

Konstruktion av hydraulisk båtvagn

Joel Carlson

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2022

EXAMENSARBETE

Författare: Joel Carlson
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktning: Konstruktion
Handledare: Leif Backlund
Tore Carlson
Titel: Konstruktion av hydraulisk båtvagn

Datum: 20.4.2022 Sidantal: 30 Bilagor: 1

Abstrakt

Examensarbetet gjordes åt företaget Hydrolink. Hydrolink specialiserar sig på båtförsäljning, service och förvaring runt hela Finland. Min uppgift för examensarbetet åt Hydrolink var att undersöka hur lyften och avställning av båtar går till väga i företaget och förbättra processen med en ny version av en hydraulisk båtvagn. Syftet för arbetet var att förbättra och eliminera de olika problem som den äldre versionen av båtvagnen hade.

Metoderna som användes för att utföra arbetet var att först göra en undersökning internt och socialt om vad som kunde göras för att förbättra processen. Efter undersökningen under planeringen gjordes skisser och en miniatyr för att kunna konstruera produkten. Slutligen konstruerades vagnen som en 3D-modell där alla krav uppfylldes för den förbättrade versionen. Examensarbetet avgränsades till att konstruera och modellera vagnen. Tillverkning och monteringsprocessen hör inte till arbetet.

Resultatet av examensarbetet blev en 3D-modell av en förbättrad båtvagn som uppfyller alla krav som hade blivit satta och den blev mer användarvänlig för personalen vid Hydrolink.

Språk: svenska

Nyckelord: konstruktion, båtvagn, hydraulik

BACHELOR'S THESIS

Author: Joel Carlson
Degree Programme: Mechanical engineering
Specialisation: Construction
Supervisor(s): Leif Backlund
Tore Carlson

Title: Development of hydraulic slipway-trailer

Date: 20.4.2022 Number of pages: 30 Appendices: 1

Abstract

The bachelor's thesis was done for the company Hydrolink. Hydrolink specializes in boat sales, service and storage around Finland.

My task for the project for Hydrolink was to investigate how the lifting and launching of boats are done in the company and improve the process with a new version of a hydraulic slipway trailer. The purpose of the work was to improve and eliminate the various problems that the older version of the slipway-trailer had.

The methods used for the work were to first make an investigation internally and socially what could be done to improve the process. After the investigation during the planning phase, sketches and a prototype were made to be able to construct the final product. Finally, the slipway trailer was constructed as a 3d model where all requirements had been set for the improved version. The degree project was limited to designing and modeling the trailer. The manufacturing and assembly process is not part of the work.

The result of the degree project was a 3D model of an improved slipway trailer that has all the requirements that had been set and being more user-friendly for the staff at Hydrolink.

Language: English Key Words: development, Slipway-trailer, hydraulic

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Hydrolink.....	1
2	Problem	3
2.1	Avgränsningar	3
2.2	Disposition	3
3	Teori.....	4
3.1	Produktutveckling.....	4
3.2	Laserskärning	4
3.3	Bockning.....	5
3.4	Hydrauliksystem	7
3.5	Finita element.....	8
3.6	Vakuumlaminering.....	9
3.7	Varmförzinkning	9
3.8	Konstruktionsmaterial.....	10
3.8.1	Konstruktionsstål.....	10
3.8.2	Polyeten.....	11
4	Metod.....	12
4.1	Undersökning.....	12
4.2	Planeringsprocess.....	13
4.2.1	LEGO-Prototyp	13
4.3	Modellering.....	15
5	Resultat.....	16
5.1	Konstruktion	16
5.2	Ram.....	17
5.3	Bomstyrning.....	18
5.3.1	Bomstyrningscylinder.....	20
5.4	Kälke	20
5.5	Hjulupphängning.....	22
5.5.1	Hjulupphängningscylinder.....	25
5.5.2	FEM-simulering av hjulupphängningsplåt.....	25
5.6	Sidostöd	26
5.6.1	Sidostödscylinder.....	28
6	Diskussion	29
7	Litteraturförteckning.....	30

1 Inledning

I det här kapitlet presenteras bakgrunden till examensarbetet, samt syftet varför jag har gjort detta arbete. Även lite bakgrundsinformation om Hydrolinks verksamhet, och verksamhetsställen tas upp i kapitlet.

