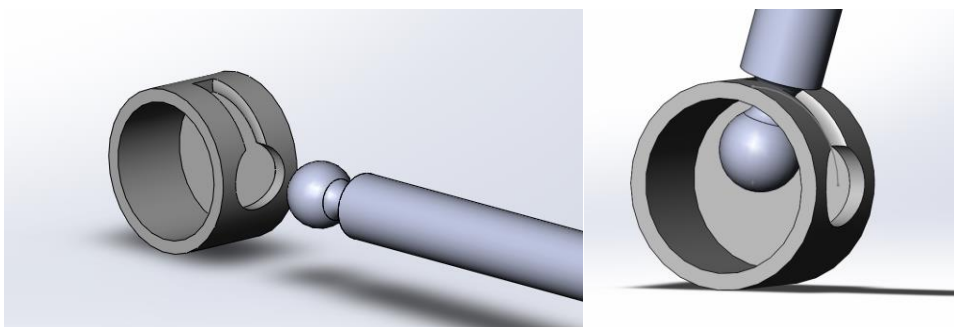
For å få til en formmessig jevn overgang mellom nesekonen og monocoquen så har vi utformet et sammenhengende skall fra fronten av bilen og bakover, altså med nesekonen på. Deretter har vi i SW valgt oss ut et deleplan som markerer skille mellom monocoque og nesekon. Når deleplanet var valgt ut, og formen på skallet var ferdig justert brukte vi dette deleplanet og delte nesekonen og monocoquen fra hverandre, og lagret de som separate filer.

Filen med neseconen overleverte vi til gruppen som skal konstruere neseconen, og de har brukt den i arbeidet med å produsere neseconen.

Her valgte vi sammen med gruppe 8 og 10 å ikke ha skille mellom monocoque og nesecon på samme plass som på mockupen, men å være tro mot originalen F399. Dette valgte vi fordi vi ville være sikre på at det vil være mulig å montere styresnekke etter at monocoquen er ferdig konstruert, nå vil den bli montert utenpå monocoquen. Det vil også gi bedre tilgang til komponentene som skal monteres lengst fremme i monocoquen som f.eks. pedalboks. Slik at montering, service og justeringer på disse delene kan gjennomføres på en best mulig måte.

For å feste neseconen til monocoquen så er det vanlig i F1 å benytte seg av en type låsemekanisme som kalles «cam lock», se figur 3.3 for prinsipp, som låser seg med en kvart omdreining. Standard løsning er at boltene sitter fast i neseconen mens låsen er i monocoquen, med låsefunksjonen tilgjengelig fra utsiden av monocoquen for å muliggjøre raske bytter av nesecon, se figur 3.4 for hvordan det kan implementeres i den ferdige bilen, legg merke til hullene i hvert hjørne, og de to hullene vi ser oppe og nede på siden, disse tilhører festemekanismen for neseconen.

Men her har hverken vi eller de som jobber med neseconen funnet en kommersielt tilgjengelig løsning, etter prinsippene Formel 1 teamene benytter seg av. Vi har bare funnet enkle løsninger ment for møbler og disse vil nok ikke klare å holde seg låst under påvirkning av vibrasjonene som oppstår under kjøring av bilen.



Figur 3.3: Prinsippskisse av «cam lock»

Vi har diskutert forskjellige egne løsninger med gruppen som skal produsere neseconen, og vi var inne på tanken om å benytte oss av en type quarter turn fester fra produsenten Camloc, der boltene er fjærbelastet for å motstå vibrasjoner. Disse var tenkt montert med boltene fra neseconen og inn i monocoquen i nærheten av alle fire hjørner. Da måtte de ha laget tilkomstluker på siden av neseconen, for tilgang til å låse/åpne bolteforbindelsen, og på

monocoquen måtte vi ha tilrettelagt for låseplater tilhørende boltene. Vi gikk bort fra denne løsningen fordi plassbehovet til dempere og styresnekke er uavklart, og vi ville ikke sette begrensninger for disse.



Figur 3.4: Her ser vi en Ferrari F399 hvor neseconen er tatt av

3.2.2 Mot bakramme

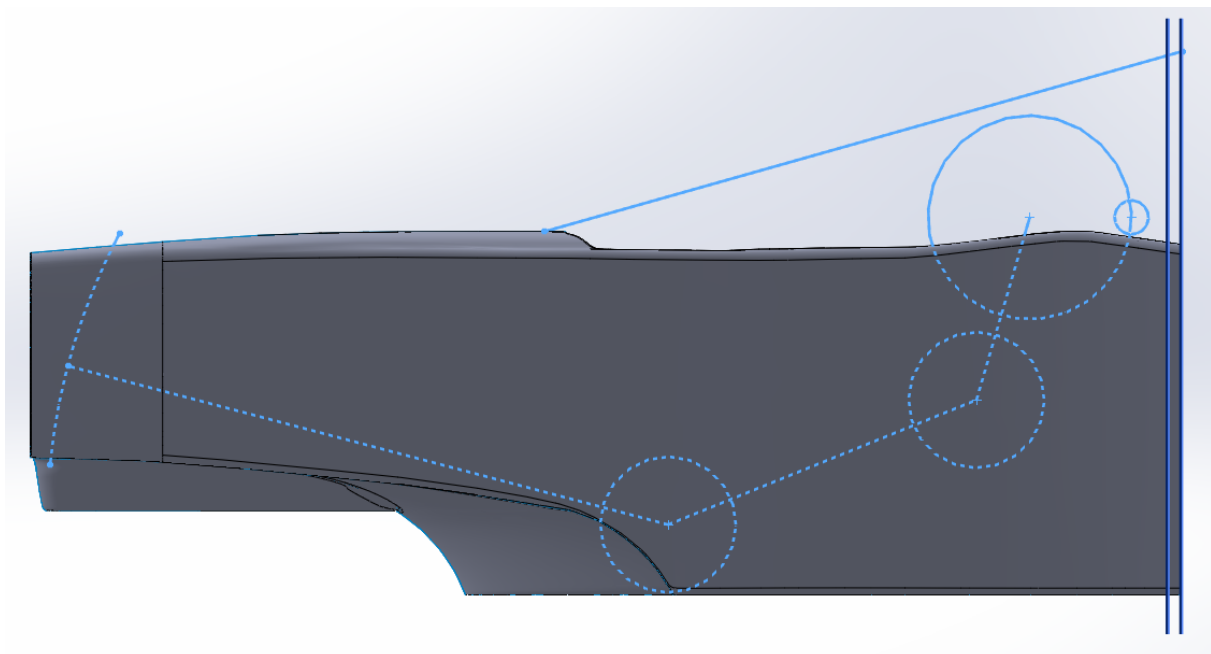
Mot bakrammen slutter monocoquen i en plan flate. Her har vi ikke gjort noe særlig med formmessige tilpasninger, det eneste vi har gjort er å tilpasse lengden på monocoquen slik at akselavstanden skal bli riktig. Mot bakrammen ligger tilpasningene skjult bak flaten, for der skal det legges inn forsterkninger som skal sikre en stabil forbindelse mellom bakramme og monocoque.

3.2.3 Cockpit

Cockpiten i mockupen har et sete med en mer oppreist sittestilling enn det som er aktuelt for replikaen, dette fordi hodet blir for høyt i forhold til veltebøylen. Sittestillingen må derfor justeres for at vi skal klare å tilfredsstille kravene til sikkerhet for føreren. Vi har tatt

utgangspunkt i reglementet til Formula Student og da skal hjelmen kunne ha en avstand på over 50mm til en tenkt linje mellom toppen på veltebøylen bak føreren, og toppen på veltebøylen foran rattet (som på vår monocoque er tenkt plassert rett foran åpningen til cockpiten).

I figur 3.5, hvor vi viser tenkt sittestilling, der representerer de to små sirklene hofter og skuldre, den store er hodet med hjelm, og buen i front er minimumsavstand til pedalene når de er trykt helt inn. Målene er hentet ut fra reglementet til Formula Student reglement av 2019.



Figur 3.5: Her ser vi tenkt sittestilling sett fra siden.

Gruppen som har designet bakrammen klarer ikke i henhold til begrensningen i sin oppgave å lage rammen bak med en veltebøyle som er over 800mm fra bunnen og til toppen. Da veltebøylen vil bli høyere enn karosseriet på mockupen tillater. Men denne begrensningen gjør det egentlig umulig å få til en praktisk sittestilling i henhold til reglementet i Formula Student. Vårt forslag til sittestilling er veldig nærme å komme innenfor de kravene, men nærme er ikke godt nok til å få godkjent bilen.

3.2.4 Pedalboks

Nesten helt fremst i cockpiten skal det plasseres det som kalles for en pedalboks, det er en ramme med påmonterte pedaler, og de komponentene som skal til for å gi pedalene funksjon. Denne kan lages med enten stående, eller hengende pedaler, og monteres derfor enten i

toppen, eller i bunnen. Festene til pedalboksen vil limes fast på innsiden av mockupen etter at skallet er støpt og førerposisjonen er helt bestemt.

Den tilpasningen som er gjort i forhold til det som har med pedalboksen å gjøre, er å senke dørken fremme i monocoquen med rundt 20mm i fronten på monocoquen i forhold til dørken på mockupen. Denne senkningen starter et stykke frem på nesekonene og er gjort gradvis for å unngå trapping. Senkningen er gjort fordi avstanden mellom dørk og topp kun var på rundt 280mm i mockupen, som er veldig lite i forhold til størrelsen på en normal fot, og er gjort i samråd med veileder.

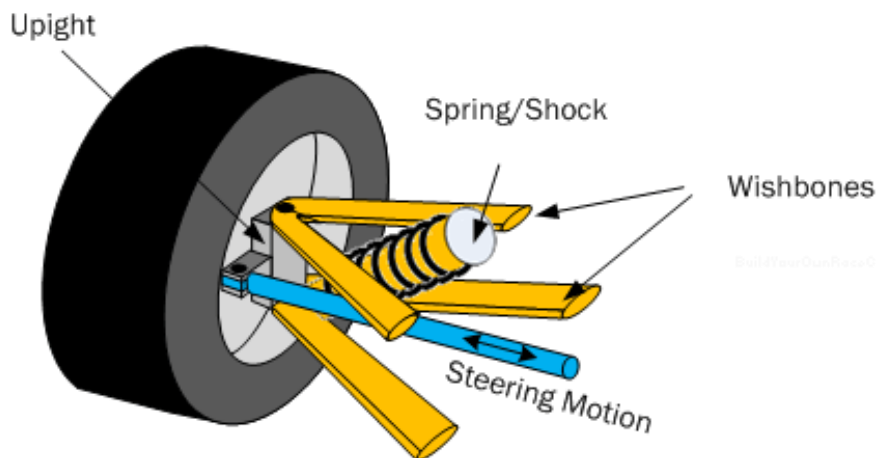
3.2.5 Hjuloppheng foran

For å få oversikt over delene i hjuloppheng foran som vil ha kontaktpunkter til monocoquen, eller er styrende i forhold til utforming av monocoquen har vi satt opp en tabell for å lettere få oversikt, se tabell 3.1. Delene i tabellen, utenom styresnekke og anti-roll bar, opptrer parvis med en på hver side av monocoquen

Tabell 3.1: Deler i hjuloppheng foran som er tilknyttet monocoquen

Wishbone og styresnekke med styrestag, se figur 3.6 for forklaring	
Nedre wishbone/triangelarm	Øvre wishbone
Styrestag	Styresnekke
Støtdempere med pushrod og anti-roll bar	
Pushrod/støtstang	Rocker/vugge
Støtdempere	Lenkestag til anti-roll bar
Anti-roll bar/anti krengestag	

Unequal-Length Wishbone Independent Front Suspension

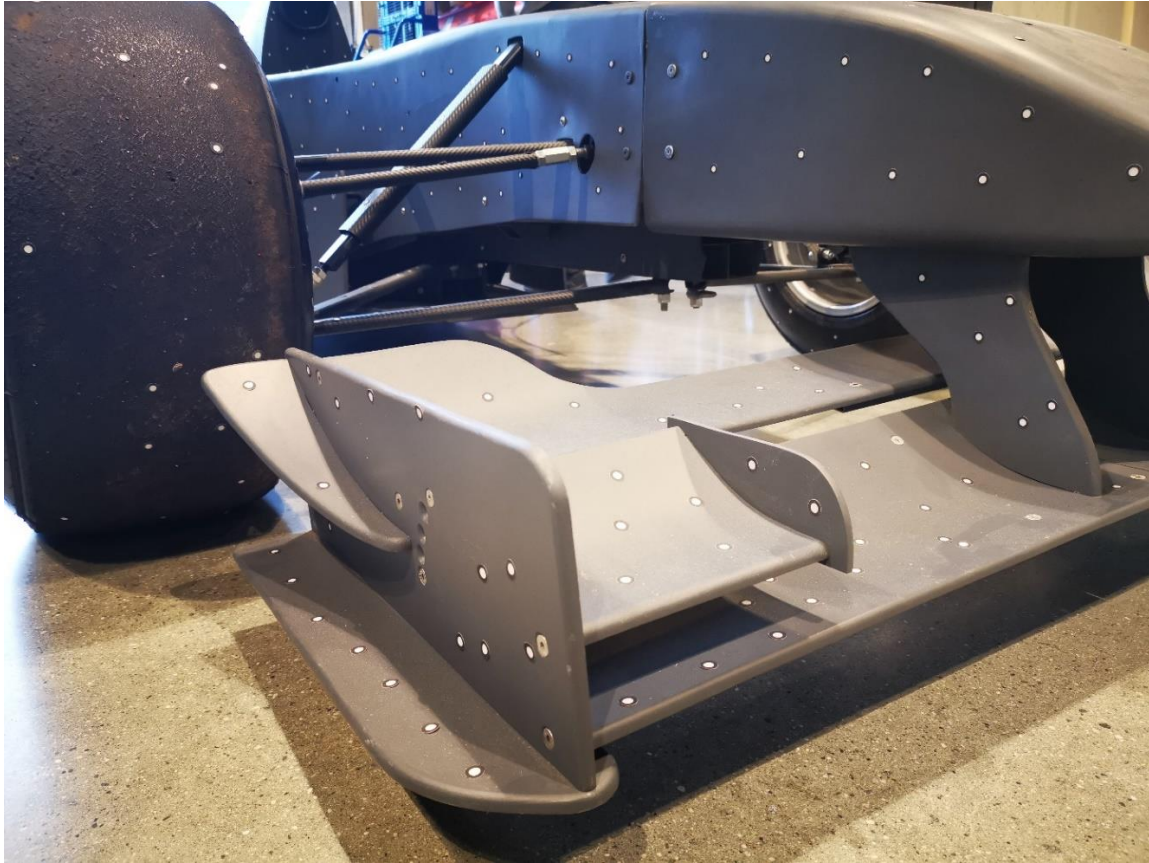


Figur 3.6: Skisse som viser deler i et hjuloppheng med wishbones

Whishbone og styresnekke med styrestag

På undersiden av karosseriet på mockupen er det en festet en rørprofil som starter litt fremfor vårt skille mellom monocoque og nesekon, og strekker seg bakover og nedover til den nesten treffer bunnplaten i forkant av cockpiten. Langs denne profilen er festet en plate som utgjør dørken på monocoquen. Se figur 3.7

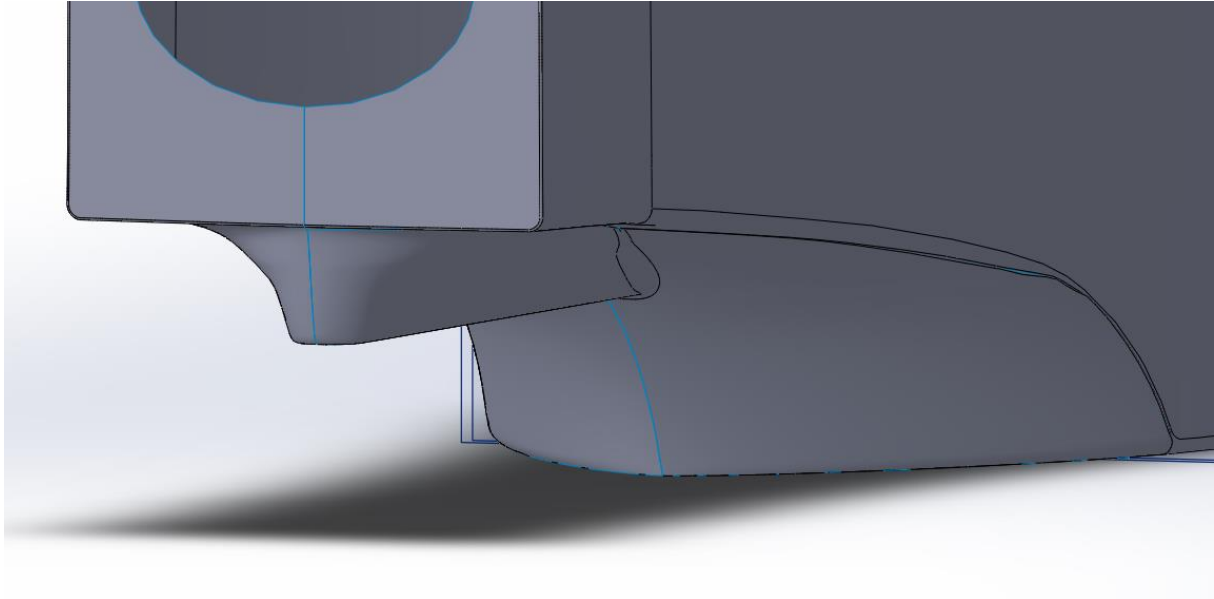
Dette passer veldig dårlig overens med utformingen av den originale bilen, samt ønskede vekt- og aerodynamiske egenskaper på replikaen. Derfor har vi på dette punktet tilnærmet oss utformingen av den originale bilen. Vi har utformet en slags kjøll som nedre whishbone skal festes i, og endret på formen til monocoquen i fremkant av cockpiten samtidig, slik at den blir mest mulig lik originalen. Se figur 3.8 bilde som viser utformingen på undersiden av Ferrarien og figur 3.9 som viser utformingen på undersiden av monocoquen.



Figur 3.7: Mockupen med rørprofilen under



Figur 3.8: Fremparten av Ferrari F399



Figur 3.9: Detalj monocoque

Øvre wishbone skal festes oppe på siden av monocoquen, og her er det veldig viktig at vi dimensjonerer kraftig nok støtte i bakkant av festet.

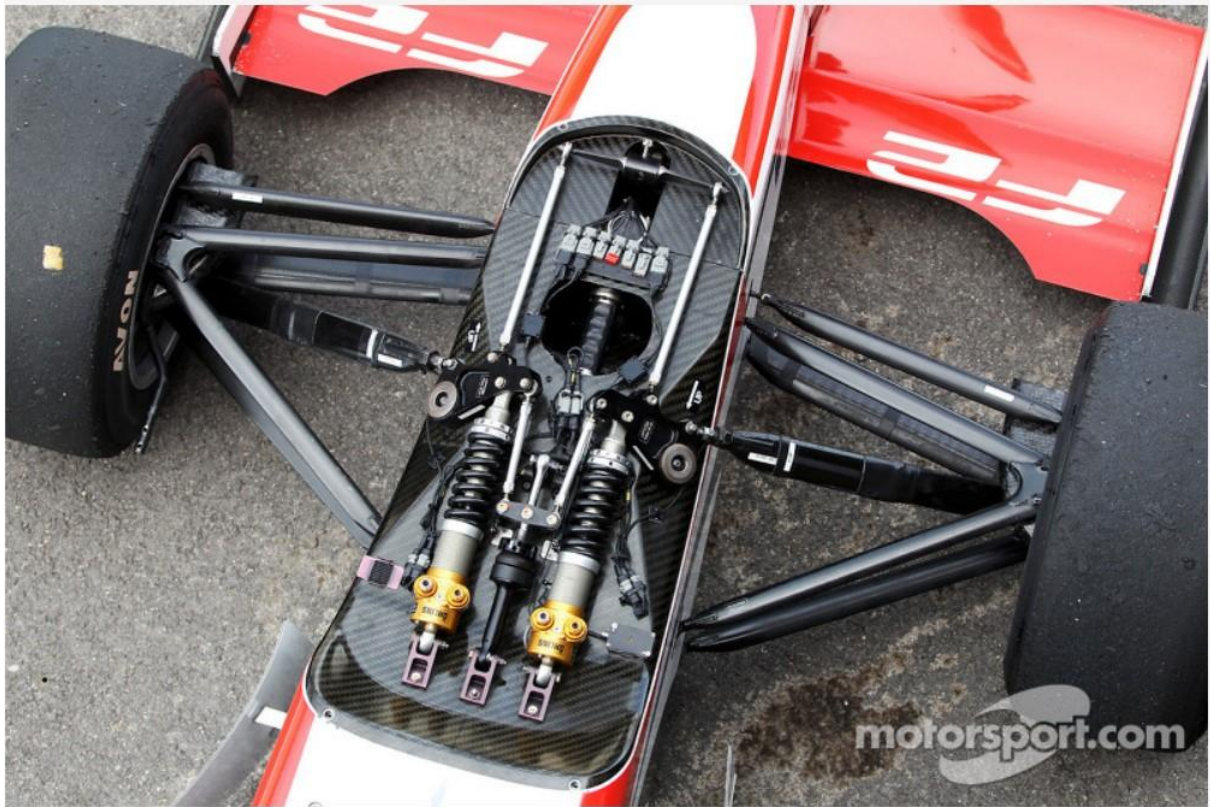
Styresnekka festes omtrent som i figur 3.4, og festene må tilpasses den styresnekka som til slutt blir valgt. I forhold til styresnekka som ikke er endelig valgt, så er det litt usikkerhet i forhold til hvor stort hullet i framdelen av monocoquen kan være. Kort avstand mellom festene vil føre til mindre hull.

Forbundet med styresnekka på hver side er styrestagene, men gjennomføringen for disse vil ikke berøre utformingen av monocoquen direkte, da de går ut til sidene gjennom neseconen.

Støtdempere med pushrod og anti-roll bar

Utformingen av monocoquen i forhold til støtdempere er tenkt utført som vist i figur 3.10, med et tilhørende lokk som passer oppå. Vi har ikke laget noen utforming av monocoquen for å tilrettelegge et slikt oppsett fordi vi ikke har klart å avklare dimensjonene på støtdemperne og tilhørende deler i samband med andre grupper. Dermed vurderte vi det slik at det er best å avvente slik at vi er sikre på å ikke senke ned for mye. Det er ikke er så veldig god benplass inne i monocoquen, så det vil ikke nødvendigvis være mulig å lage så dyp forsenkning man vil for å gi plass til demperoppsettet. Dermed så kan det tenkes at lokket må lages høyere enn det formen på monocoquen nå tilsier, for å kunne gjemme demperne under.

Pushrod er de stagene som overfører kreftene fra hjulet, via vuggen, og til demperne



Figur 3.10: En Formel 2 bil konstruert med en monocoque som er tilpasset demperoppsettet

4 Simulering og analyse

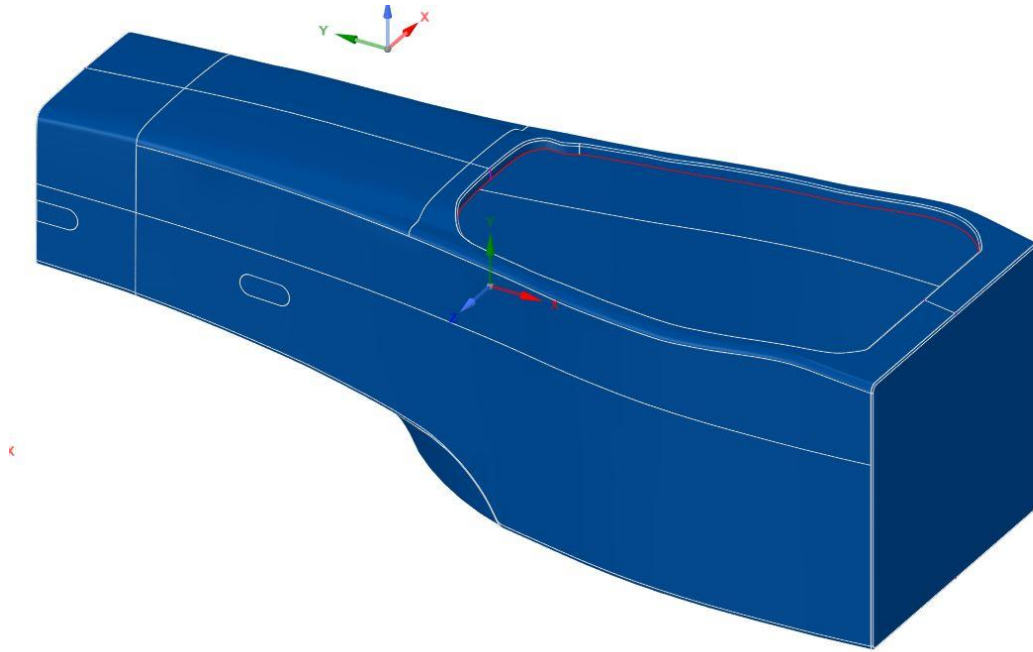
Simulering av laster påført chassiset er gjort med elementmetoden. Dette er en numerisk metode som deler inn en modell i et rutenett kalt mesh. Kreftene som virker i hvert knutepunkt mellom elementene blir deretter regnet ut gjennom et algebraisk ligningssystem bestemt av modellens elementer, innfestinger og påførte krefter. I dette kapittelet presenterer vi oppsett, gjennomføring og resultater av analysene vi har gjort.

4.1 Oppsett i Ansys

Vi valgte Ansys Workbench som programvare for våre analyser. Bakgrunnen for valget var at Ansys er godt ansett som programvare til elementanalyse, og at det er tilgjengelig for studenter ved NTNU. I tillegg har Ansys Workbench en modul som heter ACP (Ansys Composite PrepPost) som spesialisere seg på komposittmaterialer. ACP muliggjør simulering av karbonduker med forskjellige materialegenskaper i forskjellige retninger. Det kan legges inn fiberretning over kurver på modellene og korrekt oppbygging med antall lag duk. 2D-skisser av dukene til kutting blir også generert av ACP, som kan være praktisk når monocoquen skal produseres. Det finnes også en rekke kriterier for feilmode spesielt tilpasset komposittmaterialer, bl.a. Tsai Wu-kriteriet som vi har brukt i våre analyser.

4.1.1 Modell

Monocoquen er modellert i Solidworks som beskrevet i kapittel 3 og deretter importert til Ansys. En direkte overført modell vil inneholde en del ugunstig geometri og feil som gjør den uegnet til elementanalyse. Vi startet derfor med å rette opp i modellens geometri i Spaceclaim som er en CAD-modul i Ansys workbench. Formålet med dette var å lage en modell med hele flater og minst mulig kanter i geometrien. Til slutt satt vi med en hel modell definert som et skall vist i Figur 4.1.



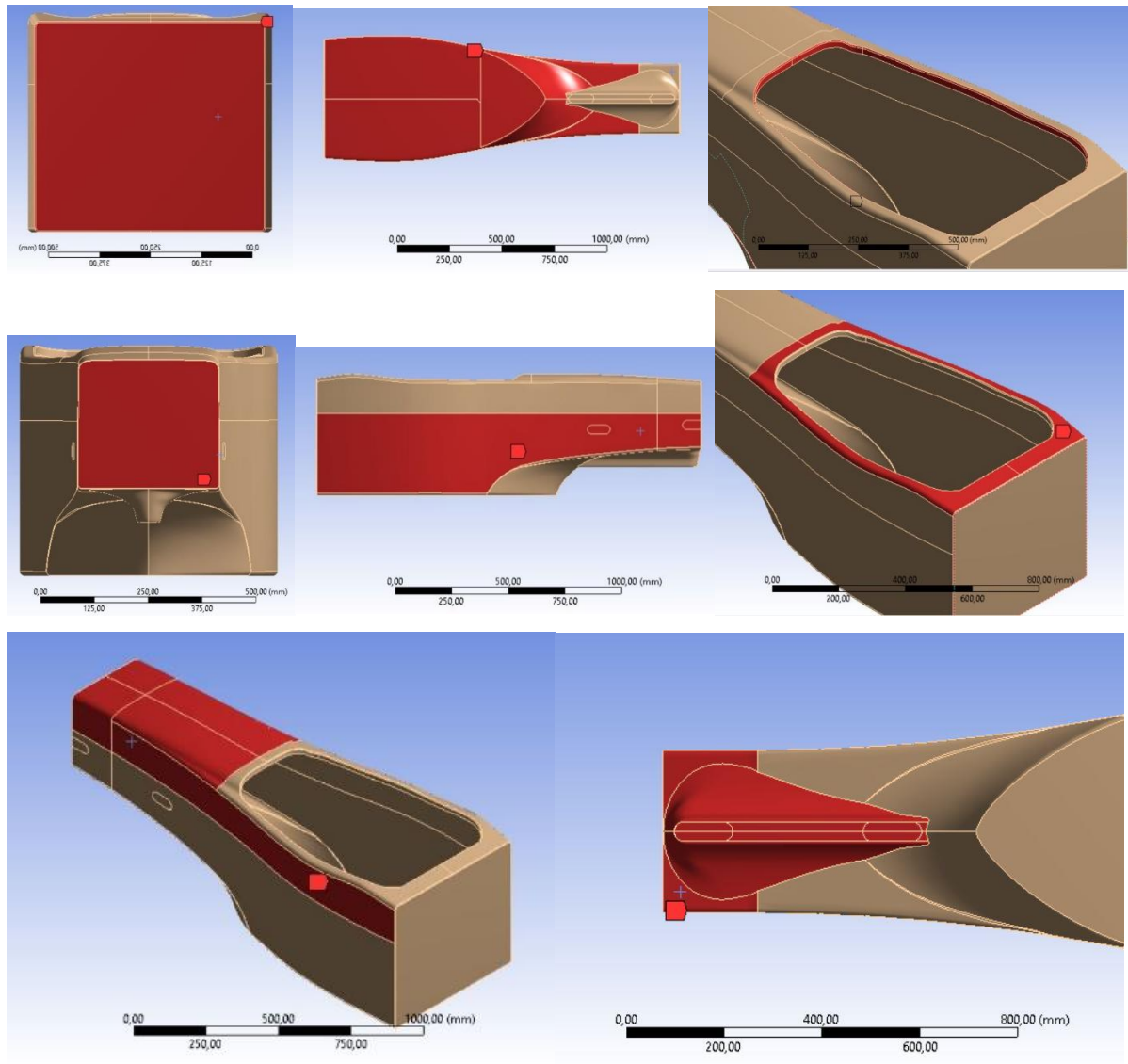
Figur 4.1: Ferdig modell av monocoque i Ansys Spaceclaim

Det ble også definert to koordinatsystem med origo i hvert sitt punkt som sammenfaller med senter nav på framhjulene. Dette for å senere kunne simulere krefter fra hjulene inn mot innfesting til wishbones. Deretter ble det lagt inn delelinjer for å markere totalt 9 forskjellige skalldeler med forskjellig skallopbygging. (Figur 4.2) Disse er:

- Front og bakside
- Bunn fremre og bakre del
- Høyre og venstre sidepanel
- Forsterkning cockpit
- Topp fremre og bakre del

Disse skalldelene representerer områder som skal dekket av hele stykker karbonfiberduk.

Områder for innfesting av wishbone er også markert etter mål fra gruppe 3 for å kunne simulere krefter inn til disse punktene.



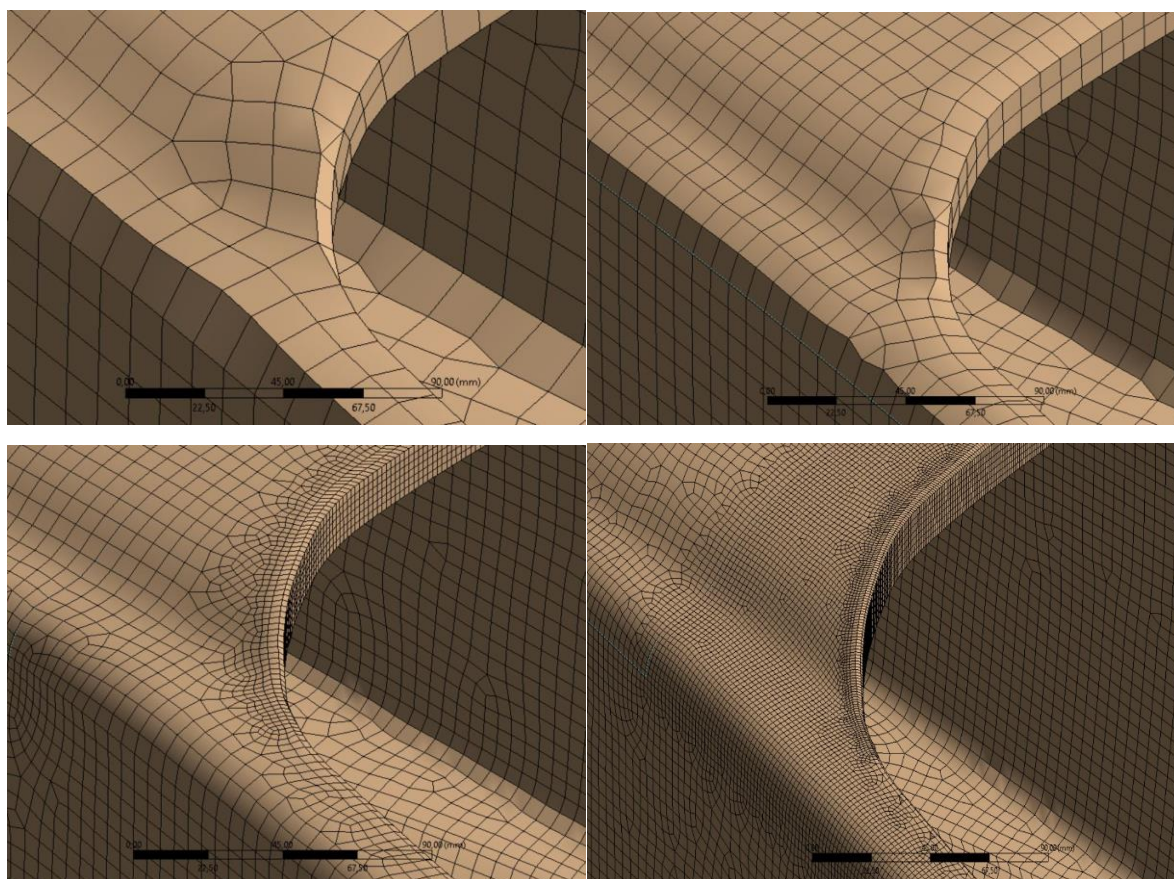
Figur 4.2: Skallinndelinger monocoque

For best mulig resultater har vi også tatt i bruk funksjonen «draping» i ACP. Denne beregner hvordan fiberretningen i duken endrer seg når den legges rundt f.eks. en kant eller et hjørne. Endret fiberretning kan føre til svekket materiale i noen retninger selv om problemet er mindre med vår $0^{\circ}/45^{\circ}$ fiberretning.