1.1 Bakgrund

Det här examensarbetet är ett arbete tillsammans med företaget Hydrolink, där jag har konstruerat en båtvagn enligt Hydrolinks ändamål och krav. Båtvagnen är en vagn som skall köras med hjälp av en dragtraktors hydraulik för att få en ställbar vagn som passar olika båtar mellan 6 och 10 meters båtar med olika skrov.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet var att planera en vagn som går att använda smidigt för mindre båtar, även om vagnen är stor och kan hantera båtar upp till 10 meter. Vagnen behöver vara smidig för att kunna manövreras itrånga utrymmen och ställa av en båt på bockar för att sedan ta sig ut tillbaka. Vagnen behöver ta sig till trånga utrymmen eftersom Hydrolink skall få så många båtar i vinterförvaring som möjligt, och då kan det bli väldigt trångt för en vagn att ta sig in och ut. Vagnen skall även vara byggd för att kunna transportera båtar kortare sträckor på landsväg för att få båtarna till Vinterförvaring, samt till laminerings- och monteringshallar. För att transportera båtar bör den vara jämngående och stabil för att få en trygg transport både för båten och trafiken. Vagnen bör gå att sänka relativt lågt ifall båtarna står lågt på bockar.

1.3 Hydrolink

Hydrolink är ett företag som erbjuder vinterförvaring, service och försäljning av båtar. Hydrolink har sina verksamhetsställen runt om i Finland. De erbjuder vinterförvaring och service i Vasklot, Fjärdskär, Skåldö och Ingå. De har även försäljningslokal i Åbo. Hydrolink erbjuder varm vinterförvaring upp till 75 fots båtar. Under vintern sker service och polering av vinterförvaringsbåtarna. Hydrolink har 30 personer anställda som arbetar året runt med förvaring, reservdelsförsäljning och service. I Replot har Hydrolink en metallverkstad där

bland annat utfodringsmaskiner till pälsdjursnäringen tillverkas, men också svetsning och montering av Greenbay Marines båtar. Eftersom Hydrolink har en metallverkstad så erbjuds reparation av skador också av aluminiumbåtar. Laminering av skador hos glasfiberbåtar sköts också i Replot.

Hydrolink innehar märkesservice av Mercury, Volvo Penta, Yanmar, Honda, Suzuki, Evinrude, Vetus, Dockmate, Sleipner och Princess, samt försäljning av Axopar Greenbay marine, Falcon, Williams och Mercury

Eftersom Hydrolink har en metallverkstad så har de tillverkat egna båtvagnar som används av Hydrolink för upptagning och sjösättning av båtar. En upptagningsvagn är en självgående vagn som kan ta upp båtar från 30 till 60 fot (slipway trailer). Den drivs med hydraulik av två dieselmotorer och är fjärrstyrd med en handkontroll. Med denna vagn kan man ta upp en båt upp till 60 fot med endast en person.

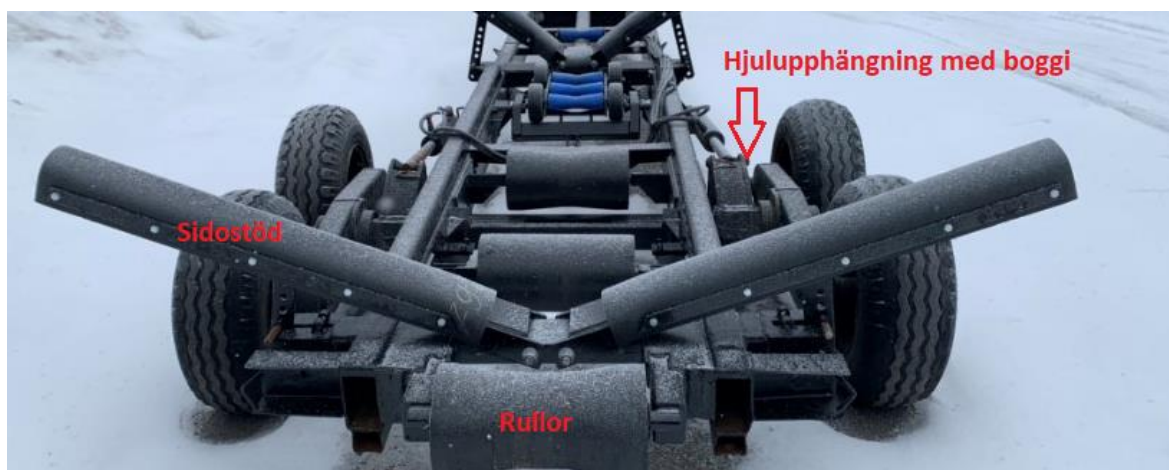


Figur 1. Hydrolinks egentillverkade slipwaytrailer.

Eftersom vagnen inte har någon mittbalk går det bra att även ta upp segelbåtar som har djup köl. (Hydrolink, 2022).