Vi vurderte denne modellen god nok til å kunne bruke til simulering selv om det er noen områder som er potensielt problematiske. Først og fremst i form av komplisert geometri på undersiden av modellen, men også enkelte hjørner og kurver med liten radius.

4.1.2 Mesh

For å sikre at kvaliteten på meshet er tilfredsstillende har vi sjekket det for konvergens. Det betyr at når resultatet av en test ikke endrer seg nevneverdig når samme test kjøres med mindre elementstørrelse vil elementstørrelsen være liten nok. Vi satt opp en enkel test med laster på framhjulene og målte spenning med 4 forskjellige elementstørrelser (Figur 4.3)



Figur 4.3: Mesh med elementstørrelse 15mm, 10mm, 7mm og 5mm. De to siste har hhv. 3mm og 1mm elementstørrelse i utsatte områder.

Resultat av testene er gjengitt i Tabell 4.1 og indikerer at vi har et tilfredsstillende mesh.

Tabell 4.1: Resultat av konvergenstest for mesh.

Konvergens mesh	
Elementstørrelse	Stress (Von Mises)
15mm	505Mpa
10mm	685Mpa
7mm + Meshkontroll (3mm)	725MPa
5mm + Meshkontroll (1mm)	700MPa

4.1.3 Materialoppbygging og fiberorientering

Vi har valgt å bruke ACP sine innbygde verdier for vevd 230GPa karbonfiberduk og PVC 80kg/m³ skumkjerne. (Vedlegg 1) Disse er valgt da de er forholdsvis konservative i forhold til hva tilsvarende tilgjengelige produkter oppgir. Før produksjon bør det lages testpaneler for å verifisere at de mekaniske egenskapene samsvarer i Ansys og virkeligheten. Utgangspunktet for materialet er en 450g/m² vevd duk tilgjengelig hos EasyComposites (2020). Denne gir en lagtykkelse på 0,65mm som er lagt inn som verdi i ACP. For å få lik styrke i alle retninger er dukene lagt opp parvis i 0°/45°-konfigurasjon. Til disse testene er panelene også bygget opp symmetrisk om kjernen. Tabell 4.2 oppsummerer de panelkonfigurasjonene vi har benyttet.

Tabell 4.2: Panelkonfigurasjoner 0°/90° 450g/m² Karbonfiberduk og 80kg/m³ PVC-skum.

Panelkonfigurasjon	Oppbygging/orientering	Materialer
2-10-2	Fiber:0°/45° Kjerne: 10mm Fiber:0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne: 80kg/m ³ PVC-skum
4-10-4	Fiber:0°/45°/0°/45° Kjerne: 10mm Fiber:0°/45°/0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne: 80kg/m ³ PVC-skum
6-10-6	Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45° Kjerne: 10mm Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne:80kg/m ³ PVC-skum
6-25-6	Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45° Kjerne: 25mm Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne:80kg/m ³ PVC-skum
8-5-8	Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45° Kjerne: 5mm Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne: 80kg/m ³ PVC-skum
8-10-8	Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45° Kjerne: 5mm Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne: 80kg/m ³ PVC-skum
8-25-8	Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45° Kjerne: 5mm Fiber:0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°	Fiber: 450g/m ² vevd karbon Kjerne: 80kg/m ³ PVC-skum

4.1.4 Sikkerhetsfaktor og oppsettets validitet

For at simuleringene skal ha noen verdi må vi være sikre på at de gir en tilnærmet riktig representasjon av virkeligheten så vi klarer å angi et sikkert design. ACP har en rekke innebygde sikkerhetskriterier som er tilpasset komposittmaterialer. Vi foretok en liten test på modellen med alle kriteriene gjeldende og identifiserte Tsai Wu-kriteriet som det mest konservative. Tsai Wu ble derfor brukt til testene som vurderer karbonskallenes strukturelle styrke. En verdi lavere enn 1 for Tsai Wu betyr at materialet tåler belastningen. Vi ønsket i tillegg å operere med en sikkerhetsfaktor. Kerkhoven (2008) refererer til tidligere tester av paneler som viser at et fysisk panel typisk tåler 15% mindre enn et simulert materiale. Dette

fordi det ofte oppstår små feil i materialet under produksjonen. Vi ønsker derfor å legge til en sikkerhetsfaktor på 20% og setter nøkkeltall for Tsai Wu-kriteriet til $<0,8$.

Videre har vi benyttet lineære elementer til simuleringene. Dette er valgt fordi modellen består av skallelementer og forventet deformasjon er lav i forhold til modellens størrelse. Ikke-lineære elementer vil dermed gi liten gevinst i nøyaktighet og betydelig lenger tid til utregning.

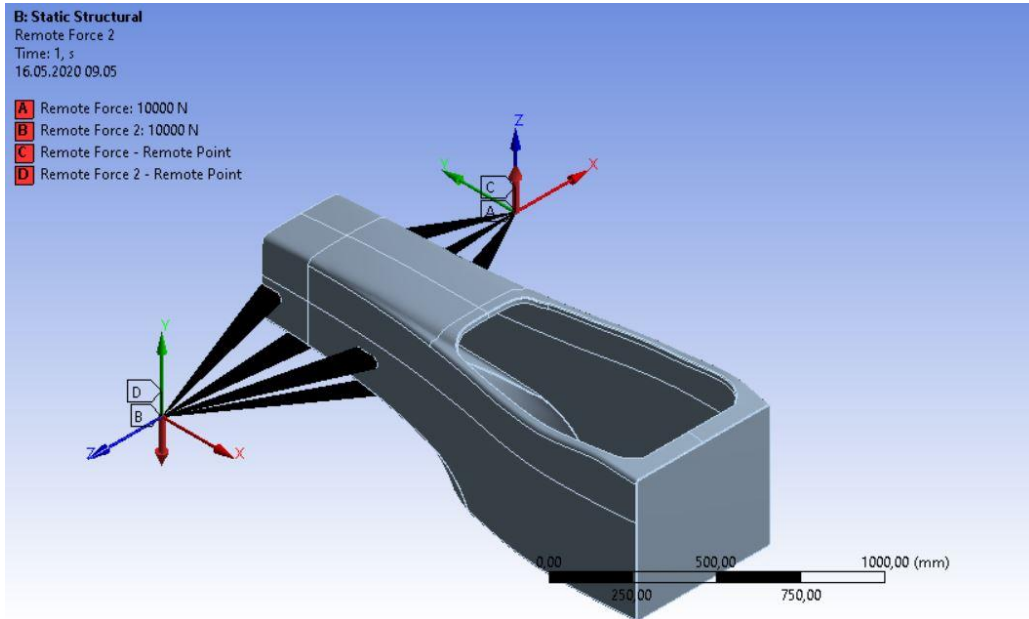
Vi har vurdert dette oppsettet til å være nøyaktig nok, og har gjort valg som gjør at avvik heller mot konservative løsninger.

4.2 Simuleringer

Det er utført fire forskjellige testscenarier for å avdekke om monocoquen lever opp til kriteriene vi har satt. Samtlige tester er foretatt uten forsterkninger i kjernen og veltebøyle. Det må gjøres før endelig valg av design, men er ikke tatt med i denne studien. Dette gir en noe svakere modell enn i virkeligheten i siden kreftene her virker på innfestingspunkter som må forsterkes i kjernen. I test 4.2.2 forventet vi overbelastning av kjernen i utsatte områder, og det er tatt med i vurderingen.

4.2.1 Torsjonsstivhet

Testen ble satt opp med fast fiksering på modellens bakplate. Deretter satt vi på 10kN i hvert av punktene som representerer senter på framhjulene. Kreftene går oppover på det ene hjulet og nedover på det andre og virker på innfestingspunktene til modellens wishbones. (Figur 4.4) Dette gir en torsjon på modellen. Resultatet Δz viser maksimal forskyvning på sidepanelene, og vi kunne ut fra det regne ut hvor mange grader modellen har vridd seg.



Figur 4.4: Kraftpar i torsjonsstivhetstest.

Beregning av monocoquens stivhet er satt opp slik:

$L=0,745\text{m}$ (bilens sporbredde/2)

$l=165\text{mm}$ (monocoquens bredde/2 ved største forskyvning)

Δz = forskyvning i mm. (Vedlegg 2)

$F=10000\text{N}$

Monocoquens stivhet: $k = \frac{2FL}{\arctan\left(\frac{\Delta z}{l}\right)}$

Testen ble gjennomført tre ganger med forskjellige oppbygginger av de 9 panelene.

(tabell 4.3)

Tabell 4.3: Materialkonfigurasjon test 4.2.1 Torsjonsstivhet

Materialkonfigurasjon test 4.2.1 Torsjonsstivhet									
Testnr.	Venstre	Høyre	Foran	Bak	Topp bak	Topp foran	Kant cockpit	Bunn bak	Bunn foran
4.2.1-1	6-25-6	6-25-6	6-25-6	6-25-6	6-25-6	6-25-6	6-25-6	6-25-6	6-25-6
4.2.1-2	4-10-4	4-10-4	4-10-4	4-10-4	4-10-4	4-10-4	4-10-4	4-10-4	4-10-4
4.2.1-3	6-10-6	6-10-6	8-5-8	4-25-4	4-10-4	2-10-2	4-10-4	2-10-2	6-10-6

Materialkonfigurasjonen til test 4.2.1-1 er lik for alle skalldelene. For å gi oss et utgangspunkt valgte vi en tykk kjerne på 25mm og 6 lag med duk i både ytterskall og innerskall.. Resultatet (Tabell 4.4) Viser at denne konfigurasjonen var omtrent tre ganger så stiv om nøkkeltallet med nesten dobbelt så høy vekt. På bakgrunn av dette gikk vi ned til en kjerne på 10mm og tynnere skall med 4 lag duk. Dette ga en stivhet rett over området vi siktet på og en vekt noe over nøkkeltallet. Siden resultatet nå nærmet seg ønsket verdi justerte vi konfigurasjonen på panelene ut fra hvor de blir mest belastet. Toppen, de øvre delene av sidene og bakre del av bunnen ble gjort tynnere mens sidepanel, frontpanel, panel bak og bunn foran ble gjort tykkere. Dette resulterte i en stivhet og vekt innenfor målsetningen.

Tabell 4.4: Resultat av test 4.2.1 Torsjonsstivhet

Testnummer	Torsjonsstivhet	Vekt	Spesifikk stivhet
4.2.1-1	20546Nm/deg	62,7Kg	327,7
4.2.1-2	9717Nm/deg	37,6Kg	258.4
4.2.1-3	7983Nm/deg	29,1Kg	275.3

Som vi kan se av resultatene har differensiering av paneltykkelse også gitt oss en høyere spesifikk stivhet, torsjonsstivhet/vekt.

Materialkonfigurasjonen i test nr. 4.2.1-3 ga oss ønsket resultat. Vi brukte derfor den modellen videre i de andre testene for å se om den fortsatt holdt mål.

Som en merknad til den store kjernetykkelsen på panelet bak er dette først og fremst valgt for å få tilstrekkelig dimensjon på innsatsene til å kunne bære lastene i planet mellom monocoque og bakramme.

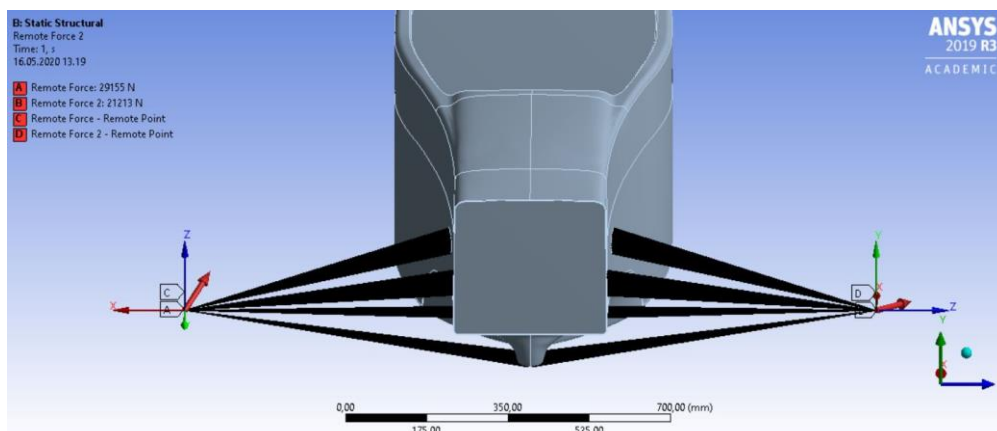
4.2.2 Sving, brems, kul

Testen er beskrevet i avsnitt 2.3.3 og simulerer den maksimale belastningen vi forventer at bilen blir utsatt for under kjøring. Lastene på de to hjulene har vi satt opp i Tabell 4.5

Tabell 4.5: Lastverdier på hjul i test 4.2.2 Sving, brems, kul

Kraftoppsett test 4.2.2 Sving, brems, kul			
	Lengderetning	Sideveis retning	Vertikal retning
Høyre hjul	-15000N	-15000N	20000N
Venstre hjul	-15000N	15000N	0 N

Oppsettet for øvrig (Figur 4.5) er det samme som i test 4.2.1 med unntak av at vi fikk resultatet ut fra Tsai Wu-kriteriet.



Figur 4.5: Lastscenario test 4.2.2 Sving, brems, kul

Testnr. 4.2.2-1 ble gjort med samme materialkonfigurasjon som i testnr. 4.2.1-3. Dette ga et uønsket resultat på Tsai Wu-faktor (Tabell 4.6 og Vedlegg 3), så vi gjentok testen med to andre materialkonfigurasjoner. (Tabell 4.7)

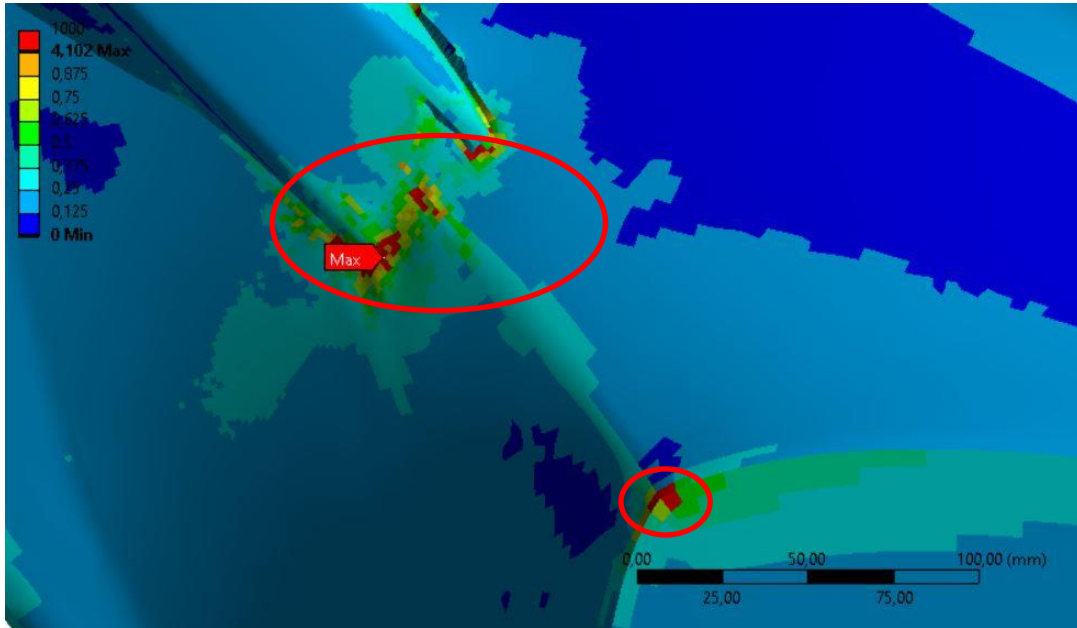
Tabell 4.6: Resultat test 4.2.2 Sving, brems, kul. Tsai Wu

Resultat test 4.2.2 Sving, brems, kul	
Testnummer	Tsai Wu-faktor
4.2.2-1	4,102
4.2.2-2	3,8665
4.2.2-3	3,295

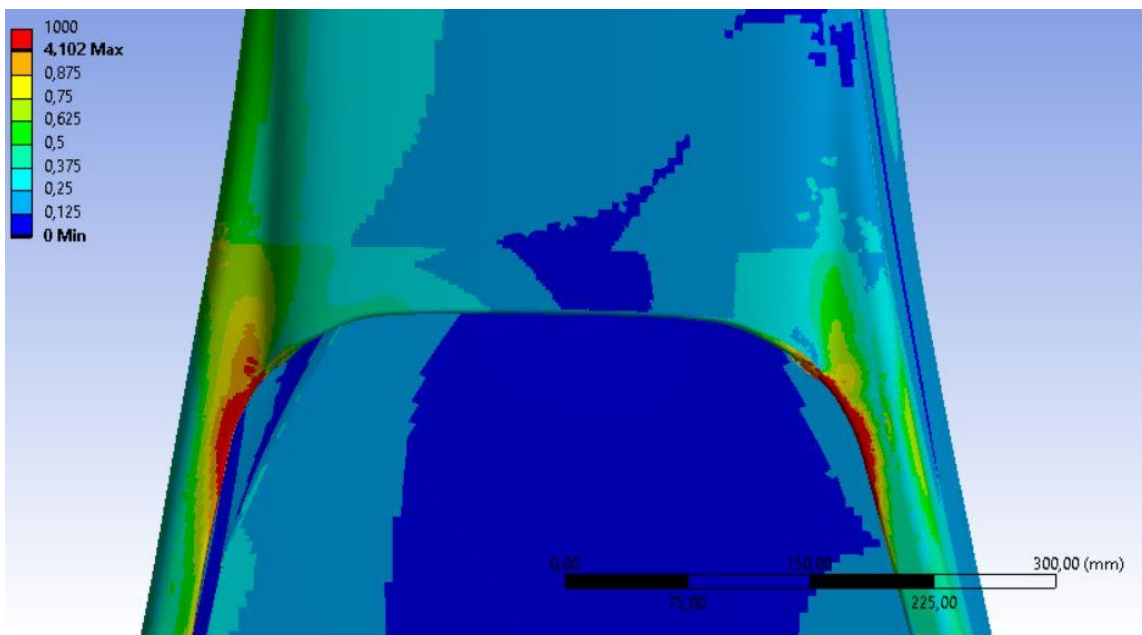
Tabell 4.7: Materialkonfigurasjoner test 4.2.2 Sving, brems, kul

Materialkonfigurasjoner test 4.2.2-1-2-3									
Testnummer - vekt	Venstre	Høyre	Foran	Bak	Topp bak	Topp foran	Kant cockpit	Bunn bak	Bunn foran
1 – 29,1Kg.	6-10-6	6-10-6	8-5-8	4-25-4	4-10-4	2-10-2	4-10-4	2-10-2	6-10-6
2 – 32,4Kg.	6-10-6	6-10-6	8-5-8	4-25-4	8-10-8	2-10-2	8-10-8	2-10-2	8-10-8
3- 33,5Kg.	6-10-6	6-10-6	8-5-8	4-25-4	8-10-8	2-10-2	8-25-8	2-10-2	8-25-8

Resultatene viser at vi har noen problemområder på modellen (Figur 4.6 og figur 4.7) Disse befinner seg på undersiden der hvor «kjølen» til nedre festene til wishbones møter resten av chassiset og ved de fremre hjørnene på åpningen til cockpit.



Figur 4.6: Problemområde på undersiden av modellen

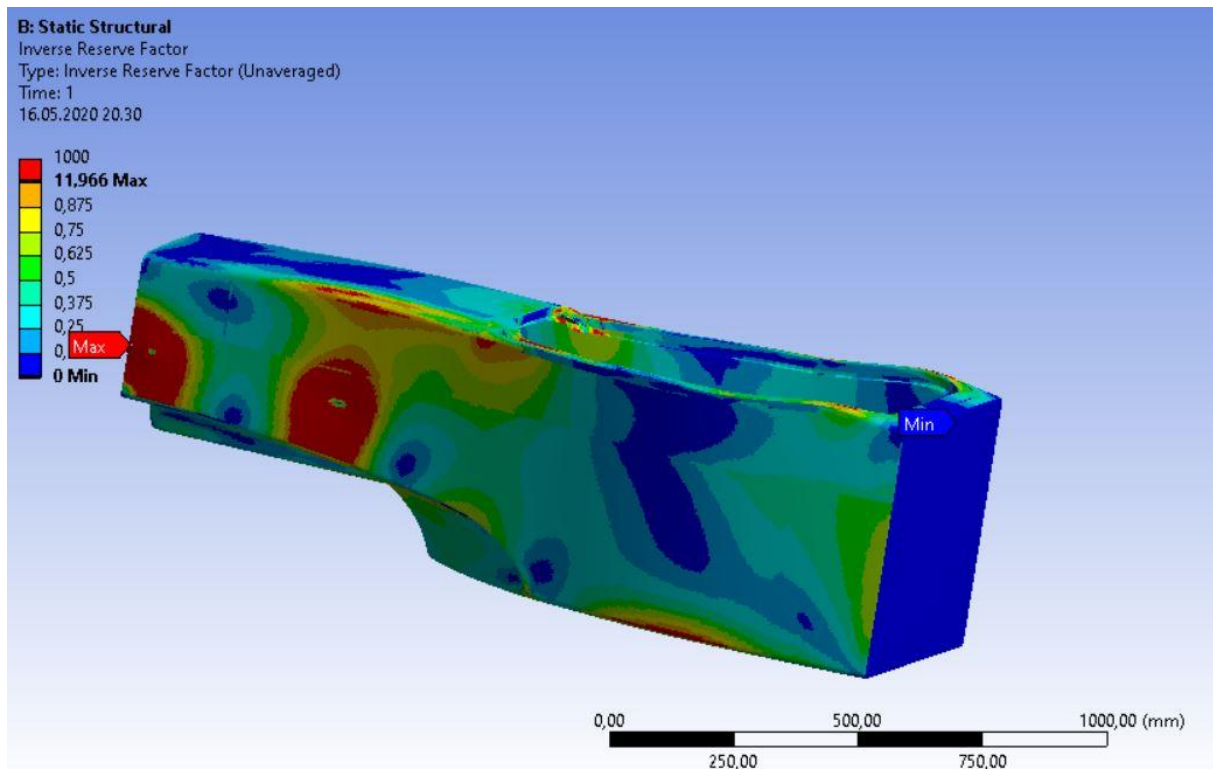


Figur 4.7: Problemområder rundt cockpit

Problemet på undersiden antar vi kommer av noen skarpe kanter i modellen som fører til at spenningene der blir uforholdsmessig høye. Rundt cockpit var problemet delvis forventet pga. åpningens utforming. Vi forsøkte å minske elementstørrelsen i områdene, og resultatet ble omtrent det samme. Siden resultatene bare ble marginalt bedre med forsterket materialoppsett må problemene adresseres på en annen måte. Vi presenterer forslag til løsning i avsnitt 4.3

Foruten områdene nevnt over ser vi at verdiene for Tsai Wu-faktoren ligger under målsettingen vår på 0,8 for resten av modellen. Dette indikerer at materialkonfigurasjonen holder mål om det gjøres tilpasninger i problemområdene.

Som nevnt introduserer dette lastscenariot konsentrerte laster i innfestingspunktene til wishbones. Karbonskallene tåler belastningen men viderefører skjærkrefter normalt på panelretningen til kjernen som tåler langt mindre belastninger. Vi endret analyseresultatet til «core failure» i ACP og fikk et resultat vist i Figur 4.8.



Figur 4.8: Resultat av test 4.2.2-1 med Core failure-kriteriet

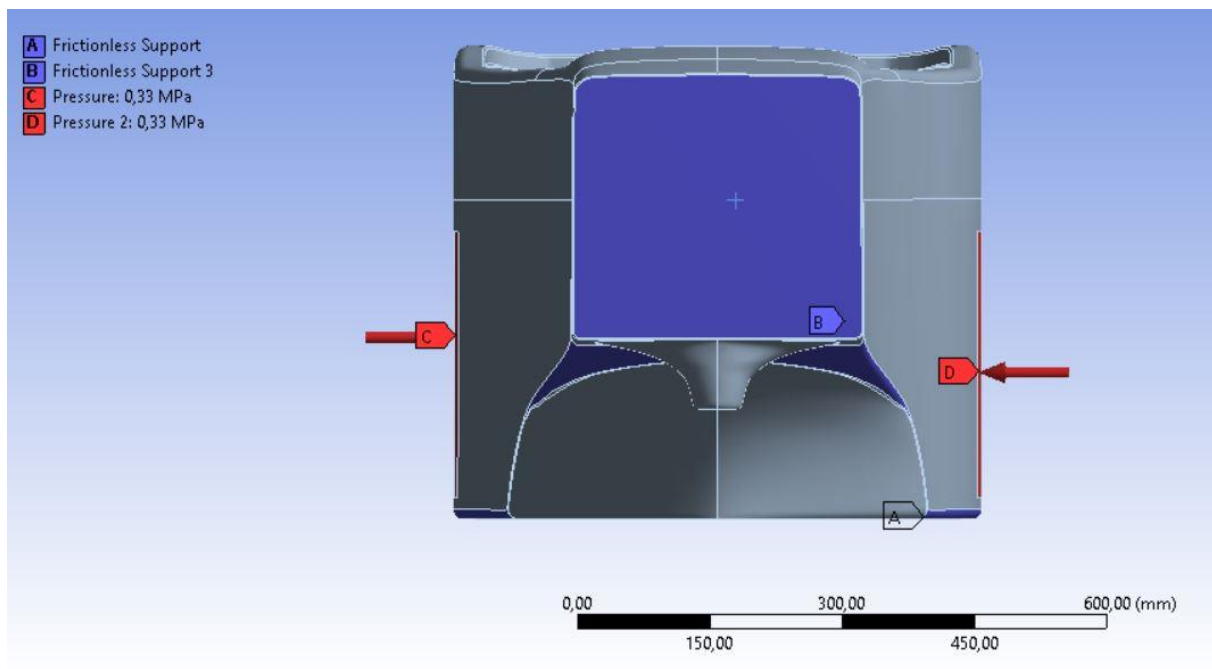
Dette viser at to områder med diameter på ca. 200mm rundt innfestningene til wishbone oppe og to mindre områder til de nedre festene vil få feil på kjernen. Kraftene normalt på planet totalt samsvarer omtrent med de 15000N vi brukte sideveis på hjulet i simuleringen. Fra avsnitt 2.3.2 har vi at arealet av kanten på innsatsen da må være $A=F/S=15000N/1,3MPa=11538mm^2$. Dette sammenfaller til en viss grad med arealet av kanten på de områdene med kjernefeil og antyder at teorien kan stemme godt med virkeligheten. Endelig design av innsatser krever mer nøyaktige beregninger som ikke inngår i denne rapporten.

Det oppstår også brudd i kjernen noen steder i hjørnene mellom topp, bunn og sidepaneler som indikerer et behov for forsterkning av kjerne i disse områdene eller at radius må økes.

4.2.3 Sidepanel

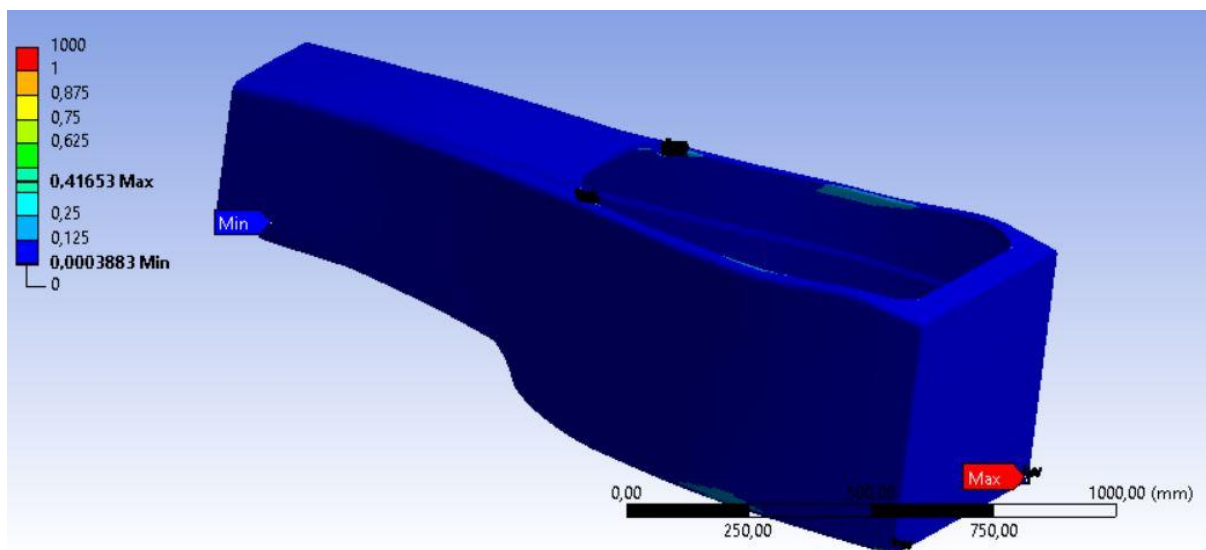
Testen av sidepanelene er beskrevet i avsnitt 2.3.3. I oppsettet i Ansys låste vi bilens bevegelse i lengderetning og i vertikal retning, med mulighet for sideveis bevegelse. Deretter ble det satt på en trykkraft på 0.33Mpa på områdene på 100mm x 300mm på hver side av bilen. (Figur 4.9) Trykket $p = 0,33 \text{ Mpa}$ tilsvarer $F=10\text{kN}$.

$$p = F/A = 10000\text{N} / (100\text{mm} * 300\text{mm}) = 0,33\text{Mpa}$$



Figur 4.9: Testoppsett for test 4.2.3 Sidepanel

Resultatet av testen fremkommer av figur 4.10



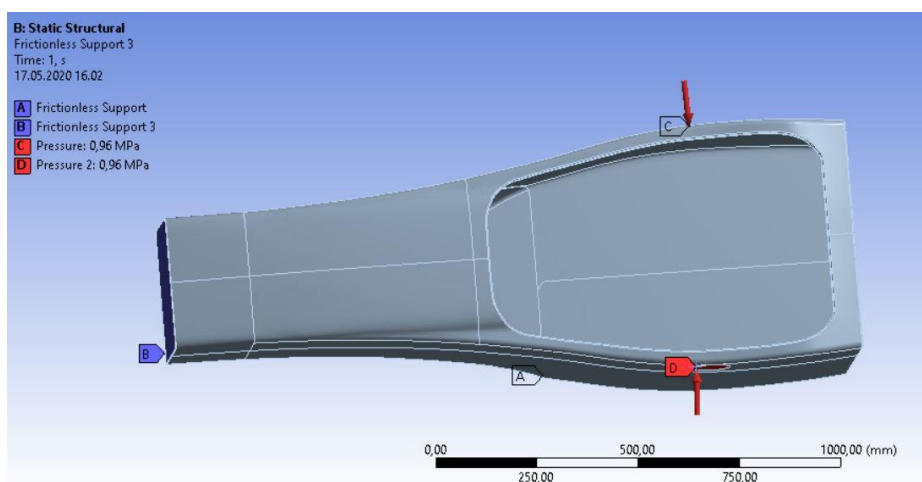
Figur 4.10: Testresultat for test 4.2.3 Sidepanel, Tsai Wu-kriterie

Høyeste verdi for Tsai Wu-faktoren ble 0,42 som er langt under vår maksimale grense på 0,8.

4.2.4 Åpning cockpit

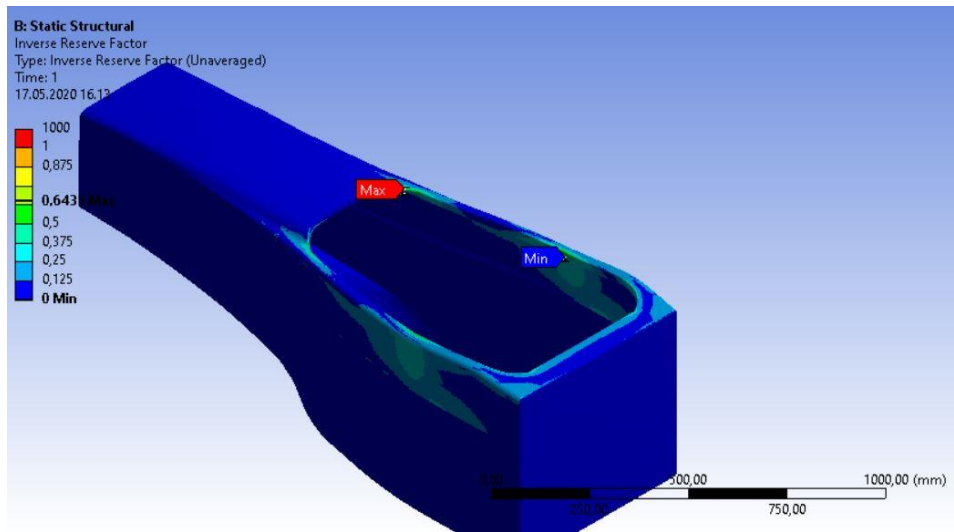
Testen av kanten rundt cockpit er beskrevet i avsnitt 2.3.3. I oppsettet i Ansys låste vi bilens bevegelse i lengderetning og i vertikal retning, med mulighet for sideveis bevegelse. Deretter ble det satt på en trykkraft på 0,96Mpa på områdene med diameter 100mm på hver side av bilen. (Figur 4.11) Trykket $p = 0,96 \text{ Mpa}$ tilsvarer $F=7,5\text{kN}$.

$$p = F/A = 7500\text{N} / (50\text{mm} * 50\text{mm} * \pi) = 0,96\text{MPa}$$



Figur 4.11: Testoppsett for test 4.2.4 Åpning cockpit

Resultatet av testen fremkommer av figur 4.12



Figur 4.12: Testresultat for test 4.2.4 Åpning cockpit, Tsai Wu-kriterie

Høyeste verdi av Tsai Wu-faktoren ble 0,643 som er under vår maksimale grense på 0,8.

4.3 Oppsummering elementanalyse

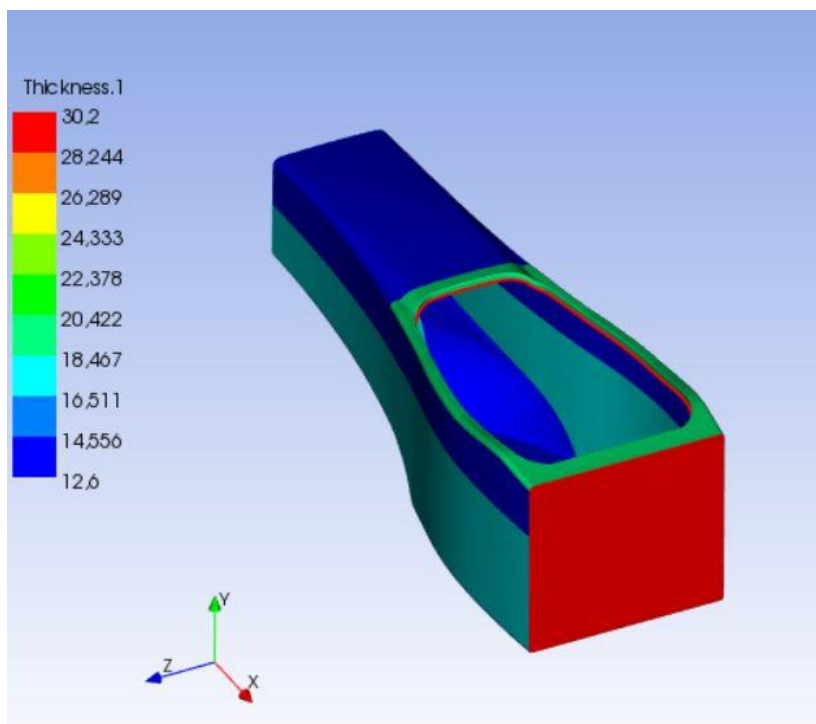
Etter simuleringen sitter vi igjen en modell og materialkonfigurasjon (Figur 4.13) som i stor grad oppfyller kravene vi satt i avsnitt 2.4. Disse er oppsummert i Tabell 4.8.

Test 4.2.2 avdekte imidlertid noen problemområder som må studeres nærmere. Vi diskuterer løsninger i kapittel 6

Tabell 4.8: Oppsummering av resultater, simulering i Ansys

Oppsummering Simulering i Ansys			
Testnr.	Torsjonsstivhet	Vekt	Tsai Wu-faktor
4.2.1-1	20546Nm/deg	62,7Kg	Ikke tilgjengelig
4.2.1-2	9717Nm/deg	37,6Kg	Ikke tilgjengelig
4.2.1.3/4.2.2-1	7983Nm/deg	29,1Kg	4,102*
4.2.2-2	7983Nm/deg	32,4Kg	3,8665*
4.2.2-3	7983Nm/deg	33,5Kg	3,295*
4.2.3	7983Nm/deg	29,1Kg	0,417
4.2.4	7983Nm/deg	29,1Kg	0,643

*Høye verdier i små enkeltområder. Resten av modellen inkludert områdene i umiddelbar nærhet har verdier under 0,8



Figur 4.13: Modell med valgt av materialkonfigurasjon. Paneltykkelse vist i mm.

5 Produksjonsmetode

Monocoquen skal ved en senere anledning tilvirkes av studenter ved NTNU Gjøvik. Det betyr at det må bestemmes en metode for produksjonsprosessen som er gjennomførbar med lett tilgjengelig utstyr og begrenset erfaring. I dette kapitlet presenterer vi to aktuelle metoder, prepreg og infusjon gjennom vakuum. Vi skal også se på metode for å lage formen. Siden det ennå ikke er fastsatt et endelig produksjonsklart design går vi ikke i detalj i produksjonsprosessen, men søker heller å belyse generelle produksjonsmetoder og aktuelle alternativer

5.1 Tilvirking av karbonfiberdeler

Arbeidsprosessen for tilvirking av deler i karbonfiber/epoksy-kompositt kan deles opp i fem steg. (Eurenius, et al., 2013)

- Steg 1, kutting av duker. Dukene må klippes til korrekt form for de forskjellige områdene av skallet. Det er viktig med gode maler så dukene passer sammen i formen. Ansys ACP har en funksjon som genererer todimensjonale skisser av skalldelene til modellen. Dette kan brukes til å skrive ut korrekte maler. dukene må klippes til i litt forskjellig størrelse for å få til jevne skjøter.
- Steg 2, impregnering av duker. Karbonfiberet må settes inn med uherdet epoksy. Dette kan f.eks. gjøres med pensel, vakuum eller at en bruker prepreg-duker og unngår steg 1.
- Steg 3, opplegg. Deretter legges dukene i formen i riktig konfigurasjon med antall lag og retning. Dette er en kritisk fase av jobben siden stor nøyaktighet er nødvendig og alt må gjøres ferdig før epoksyen begynner å herde.
- Steg 4, sammenpressing. For at dukene skal binde seg til hverandre under herding må de presses sammen slik at det ikke er noen gliper mellom lagene. Feil i denne prosessen en av de vanligste årsakene til at materialet tåler mindre enn forventet.

Sammenpressingen kan oppnås ved at laminatet legges i press, eller i vakuum som er mest aktuelt i vårt tilfelle.

- Steg 5, Herding. Avhenger av epoksyens egenskaper. Forskjellige typer epoksy har forskjellig herdetid og herdetemperatur. Det er viktig å følge produsentens anvisninger så riktig temperatur, trykk og tid blir overholdt.

5.2 Prepreg

Prepreg karbonfiberduker er duker som leveres ferdig impregnert med uherdet epoksy. I denne tilstanden er stoffet mykt og lett å arbeide med og forme. Dukene herder når de blir satt under vakuum i temperaturer i området 60°C-180°C avhengig av type epoksy. Prepreg-materiale herdes gjerne i store trykksatte ovner kalt autoklav, men de kan også herde i vakuumposer hvis temperaturen i omgivelsene er tilstrekkelig høy. Dersom denne metoden i det hele tatt skal vurderes må en sjekke at en har tilgang til enten en autoklav eller en stor nok ovn til de relativt store formene. Foruten behovet for relativt lite tilgjengelige fasiliteter er materialene i seg selv noe dyrere enn å kjøpe tørre fiber og epoksy separat.

Prepreg har noen åpenbare fordeler som gjør at det ofte er det foretrukne valg for tilvirking av komposittpaneler. (EasyComposites, 2020)

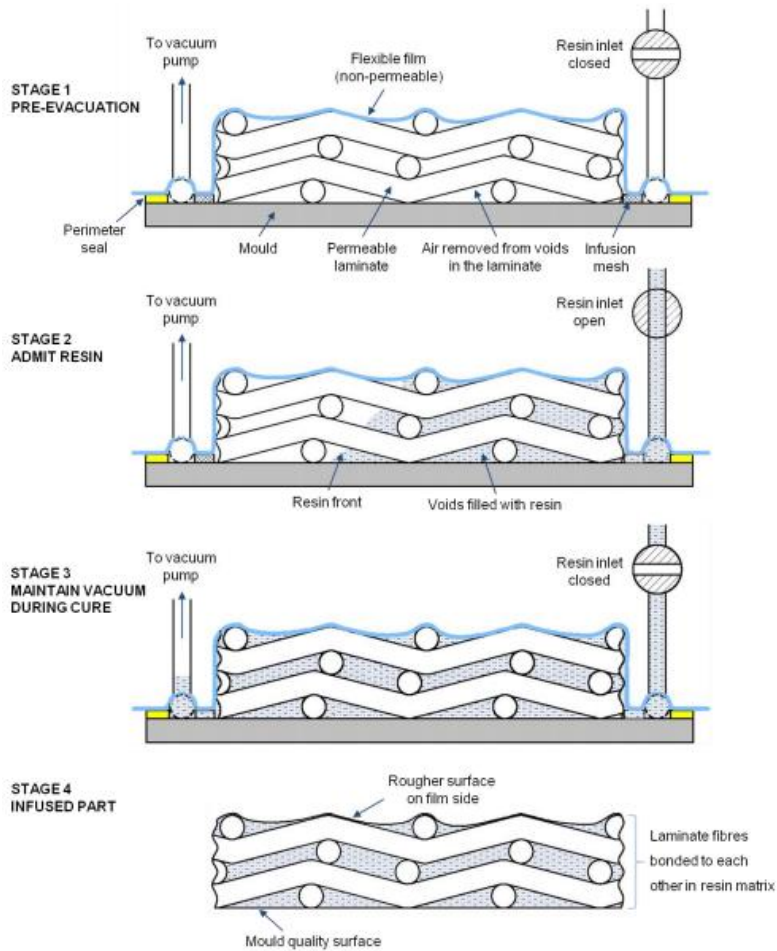
- Forholdet mellom fiber og epoksy vil alltid være konstant. Det betyr at en ikke får områder i konstruksjonen med for lite eller for mye epoksy. Dette gjør at det er mindre feil i et materiale laget med prepreg og de er generelt sterkere.
- Produksjonsprosessen er enklere. Spesielt om en har tilgang til en autoklav, men også om en bruker vakuumpose. Å blande og påføre epoksy separat er arbeidskrevende, og en må ta hensyn til at epoksy er helseskadelig både ved innånding og berøring.
- En kan produsere sandwichpaneler med honeycomb i kjernen i en omgang. Dette lar seg ikke gjøre med infusjon gjennom vakuum, så en står friere til å velge kjernemateriale med denne metoden

5.3 Infusjon gjennom vakuum

Selv om prepreg vil være den foretrukne produksjonsmetoden har vi fått indikasjoner fra instituttet om at det kan bli vanskelig å få tilgang til en autoklav eller tilstrekkelig stor ovn. Det må derfor planlegges for en alternativ produksjonsmetode. Infusjon gjennom vakuum (Vacmobiles.com, 2012) er en billig metode som vil gi tilnærmet like godt resultat som prepreg om det blir gjort riktig, men er en god del mer arbeidskrevende, og mer følsom for feil.

Produksjonsprosessen er illustrert i Figur 5.1 (Vacmobiles.com, 2012), og kan deles opp i 3 steg:

- Steg 1, vakuum. Fiberdukene legges tørt i formen omsluttet av en vakuumpose. Oppå det øverste laget med fiberduk legges det en fordelingsduk som senere vil hjelpe til med å fordele epoksyen jevnt. En vakuumpumpe kobles til posen i den ene enden av formen slik at lagene med duk presses sammen og systemet er fritt for luft. Nå må det sjekkes at vakuumposen er ikke lekker, og at det ikke ligger noen luftlommer i modellen
- Steg 2, tilføre epoksy. Når systemet er påsatt vakuum og helt tett slippes ferdig blandet epoksy inn i vakuumposen gjennom en eller flere ventiler i motsatt ende av ventilen til vakuumpumpa. Det er viktig at det ikke er luftbobler i epoksyen da dette svekker styrken på det ferdige produktet. På store og kompliserte former må en ha en plan for hvor en plasserer ventilene slik at en er sikker på at hele delen blir jevnt impregnert med epoksy. Når epoksyen har jobbet seg gjennom formen og kommer ut i enden der vakuumpumpa er koblet til stenges tilførselen av epoksy av.
- Steg 3, herding. Systemet holdes under vakuum mens epoksyen herder.



Figur 5.1: Produksjonsprosess infusjon gjennom vakuu

Som nevnt tidligere i oppgaven har denne metoden en begrensning i valg av kjernemateriale. En kan få gode resultater dersom en bruker en skumkjerne. Det må da skjæres ut riller i materialet som lar epoksyen flyte lett gjennom formen. Det er også mulig å få kjøpt skumkjerne med ferdig maskinerte riller. (Figur 5.2) (Easycomposites, 2020)



Figur 5.2: PVC skumkjerne med riller for infusjon.

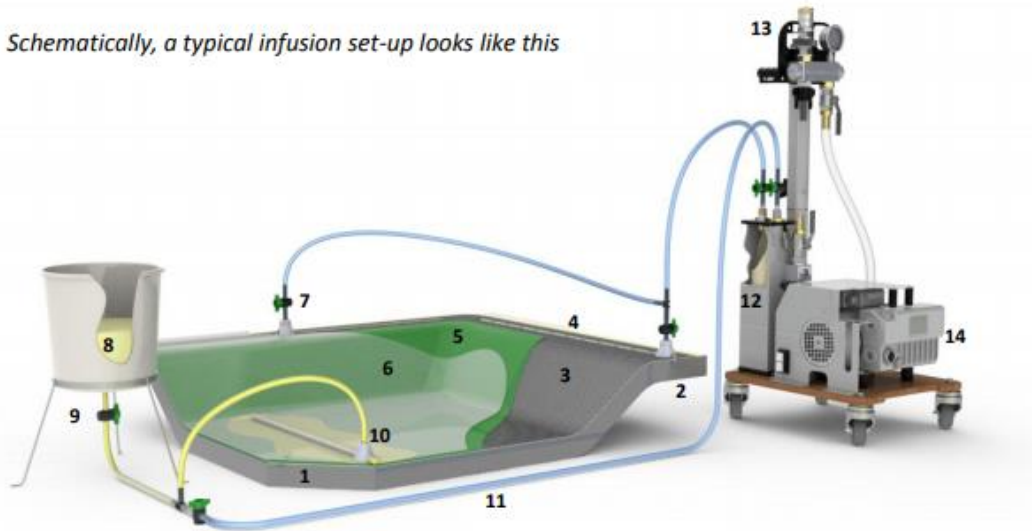
Om vi ønsker å produsere monocoquen med honeycomb-kjerne istedenfor skum må dette gjøres i tre steg når vi bruker infusjon gjennom vakuum.

- Først legges ytterskallet opp og herdes.
- Deretter monteres og limes kjernen til det ferdige ytterskallet. For å hindre at epoksy fyller cellene i kjernen limes det en film mellom hjernen og innerskallet.
- Til slutt legges dukene til innerskallet tørt på kjernen med film og infusjonsprosessen gjentas.

Med et riktig oppsett er infusjon gjennom vakuum er en metode som kan gi gode resultater med former på den størrelsen vi skal bruke. Figur 5.3 (Vacmobiles.com, 2012) viser hvordan et slikt oppsett kan se ut.

Single vacuum level infusion using a flexible bag in more depth

Schematically, a typical infusion set-up looks like this



Key

1	Mould, leak tight and pre-treated with mould release	7	Vacuum control valve(s). May be just a clamp on the vacuum tube
2	Sealing flange. Typically 75 mm (3") to 150 mm (6") wide	8	Resin (normally positioned below the part)
3	Laminate materials. Placed in mould in DRY state	9	Resin control valve. May be just a clamp on the resin feed tube
4	Permeable vacuum line under the bag	10	Resin entry point(s)
5	Disposable materials (typical). Peel ply above the laminate and flow medium above the peel ply	11	Optional vacuum line for pre-evacuation
6	Vacuum "bag". May be nylon (disposable) or a reusable film such as silicone rubber	12	Resin trap with internal catchpot
		13	Vacuum controls
		14	Vacuum pump

Figur 5.3 Eksempel på oppsett for infusjon på større modeller

5.4 Form

Monocoquen skal støpes i to deler, bunn og topp, med en rett delelinje parallelt med og 350mm over bunnen. Det er ikke tatt en endelig avgjørelse på om front og bakplata skal støpes hele sammen med bunndelen av monocoquen eller om de skal deles i deleplanet.

Fordelen med å støpe bakplata hel er at en da kan legge inn sammenhengende forsterkning for innfesting til bakramme i hele platas høyde. Fordelen med å dele alt i deleplanet er at det blir enklere å lage formene. Et tredje alternativ er å lage topp og bunn uten front og bakplate og lime disse på når delene skal monteres.

En relativt rimelig måte å lage formene på er å bruke MDF-plater. Disse CNC-freses med data fra CAD-modellen og limes deretter sammen til en hel form. Et eksempel på en slik form er vist i Figur 5.4. (Eurenius, et al., 2013)



Figur 5.4: Form til Formula Student-monocoque av MDF-plater

Om en har tilgjengelig maskin som klarer oppgaven vil det beste være å lime sammen platene til en hel blokk først for deretter å frese seg nedover. Alternativt kan en og en plate freses før de limes sammen. Den siste metoden vil imidlertid medføre et stort behov for pussing og er mer utsatt for unøyaktigheter.

6 Diskusjon

I dette kapittelet kommenteres måloppnåelse i forhold til målene som ble satt i kapittel 1.3, og erfaringene fra co-engineering prosessen

6.1 Design

Det er ved hjelp av 3D-scan og bilder av mockupen, og bilder av den originale Ferrari F399 blitt lagd et skall til monocoquen som en CAD-modell i SolidWorks. Denne modellen er utformet og tilpasset slik at den passer overens med delene fra de andre gruppene som var klar før fristen gikk ut.

Likevel gjenstår fortsatt en del på utformingen av modellen slik at den også blir tilpasset de delene som ikke er klar, hvor utformingen i forhold til demperoppsettet utgjør de mest omfattende tilpasningene.

3D-scanningen skal ifølge produsenten av 3D-scanneren være vel så nøyaktig som enkle manuelle målinger på et så stort format, dette sett i sammenheng med skjevhetene på mockupen, har gjort at det ikke er utført kontrollmål mot den fysiske mockupen underveis. Det skal tross alt ikke lages en 100% nøyaktig kopi av den skjeve mockupen, men en monocoque som er formlik, med tilnærmet like mål.

Programmet VX Elements har mange funksjoner for å oversette 3D-scan til formbar geometri i SW. Med gjennomførte tutorials/innføringsoppgaver i programmet som grunnlag ble skivemetoden vurdert til å være den raskeste. Men rutinerne brukere ville sikkert valgt en annen metode.

Arbeidet med å formgi modellen ved å dele 3D-scannet i skiver, og overføre kurvene fra overflaten på scannet i kanten på hver skive var mer tidkrevende enn ventet, fordi det var nødvendig å tegne en tilnærming til kurvene for hver skive for å sikre symmetri om midten på bilen.

I tillegg er det gjort små endringer i forhold til formen på mockupen langs sidene for å gjøre det enklere å få delene ut av støpeformene, uten å ha støpeformer som kan deles.

6.2 Simulering og analyse

Før oppstart av simulering og analyse er det gjennomført en litteraturstudie med bakgrunn i vitenskapelige rapporter, masteroppgaver, bacheloroppgaver, artikler, tekniske datablader og skolelitteratur. Et flertall av de studerte oppgavene er tilknyttet Formula Student, men det har vært et søkelys etter rapporter som omhandler biler i de øvre Formula klassene da disse emnene er nært beslektet med denne oppgaven.

Oppgaven baseres på et utvalg av kilder, og det er forsøkt å følge kildene så langt tilbake til opprinnelsen som mulig for å sikre solide referanser.

Dette litteraturstudiet danner grunnlaget for å definere oppbyggingen av skallet til monocoquen og definere lastbetingelser som danner utgangspunkt for simuleringen.

Resultatene antyder at det bør være mulig å produsere en monocoque som lever opp til forutsetningene med den valgte materialsammensetningen. Det er imidlertid noen momenter som må avklares. Disse er diskutert under.

6.2.1 Material

Det er brukt tilnærmede materialeegenskaper hentet fra Ansys ACP i testene. Disse ligger riktignok i nærheten av det man kan forvente i virkeligheten. Likevel bør det gjøres tester med reelle verdier når endelig valg av materiale er gjort. For dette prosjektet vil det være ideelt med et materiale i området medium modul (IM) som f.eks. Toray T800 eller T1000. Det må imidlertid tas hensyn til pris og tilgjengelighet, da dette kan vise seg å være vanskelig å skaffe.

Gruppe 8 som har støpt neseconen til bilen har handlet materialer hos easycomposites.co.uk. Der har de et godt utvalg materialer til en pris som kan være aktuell for prosjektet, og de kan også tilby assistanse på produksjonsmetode og materialoppbygging. De fører en rekke duker i forskjellig tykkelse som ligger omtrent mellom T300 og T800 i kvalitet som ifølge beregningene vil være tilstrekkelig for å bygge monocoquen. (Easycomposites, 2020)

Det er noe usikkerhet knyttet til vekten av forsterkninger og veltebøyle som vi har anslått å være ca.20kg. Siden utforming og valg av disse komponentene i liten grad er inkludert i dette studiet måtte vi bruke omtrentlige verdier.

6.2.2 Strukturell styrke

Det er ikke beregnet styrke på grensesnittet mellom bakramme og monocoque i denne oppgaven. Designet vi foreslår gir ganske store friheter til plassering av innfesting og forsterkning av bakplate. Siden bakre veltebøyle er en del av bakramma er det rimelig å anta at det må dimensjoneres for en høy belastning her.

Verdiene for krefter på hjulene i test 4.2.2 Sving, brems, kul bør verifiseres. Det var ikke tilgjengelige verdier for hva hjulopphenget er dimensjonert for da testen ble gjennomført. Verdiene som er brukt i forbindelse med hjulopphenget er derfor lånt fra andre kilder.

I test 4.2.2 fikk vi noen verdier høyt over målsettingen som må avklares. Spenningstoppene på undersiden av bilen tyder på ugunstig geometri i disse områdene da spenningstoppene er veldig konsentrerte og forekommer ved skarpe overganger i geometrien. Her burde det prøves på å jevne ut området mellom kjøler og bunnplate, for så å kjøre nye tester.

Områdene med forhøyet spenning i de fremre hjørnene på cockpitåpningen var ikke helt uventet fordi en så stor åpning som åpningen til cockpit er en stor svekkelse av skallet. Men testen som er utført for å kontrollere kvaliteten på meshet tyder på konvergens i området. Dermed er det ingen problemer med geometrien, og det er mulig å regne seg frem til hvor mye forsterkninger som må til for å tilfredsstille kravene.

Fremre veltebøyle og innsats for ratt og instrumentpanel antas å stive av konstruksjonen betraktelig i området rundt cockpitåpningen. Det bør foretas simulering med disse montert for å gi et bedre grunnlag for endelig valg av design og løsninger. Det kan også forsøkes med alternativ utforming av kanten rundt cockpit for å fordele spenningene bedre.

Design og dimensjonering av fremre veltebøyle er utelatt fra oppgaven. Dette må gjøre før produksjon. For våre tester ville en montert veltebøyle gitt bedre sikkerhetsmargin, så

eventuelle avvik mellom reell og simulert styrke pga. manglende veltebøyle vil være i konservativ retning.

Simulering viser brudd i kjerne på flere steder. Dette er fordi modellen i Ansys ikke er designet med innsatser i områder med konsentrerte laster normalt på planet. Vi ser at skallene tåler disse lastene, men det bør gjøres en grundigere analyse av kjernen med tanke på materialvalg, dimensjonering og forsterkninger.

6.3 Co-engineering

For vår del, som startet på denne oppgaven etter at andre grupper hadde kommet godt i gang, var det litt utfordrende å ta del i denne prosessen i starten. Vi måtte bruke en del tid på å komme godt i gang med vår oppgave før vi virkelig kunne ta del i prosessen. Men selv om vi har tatt del i prosessen har vi likevel hele tiden følt at vi er litt på etterskudd i forhold til andre grupper.

For at en slik prosess skal fungere godt er det viktig med en prosjektleder som er med å sette premisser, tilrettelegger og hjelper til med koordineringen gruppene imellom og holder den overordnede tråden. Dette semesteret har veilederne hatt denne rollen, men de har samtidig prøvd å holde seg litt på avstand for å legge opp til at gruppene skal løse oppgaven.

Det at gruppene var usynkrone i forhold til oppgaveløsningen, og mangelen på prosjektleder har ført til at enkelte avklaringer har blitt misforstått, eller kommet litt sent. Gruppene har heller ikke vært så rask til å laste opp CAD-filer slik at de har vært tilgjengelig for andre, og filene har ikke nødvendigvis blitt oppdatert.

6.4 Produksjon

Det har ikke vært en del av denne oppgaven å gjøre et endelig valg av hvilke materialer som skal brukes og hvor disse skal kjøpes. Siden disse valgene vil ha innvirkning på produksjonsprosessen er det ikke gått i dybden på denne, men heller belyst generelle produksjonsmetoder og aktuelle alternativer. Selv om det ville være ønskelig å lage

monocoquen med prepregduker er infusjon en mer sannsynlig metode pga. tilgjengelighet. Det vil være mulig å oppnå nesten like gode resultater med denne metoden.

Når monocoquen skal produseres er en grundig beskrivelse av hele prosessen nødvendig å ha klart på forhånd. For å oppnå et godt resultat er en avhengig av at både utstyr og arbeid utføres med stor presisjon.

7 Konklusjon og videre arbeid

7.1 Konklusjon

Målet med denne oppgaven er å danne et produksjonsgrunnlag for monocoquen til bilen som skal bygges.

Selv om det ikke er laget et produksjonsklart resultat, så er målet på mange måter oppnådd gjennom utformingen av CAD-modellen i SolidWorks, med tilhørende analyser i Ansys. Og satt i sammenheng med forslagene til produksjonsmetode er resultatet langt på vei et godt produksjonsgrunnlag.

Monocoquen danner grensesnitt mot store deler av bilen og det er derfor veldig mange løsninger som må avklares før endelig utforming av monocoquen er klar. I denne oppgaven er flere av de løsningene allerede avklart, men det er fortsatt uavklarte punkter igjen. Derfor var det ikke mulig å komplettere utformingen av skallet til monocoquen fullt ut innenfor rammene til oppgaven.

For å sikre at bilen tilfredsstiller sikkerheten for føreren bør veltebøylen på bakrammen gjøres høyere, selv om det fører til at skallet til replikaen er høyere enn det på mockupen. Dette er kommunisert til den andre gruppa, men de kunne ikke gjøre det uten å gå utenfor begrensningene i deres oppgave. Det er viktig å komme til enighet om hvordan dette skal løses til neste års oppgaver.

Analysen indikerer at det er noen mindre områder på det nåværende skallet som bør endres. Dette ble ikke avdekket i tide for å kunne utbedre modellen og gjøre nye analyse. Siden det ikke er mulig å gjøre store endringer på monocoquen etter at den er ferdig støpt vil vi ikke anbefale å støpe monocoquen etter nåværende modell. Arbeidet som er gjort danner et godt utgangspunkt for videre arbeid med monocoquen.

7.2 Videre arbeid

I det videre arbeidet mot en ferdig monocoque anbefales det å utføre en FMECA analyse på monocoquen. Dette vil bidra til å oppdage feil og mangler på monocoquen før den går i produksjon, da får man også en oversikt over alvorlighetsgrad og konsekvenser.

Deretter vil det være fornuftig å først se på de punktene på undersiden av skallet som fikk for høye spenninger i analysene for å utbedre disse, og før det blir kjørt nye analyser kan det også være lurt å definere den fremre veltebøylen. Da vil man se om veltebøylen har den effekten på spenningene ved åpningen til cockpiten som antatt.

Det må også gjøres formmessige tilpasninger for å kunne feste demperoppsettet til monocoquen, men dette fordrer at opplysninger om demperoppsettet er klart. Det anbefales også å avklare hvordan neseconen skal festes til monocoquen før monocoquen produseres, i tilfelle det krever tilpasninger.

Før monocoquen kan produseres må det også bestemmes en produksjonsmetode, deretter kan det kjøpes inn egnede materialer. Her kan det være lurt å ta kontakt med noen som jobber med karbonfiber i Norge for å sjekke om det er muligheter for å få tak i de ideelle karbondukene, og om det er muligheter for å booke produksjonstid i en autoklav.

Når det gjelder videre arbeid i prosessen med hele bilen vil det være fordelaktig at sentrale deler som monocoquen der så mange andre deler av bilen har grensesnitt imot vil bli prioritert høyere enn denne runden. Monocoquen var den siste oppgaven som ble tildelt i år, og hadde det ikke vært for at denne gruppen måtte bytte oppgave langt uti semesteret ville den ikke vært påbegynt nå.

Mangelen av monocoquen i en slik prosess vil kunne føre til at en del løsninger må jobbes frem på nytt. Og slikt merarbeid er veldig unødvendig.

Litteraturliste

Deakin, A. C. D., Ramirez, J. & Hanley, R., 2000. *The Effect of Chassis Stiffness on Race Car Handling Balance*, s.l.: SAE International.

Dictionary, Formula 1, 2020. *Formula 1 Dictionary - G force*. [Internett]
Available at: http://www.formula1-dictionary.net/g_force.html
[Funnet 17 mai 2020].

Dictionary, Formula 1, 2020. *Monocoque - Survival Cell*. [Internett]
Available at: <http://www.formula1-dictionary.net/monocoque.html>
[Funnet 3 Mai 2020].

EasyComposites, 2020. *Beginners Guide to Out-of-Autoclave Prepreg Carbon Fibre*. [Internett]
Available at: <https://www.easycomposites.co.uk/downloads/TDS/EC-TDS-Beginners-Guide-to-Prepreg-Carbon-Fibre.pdf>
[Funnet 18 mai 2020].

Easycomposites, 2020. *Easycomposites - Closed cell foam and 3DCore*. [Internett]
Available at: <https://www.easycomposites.co.uk/#!/core-materials/closed-cell-foam-and-3dcore/easycell75g-infusion-grooved-closed-cell-pvc-foam-core.html>
[Funnet 19 mai 2020].

Easycomposites, 2020. *Woven Carbon Cloth <400gsm*. [Internett]
[Funnet 15 April 2020].

Eurenius, C. A. et al., 2013. *Analysis of Composite Chassis*, Gøteborg: Chalmers University of Technology.

FIA, 2020. *2020 FIA Formula 4 Technical Regulations*. [Internett]
Available at: <https://www.fia.com/regulation/category/108>
[Funnet 15 Mai 2020].

FIA, 2020. *2020 Formula 3 Technical Regulations*. [Internett]
Available at: <https://www.fia.com/regulation/category/106>
[Funnet 5 April 2020].

Haugum, H. & Pløen, M., 2014. *Dimensjonering, analyse og testing av*, s.l.: s.n.

Kerkhoven, J. D., 2008. *Design of a Formula Student race car chassis*, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Milliken, W. & Milliken, D., 1995. *Race Car Vehicle Dynamics. I: Race Car Vehicle Dynamics*. s.l.:SAE International.

Savage, G., 2008. *Composite Materials Technology in Formula 1 Motor Racing*, s.l.: Honda Racing F1 Team.

Savage, G., 2009. *Development of penetration resistance in the survival cell of a Formula 1 racing car*, s.l.: Brawn GP Formula 1 Team.

Vacmobiles.com, 2012. *Vacmans notes - What is resin infusion*. [Internett]

Available at: <https://www.vacmobiles.com/site/vacmobiles/files//Vacman's%20Notes%20-%20what%20is%20resin%20infusion.pdf>

[Funnet 19 mai 2020].

Wikipedia, the free encyclopedia, 2020. *Monocoque*. [Internett]

Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Monocoque>

[Funnet 20 April 2020].

Vedlegg

Vedlegg 1: Datablad og verdier fra Ansys for Fiberduk og Kjernemateriale

1	Property	Value	Unit		
2	Density	80	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
4	Derive from	Young's...			
5	Young's Modulus	1,02E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	
6	Poisson's Ratio	0,3		<input type="checkbox"/>	
7	Bulk Modulus	8,5E+07	Pa	<input type="checkbox"/>	
8	Shear Modulus	3,9231E+07	Pa	<input type="checkbox"/>	
9	Ply Type			<input type="checkbox"/>	
10	Type	Isotrop...			

PVC-skum 80kg/m³ Ansys

Property	Value	Unit
Orthotropic Poisson's Ratio or Thermal Expansion		
Orthotropic Elasticity		
Young's Modulus X direction	5,916E+10	Pa
Young's Modulus Y direction	5,916E+10	Pa
Young's Modulus Z direction	7,5E+09	Pa
Poisson's Ratio XY	0,04	
Poisson's Ratio YZ	0,3	
Poisson's Ratio XZ	0,3	
Shear Modulus XY	3,3E+09	Pa
Shear Modulus YZ	2,7E+09	Pa
Shear Modulus XZ	2,7E+09	Pa
Orthotropic Stress Limits		
Tensile X direction	5,13E+08	Pa
Tensile Y direction	5,13E+08	Pa
Tensile Z direction	5E+07	Pa
Compressive X direction	-4,37E+08	Pa
Compressive Y direction	-4,37E+08	Pa
Compressive Z direction	-1,5E+08	Pa
Shear XY	1,2E+08	Pa
Shear YZ	5,5E+07	Pa
Shear XZ	5,5E+07	Pa
Orthotropic Strain Limits		
Tensile X direction	0,0092	
Tensile Y direction	0,0092	
Tensile Z direction	0,0078	
Compressive X direction	-0,0084	
Compressive Y direction	-0,0084	
Compressive Z direction	-0,011	
Shear XY	0,02	
Shear YZ	0,015	

230GPa 0°/90° Karbonfiberduk Ansys

GRAFIL 34-700

Grafil 34-700 carbon fiber is a continuous, high strength, PAN based fiber. It is available in 12K and 24K filament count tows. They can be supplied in either round tow or flat tow formats. The flat tow (designated by 'WD') is the ideal fiber to use in applications where spreading is required, e.g., tape production. The round tow is used in applications where spreading is not necessarily required, e.g., braiding and weaving.

Typical Fiber Properties

Tow Tensile	Strength	700 4830	ksi MPa	SRM 16
	Modulus	34 234	msi GPa	
Typical Density		0.065 1.80	lb.in ³ g/cm ³	SRM 15
Typical Yield	12K	620 800	yds/lb mg/m	SRM 13
	24K	310 1600	yds/lb mg/m	SRM 13

Typical Mechanical Properties

Tensile Properties	0°	Strength	373 2572	ksi MPa	ASTM D3039 / 0°8ply
		Modulus	19.9 137	msi GPa	ASTM D3039 / 0°8ply
	90°	Strength	11.17 81	ksi MPa	ASTM D3039 / 0°16ply
		Modulus	1.34 9.2	msi GPa	ASTM D3039 / 0°16ply
Compressive Properties	0°	Strength	198 1365	ksi MPa	ASTM D3410 / 0°16ply
		Modulus	18.5 127	msi GPa	ASTM D3410 / 0°16ply
	90°	Strength	28.5 196	ksi MPa	ASTM D3410 / 0°20ply
		Modulus	1.49 10.2	msi GPa	ASTM D3410 / 0°20ply
Flexural Properties	0°	Strength	253 1745	ksi MPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=32, Vf=61%
		Modulus	19.1 132	msi GPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=32, Vf=61%
	90°	Strength	14.9 102	ksi MPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=16, Vf=61%
		Modulus	1.28 8.8	msi GPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=16, Vf=61%
ILSS	Strength	14.1 97	ksi GPa	ASTM D2344 / 0°16ply, L/D=4, Vf=59%	

- 250F Epoxy Prepregs
- Resin: Mitsubishi Rayon #340 resin system
- Tensile and compressive properties are normalized to 60% fiber volume

5900 88th St
Sacramento, CA 95828
USA
Tel: 916-386-1733
Fax: 916-383-7688
Web: www.mrcfac.com



03/2010
ISO 9001:2008
FM 56416

6, Orchard Court
Binley Business Park
Harry Weston Road
Binley, Coventry CV3 2TQ UK
Tel: +44 (0) 2476 447272
Fax: +44 (0) 2476 449565

Important: The technical information contained herein is not to be construed as warranties and no patent liability can be assumed. This information can be used for material selection purposes only.

Grafil 34-700 234GPa Karbonfiber.

Typical Properties of Carbon Fiber

PYROFIL™

	Type	Number of Filaments	Filament Diameter	Yield	Tensile Strength			Tensile Modulus			Elongation	Density
			μ m	mg/m	kg/mm2	Mpa	Ksi	ton/mm2	GPa	Msi	%	g/cm3
HT Series	TR 30S 3L	3,000	7	200	420	4,120	600	24.0	234	34	1.8	1.79
	TR 50S 6L	6,000	7	400	500	4,900	710	24.5	240	35	2.0	1.82
	TR 50S12L	12,000	7	800								
	TR 50S15L	15,000	7	1,000								
	TR 50D12L	12,000	7	800	510	5,000	720	24.5	240	35	2.1	1.82
	TRH50 18M	18,000	6	1000	540	5,300	770	25.5	250	36	2.1	1.82
	TRH50 60M	60,000	6	3,200	490	4,830	700	25.5	250	36	1.9	1.81
	TRW40 50L	50,000	8	3,750	420	4,120	600	24.5	240	35	1.7	1.80
IM Series	MR 60H 24P	24,000	5	960	580	5,680	820	29.5	290	42	1.9	1.81
HM Series	MS 40 12M	12,000	6	600	450	4,410	640	35.0	345	50	1.3	1.77
	HR 40 12M	12,000	6	600	450	4,410	640	40.0	395	57	1.1	1.82
	HS 40 12P	12,000	5	430	470	4,610	670	46.0	455	65	1.0	1.85

GRAFIL™

	Type	Number of Filaments	Filament Diameter	Yield	Tensile Strength			Tensile Modulus			Elongation	Density
			μ m	mg/m	kg/mm2	Mpa	Ksi	ton/mm2	GPa	Msi	%	g/cm3
HT Series	34-700	12,000	7	800	490	4,830	700	24.0	234	34	2.0	1.80
		24,000	7	1,600								
	37-800	30,000	6	1,675	560	5,520	800	26.0	255	37	2.1	1.81

Diverse karbonfiber fra Mitsubishi Rayon

Property	Test Method*	Unit	ROHACELL 31 IG-F	ROHACELL 71 IG-F
Density**	ISO 845	kg/m ³	32 ± 7	75 ± 15
	ASTM D 1622	lbs/ft ³	2.00 ± 0.44	4.68 ± 0.94
Compressive Strength	ISO 844	MPa	0.4	1.5
	ASTM D 1621	psi	58	217
Compressive Modulus	ISO 844	MPa	17	73
	ASTM D 1621	psi	2,470	10,600
Tensile Strength	ISO 527-2	MPa	1.0	2.8
	ASTM D 638	psi	145	406
Tensile Modulus	ISO 527-2	MPa	36	92
	ASTM D 638	psi	5,220	13,340
Shear Strength	DIN 53294	MPa	0.4	1.3
	ASTM C 273	psi	58	188
Shear Modulus	DIN 53294	MPa	13	29
	ASTM C 273	psi	1,885	4,205
CTE	-	1/K*10E-5	5.03	3.81

Rohacell kjernemateriale

EASYCell

Closed Cell PVC Core Foam



Easy Composites' range of closed cell PVC core foam includes a range of thicknesses, with and without grooves for resin infusion (where practical).

Our Closed Cell PVC Core Foam is manufactured to exacting standards and suitable for use in a wide range of applications including marine, motorsport, mass transport and renewable energy.

MECHANICAL PROPERTIES

	Method	Units	EASYCell 75
Density	ISO845	Kg/m3	75
Compressive Strength	ISO844	MPa	1.33
Compressive Modulus	ISO844	MPa	72.5
Tensile Strength	ISO527-2	MPa	1.89
Tensile Modulus	ISO527-2	MPa	75
Shear Strength	ISO1922	MPa	1.09
Shear Modulus	ASTMC393	MPa	27.75
Shear Elongation at Break	ISO1922	MPa	20.25
Thermal Conductivity at Room Temperature	ISO8301	W/mK	0.033
Water Absorption		%	1
Colour			Green

AVAILABILITY

	Thicknesses	Plain	Groove & Drill	Sizes
EASYCELL 75	3mm	✓		550x545mm, 1020x1090mm, 1020x2180*
	5mm	✓		550x545mm, 1020x1090mm, 1020x2180*
	10mm	✓	✓	550x545mm, 1020x1090mm, 1020x2180*
	25mm	✓	✓	550x545mm, 1020x1090mm, 1020x2180*

*Full sheets are only available for delivery against an MOQ of 5 sheets. No MOQ for collections.

GROOVE & DRILL

Groove & Drill treatment is designed specifically for resin infusion and provides both the means for resin to pass from one side of the foam to the other (the drill holes) and also the means to distribute the resin into the laminate on the 'tool side' (the grooves).

This data is not to be used for specifications. Values listed are for typical properties and should not be considered minimum or maximum.

Our technical advice, whether verbal or in writing, is given in good faith but Easy Composites Ltd gives no warranty; express or implied, and all products are sold upon condition that purchasers will make their own tests to determine the quality and suitability of the product for their particular application and circumstances.

Easy Composites Ltd shall be in no way responsible for the proper use and service of the product, nor for the safeguarding of personnel or property, all of which is the duty of the user. Any information or suggestions are without warranty of any kind and purchasers are solely responsible for any loss arising from the use of such information or suggestions. No information or suggestions given by us shall be deemed to be a recommendation to use any product in conflict with any existing patent rights.

Before using any of our products, users should familiarise themselves with the relevant Technical and MSDS provided by Easy Composites Ltd.

Easy Composites Ltd

Unit 39, Park Hall Business Village, Longton, Stoke-on-Trent, Staffordshire, ST3 5XA. United Kingdom
 Tel. +44 (0)1782 454499, Fax +44 (0)1782 596868
 Email sales@easycomposites.co.uk, Web www.easycomposites.co.uk

Easysshell skumkjerne

TECHNICAL DATA SHEET

PRODUCT: ALUMINIUM HONEYCOMB CORE MATERIAL

DESCRIPTION

High performance hexagonal aluminium honeycomb for use as a structural core material in composite materials for motorsport, marine, renewable energy, architectural and mass transit applications. Also used in crash attenuators, air straighteners (wind tunnels), light diffusers/directors and beds for laser cutters.

Characteristics:

- High shear strength
- High compressive strength
- Low density
- Corrosion and temperature resistant
- Very accurate thickness tolerance

USES

Aluminium honeycomb is used in a wide range of applications, including:

- Motorsport (monocoques, splitters, floors, diffusers, crash cells)
- Aviation (bulkheads, dashboards, floors)
- Marine (decks, bulkheads, dashboards)
- Renewable energy (turbine housings, blade construction)
- Architectural (panels, doors, floors)
- Mass transit
- Crash attenuation (impact cells for crash tests, crumple zones)
- Air straighteners (wind tunnels)
- Laser cutting beds

PROPERTIES

	1/8" (3.2mm)	1/4" (6.4mm)	3/4" (19.1mm)
Nominal Density (pcf)	4.5 (72.1kg/m ³)	5.2 (83.3kg/m ³)	1.8 (28.8kg/m ³)
Aluminium Series	5052	3003	3003
Foil Thickness (micron)	35	70	50
Perforated?	No	Yes	Yes
Corrosion Treated	No	Yes	Yes
Compressive Strength - Bare (psi)	539	625	115
Compressive Strength - Stabilised (psi)	559	655	125
Crush Strength (psi)	255	235	40
Plate Shear (L direction) Strength (psi)	340	360	95
Plate Shear (L direction) Modulus (ksi)	70	65	22
Plate Shear (W direction) Strength (psi)	220	210	60
Plate Shear (W direction) Modulus (ksi)	31	35	10

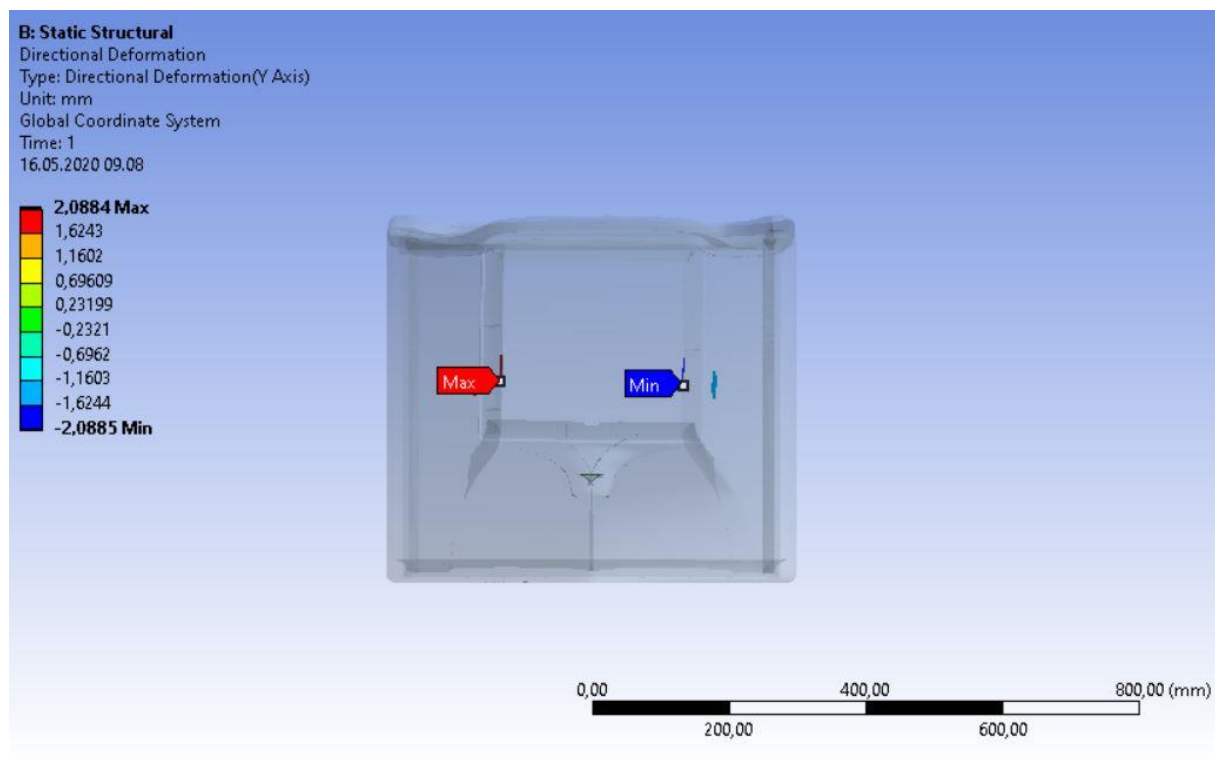
This data is not to be used for specifications. Values listed are for typical properties and should not be considered minimum or maximum.

Honeycomb kjernemateriale

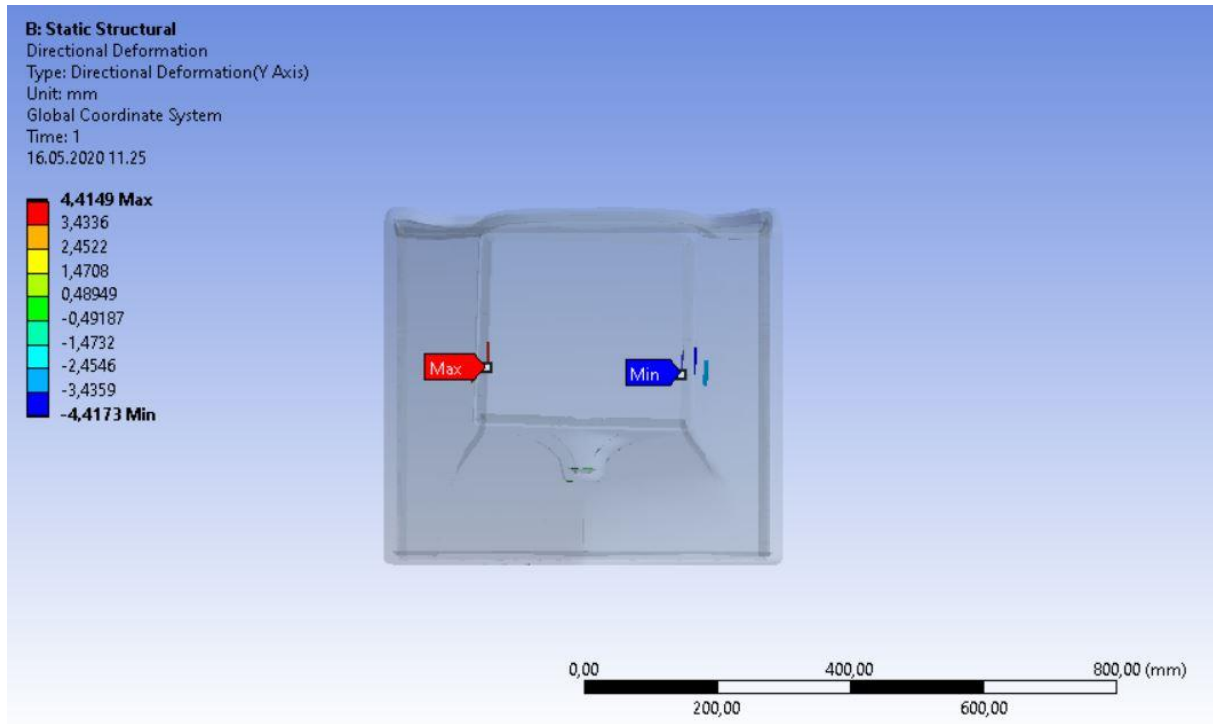
Vedlegg 2: Resultat test 4.2.1

Torsjonsstivhet Δz -verdier

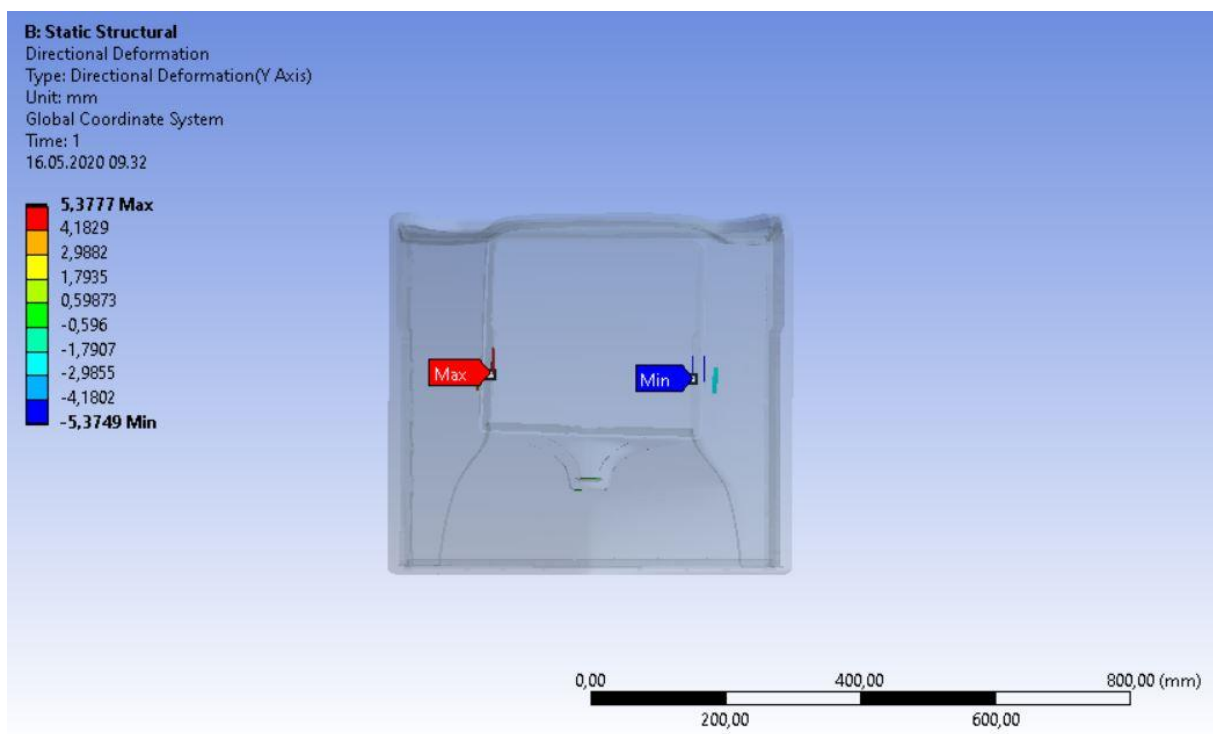
Testnummer	ΔZ
1	2,09mm
2	4,42mm
3	5,37mm



Testnr. 1

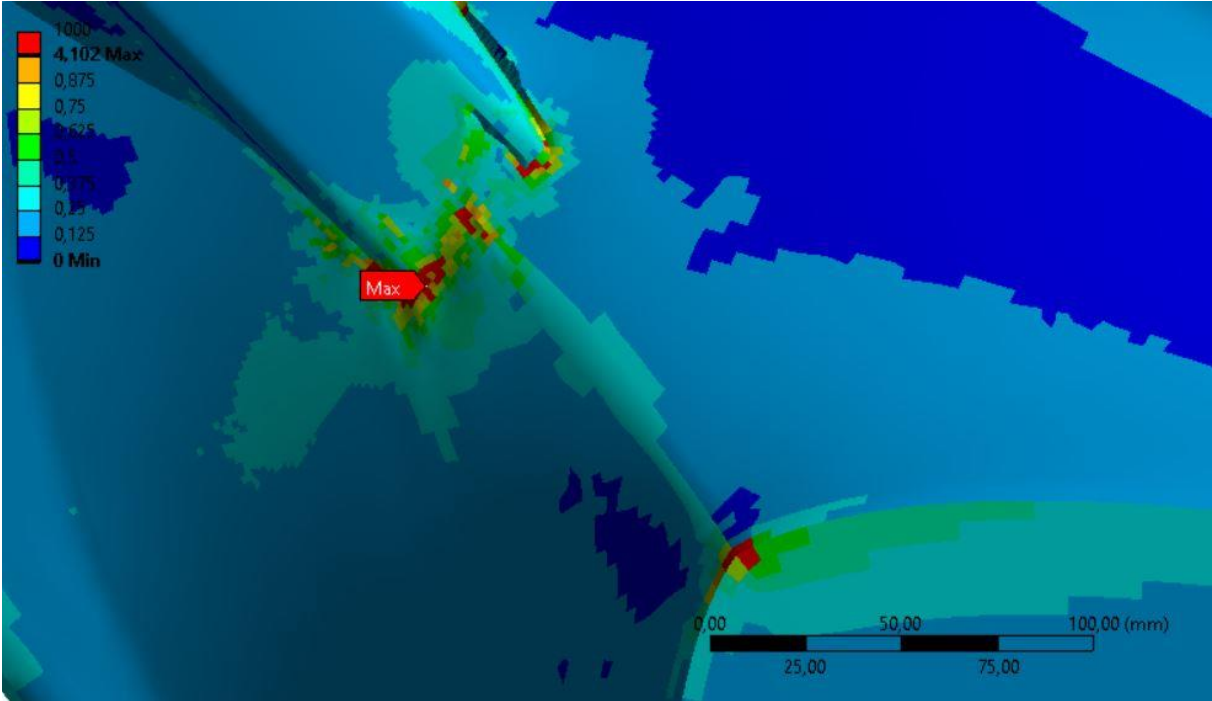


Testnr. 2

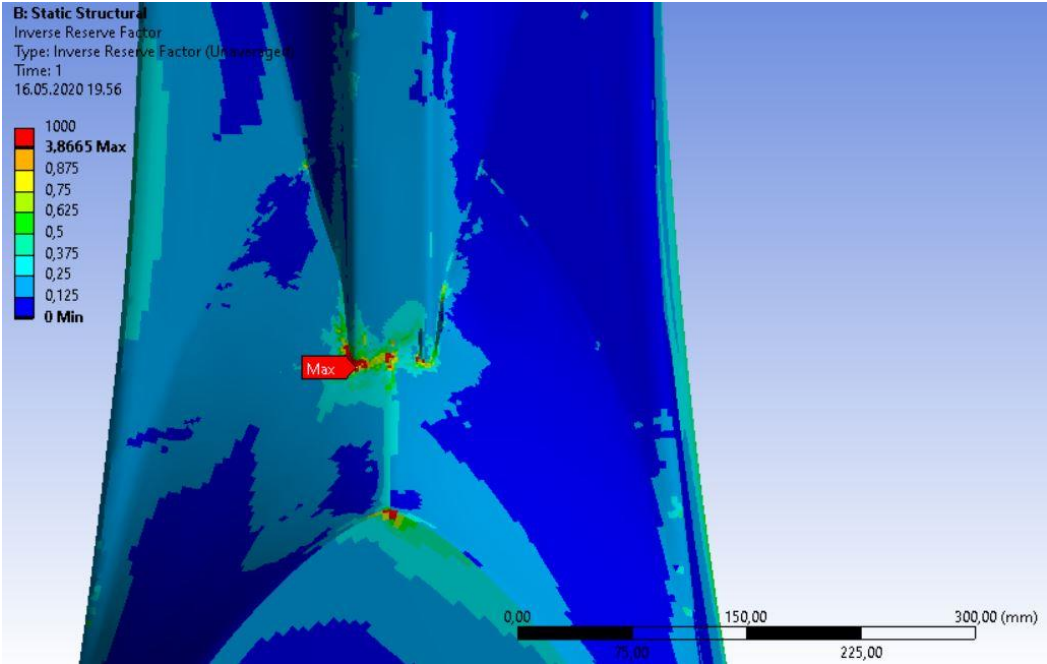


Testnr. 3

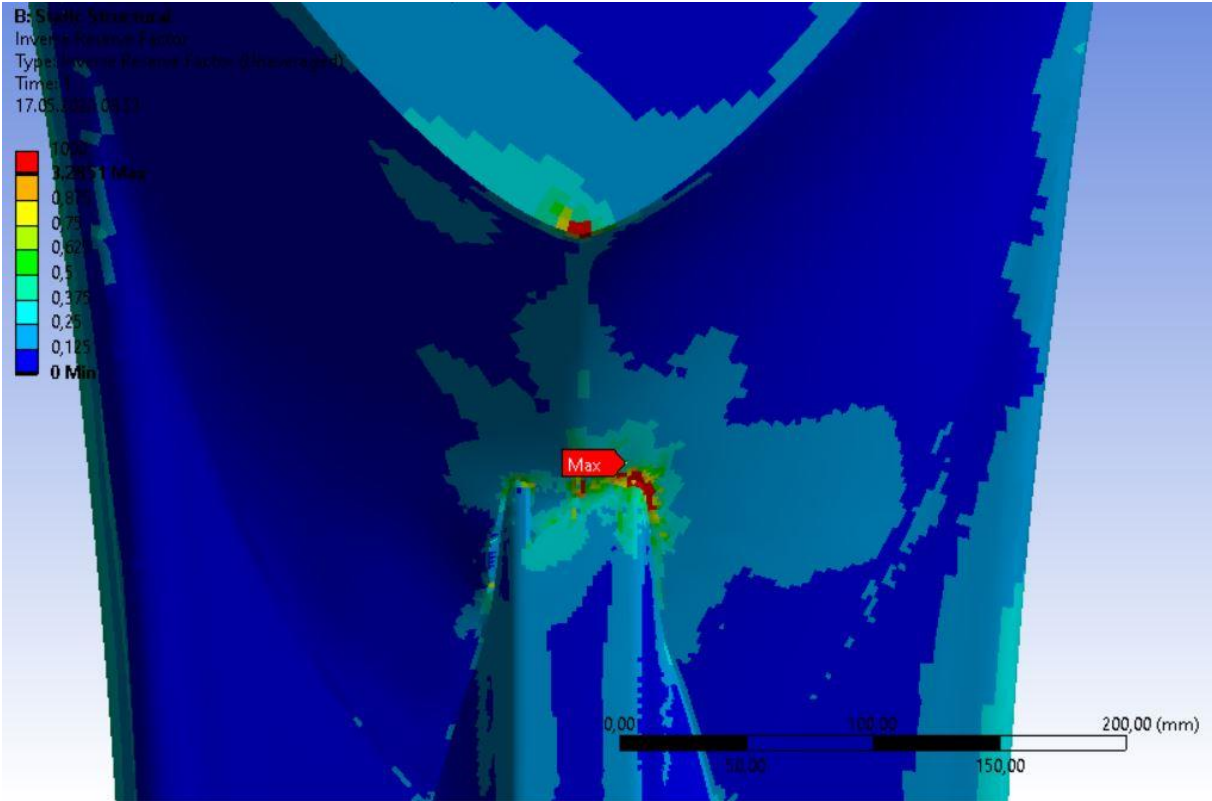
Vedlegg 3: Resultater Test 4.2.2 Sving, brems, kul



Test 4.2.2-1 Bunn



Test 4.2.2-2 Bunn



Test 4.2.2-3 Bunn

Vedlegg 4: Prosjektplan

Prosjektplan for bacheloroppgave for Mads Daniel Thomassen og Torgeir Omlid Steen, NTNU, IVB

1. Tema, bakgrunn, mål og problemstilling

1.1. Tema

Med utgangspunkt i en mockup av en Ferrari F399 Formel 1-bil skal det designes og senere bygges en kjørbil. Vår gruppe skal se nærmere på midtseksjonen. Denne er tenkt at skal konstrueres som en monocoque av karbonfiber.

1.2. Bakgrunn

NTNU Gjøvik har fått låne en replika av en F1 racerbil. Det er tenkt at flere grupper skal jobbe med å utvikle en bil basert på denne replikaen. I år er det fire grupper som skal jobbe med hhv. Neseikon med vinge, fremre hjuloppheng med pedalboks, bakre hjuloppheng med girkasse og rørrammestruktur og midtseksjonen av bilen med førerbrønn.

Vi hadde opprinnelig startet med en annen bacheloroppgave, men da det viste seg at oppdragsgiver ikke kunne følge opp eller fremskaffe tilstrekkelig data for gjennomføring ble vi nødt til å starte på nytt. Vi fikk tilbud om å jobbe med midtseksjonen av bilen, og bestemte oss for at det var en oppgave vi ønsker å gjøre.

1.3. Problemstilling

Hvordan kan man gå frem for å konstruere midtseksjonen til bilen, basert på mockupen av Formel 1-bilen som står på Gjøvik, som en monocoque basert på karbonfiber? Midtseksjonen må passe sammen med de delene som de andre gruppene jobber med, og skal senere kunne produseres med tilgjengelige materialer og prosesser på NTNU Gjøvik

1.4. Rammer

Det er satt noen begrensninger for den ferdige kjørbare bilen som det skal tas hensyn til i design og dimensjonering:

- Maks. 150 km/h
- Førerbrønn skal sikres spesielt
- Styrekolonne skal være krasjsikker
- Det skal bygges krasjsikring i sider og front
- Bilen skal sikres mot overrulling
- Bilen skal utrustes med brannsløkkeanlegg

Prosjektet skal ferdigstilles innen utgangen av mai 2020. Milepæler og tidspunkter underveis skal koordineres med de andre gruppene som jobber med bilen et bra resultat er helt avhengig av at de forskjellige gruppenes løsninger passer sammen.

Det er ikke knyttet noen spesielle kostnader til prosjektet foruten evt. reisekostnader til Gjøvik.

2. Omfang

2.1. Oppgavespesifikasjon

Alle resultater av oppgaven skal være av en slik presisjon at det kan brukes videre ved faktisk bygging av bil ved et senere tidspunkt.

Det skal designes en monocoque av karbonfiber over en kjerne. Hovedelementet i oppgaven blir å lage et design som tar utgangspunkt i replikaen i Gjøvik. Dette designet skal tilfredsstillende begrensningsene som er satt for bilen. I tillegg er det essensielt at monocoquen passer sammen med alle andre grensesnitt mot resten av bilen som bakramme, neseikon, hjuloppheng foran og pedalboks. Utforming og sikring av førerbrønn skal også designes.

Ferdig design skal deretter styrkeberegnes vha. teoretiske beregninger og elementanalyse. I den sammenheng blir det også nødvendig å velge oppbygging av karbonskallet med kjerne.

Avslutningsvis ønsker vi å komme med forslag til produksjonsmetode. Siden denne oppgaven skal legge grunnlaget for senere fremstilling av bilen er det viktig at alle designløsninger passer 100% og at produksjon av monocoquen er gjennomførbare.

2.1.1 Design

Det lages modell/tegninger av monocoquen og detaljer i Solidworks. Det ferdige resultatet skal ligge så tett opp mot replikaen som mulig i utforming. Følgende momenter skal tas hensyn til i utformingen:

-Grensesnitt mot bakramme. Her må målene passe overens med bakramma, og det må også bestemmes festeanordning med tilstrekkelig kapasitet. Dette må gjøres i tett samarbeid med gruppa som designer bakramma. I tillegg må det utarbeides en løsning for brannsikring i form av en brannvegg mellom monocoque og bakramme.

-Førerbrønn. Denne tenker vi å utforme etter en mal som passer 95% av befolkningen. Det er viktig at alle avstander er tilpasset så fører sitter best mulig og riktig avstand til veltebøyle oppnås. Det skal også tas hensyn til innfesting av setebelte og tilstrekkelig kapasitet på disse.

-Krasjsikring. Det skal inngå sideveis krasjsikring i konstruksjonen. Fortrinnsvis innstøpt, eller evt. Påmontert på innside av monocoque.

-Alle nødvendige innfestningspunkt for hjuloppheng og pedalboks skal inkluderes. I tillegg må det tas hensyn til at dette utstyret skal kunne monteres/demonteres på den ferdige bilen. Plassering av festepunktene må utarbeides i samarbeid med gruppen som jobber med hjuloppheng.

-Grensesnitt mot neseikon. Neseikon skal kunne monteres sømløst mot monocoque og valg av innfestningsmetode må bestemmes. Her er det viktig med tett koordinering med gruppa som jobber med neseikonen.

-Grensesnitt mot bunnplate.

2.1.2 Beregninger

Chassiset skal beregnes for å verifisere at det tåler lastene det kan bli utsatt for. Alle innfestningspunkter og krasjsikring skal dimensjoneres ut fra maksimale laster og sikkerhetsmargin gitt av bilens maks. hastighet/akselerasjon og svingradius. Ut over dette er torsjonsstivheten til chassiset svært viktig for bilens kjøreegenskaper, så denne må også sjekkes. Vi har her tenkt å støtte oss til tilgjengelig litteratur fra diverse FSAE-prosjekter for å finne gode metoder for testing. Både teoretiske utregninger og elementanalyse vil bli benyttet.

For å kunne utføre beregninger må vi i denne fasen også presentere forslag til oppbygging av skallet. Det kommer sannsynligvis til å være en kjerne av et lett materiale (skum, aluminium honeycomb eller lignende) omgitt av to eller flere lag karbonduk på hver side. Endelig valg må ha materialegenskaper som oppfyller krav til designet.

2.1.3 Produksjonsmetode

Vi ønsker til slutt å se på forslag til hvordan chassiset enklest kan produseres. Viktige momenter som må avklares er hvor mange deler skallet må deles opp i og hvor skjøtene skal gå, produksjon av form/innerform og valg av støpemetode. Resin infusion er foreslått, men andre metoder kan også vurderes.

3. Prosjektorganisering

3.1. Ansvarsforhold

Oppdragsgiver for prosjektet er NTNU Gjøvik ved kontaktperson Thomas Haavi

Bachelorgruppa består av Torgeir Omlid Steen og Mads Daniel Thomassen som begge er nettstudenter. Mye av arbeidet vil derfor foregå individuelt med hyppige koordineringsmøter. Begge gruppemedlemmer har et likeverdig ansvar for fremdrift i oppgaven.

3.2. Øvrige roller og bemanning

Veileder for oppgaven er Thomas Haavi ved NTNU

4. Planlegging, oppfølging og rapportering

- Gruppemedlemmene holder løpende dialog om status og fremdrift på prosjektet.
- Kontakt med veileder ukentlig via e-post eller nettmøte.
- Koordinering med de andre gruppene gjennom felles gruppe på Teams. Alle laster opp modeller og skisser fortløpende
-

5. Risikovurdering

5.1. Kritiske suksessfaktorer

-Samhandling med de andre gruppene. Vi er alle avhengig av hverandres resultater for å komme i mål med oppgaven. Derfor er det viktig med enighet mellom gruppene om rekkefølge og frist på deloppgaver.

5.2. Risikoevaluering

Dersom samhandlingen fungerer, burde det være gode muligheter for å komme i mål. Det er imidlertid en omfattende oppgave som vi har kommet sent i gang med, så en må vurdere underveis om en kommer i mål med alt. Kanskje ser vi at produksjonsmetode må sløyfes.

6. Kvalitetssikring

6.1. Organisering av kvalitetssikring

Kvalitetssikring av designet skjer gjennom sammenligninger med de andre delene til bilen. Dvs. at CAD-tegningene skal passe sammen. De teoretiske styrkeberegningene skal verifiseres av elementanalyse.

6.2. Kvalitetssikring av kritiske suksessfaktorer

7. Gjennomføring, framdrift mm

7.1. Hovedaktiviteter

Beskrivelse av hovedaktiviteter i prosjektet, med hensikt og resultat.

-Tegning av monocoque chassis med spesifikasjoner på mål og materialer. Hensikten er å lage tegninger med så stor nøyaktighet at de kan brukes til produksjon av chassiset senere.

-Styrkeberegning av modellen. Hensikten er å verifisere at chassiset tåler lastene det blir utsatt for samt har høy nok torsjonsstivhet for tilfredsstillende kjøreegenskaper. Ønsket resultat er at modellen er godkjent med en tilfredsstillende sikkerhetsmargin.

-Forslag til produksjonsmetode. Hensikten er å studere og vurdere forskjellige måter å fremstille chassiset på. Ønsket resultat er å finne minst en metode som lar seg gjennomføre innenfor et fornuftig budsjett og med de forhåndskunnskaper en gruppe studenter kan forventes å ha.

7.2. Framdriftsplan med milepæler og beslutningspunkter

Uke 12: Godkjenning av prosjektplan.

Uke 13: Fordeling av deloppgaver i gruppen.

Uke 17: Ferdig valgt design/tegninger

Uke 19: Ferdig styrkeberegning av chassis

Uke 20: Forslag til produksjonsmetode

Uke 21: Leverer ferdig rapport.

Uke 24?: Presentasjon Gjøvik

Milepælene og de forskjellige deloppgavene er avhengig av hverandre, så det må jobbes med disse parallelt gjennom prosjektet.

7.3. Kostnader og finansiering

Det er lite kostnader knyttet til denne oppgaven og dermed heller ikke behov for finansiering.

8. Mulige etiske og miljømessige utfordringer

8.1. Etiske utfordringer

Vi kan ikke se noen etiske utfordringer ved gjennomføring av denne oppgaven

8.2. Miljømessige utfordringer

Siden vi i denne fasen ikke skal lage det ferdige produktet vil det ikke være noen miljømessige utfordringer. Det kan imidlertid tas med i vurderingen når produksjonsmetode skal velges

9. Innovasjon

Beskriv hvordan innovasjon skal integreres i arbeidet med bacheloroppgaven.

10. Kontrakter og avtaler

Kontrakter med oppdragsgiver, instituttet, eventuelle avtale om konfidensialitet, med laboratorier mm må være på plass. Det må også klargjøres hvilket ansvar som ligger på de respektive partene, dersom avtalene ikke oppfylles.

Vedlegg 5: Modell, sammenstilling og Ansys

Som et vedlegg med innleveringen i inspera er det.zip fil med CAD-modellen av monocoquen, en sammenstillingsmodell der monocoquen er koblet sammen med bakrammen fra gruppe 6 og neseconen med frontvinge fra gruppe 8 og analysefiler fra Ansys med den konfigurerte modellen.