2 Problem

I företaget Hydrolink upptas båtar dagligen med en hydraulisk båtagn. Båtarna tas upp och ställs av på grund av service, stenkörning, förvaring, transport och andra orsaker. Den nuvarande båtagnen har fungerat bra som upptagning och transport men börjar bli väldigt sliten på grund av hård användning och saltvattenkontakt. Hydrolink behöver ny vagn för att kunna lyfta mellan 6–10 metersbåtar. Den nuvarande vagnen har inte egenskaperna för att lyfta till exempel en Greenbay Marine Force 10 som de ofta transporterar mellan bryggan och produktion för olika tester. Den nuvarande vagnens största problem är att rullorna på vagnen har för stor punktbelastning på skrovet att det är risk att uppkomma skrovsador när skrovet rullar mellan tvärbalkarna då man vinschar på båten. Detta är ett problem i företaget när det till exempel har hänt sig att skrovsador uppkommit då man har tagit upp eller avställt båten på bockar med klen skrov.



Figur 2. Hydrolinks vagn som skall ersättas. Beskrivningar av nyckeldelarna på vagnen.

2.1 Avgränsningar

I mitt examensarbete kommer jag inte att gå in på tillverkningen och montering av vagnen. Hållfasthetsberäkningar på ramkonstruktion kommer inte beaktas i detta arbete.

2.2 Disposition

Teorin bakom examensarbetet beskrivs i kapitel 3. I kapitel 4 beskrivs metoden och tillvägagångssättet bakom arbetet med undersökning, planeringsprocess och modellering.

Resultatet och presentation av vagnkonstruktionen framkommer i kapitel 5. Kapitel 6 är sammanfattning och egna tankar bakom arbetet.

3 Teori

I det här avsnittet i examensarbetet genomgås de mest väsentliga teoridelarna som behövs för att få kunskap och förstå arbetet. Teorikapitlet omfattar också bakgrunden som behövs för att kunna teoretiskt utforma och konstruera en båt vagn. För att förstå hur ett modernt tillverkat båtskrov är uppbyggd har jag tagit med en teoridel om vakuumlaminering och produktutveckling. Teorikapitlet omfattar dimensionering och matematik för hydraulikkrafter samt grunden i hållfasthetsberäkningar med finita elementmetoden.

3.1 Produktutveckling

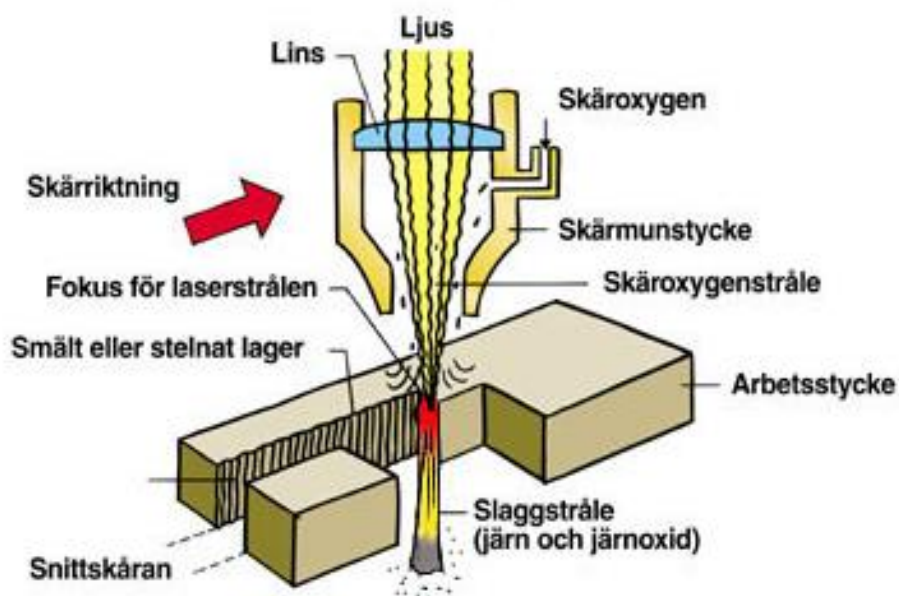
Produktutveckling handlar om människans naturliga medfödda svaghet att vara lat. Eftersom människan är lat försöker man göra saker och ting lättare för sig och nya innovatörer och företagare bildas. Orsaken till att samhället utvecklar är behovet som växer fram från instinkten att skaffa sig egen utkomst och välfärd. Nya företagare och produkter måste skapas för att samhället skall utvecklas.

Ett av de viktigaste kriterierna då nya produkter konstrueras är att produkten får en modern och snygg formgivning. Ingen produkt kan vara utan en bra design eftersom om den inte har en tilltalande design går den inte att sälja, fastän den är tekniskt överlägsen. Erfarenheter har visat att produkter med en snygg form också många gånger är billigare att tillverka. En faktor som har att göra med formgivning av arbetsmaskiner är att förarmiljön måste vara förstklassig gällande sikt, bekvämlighet och säkerhet vid användning. (Carlson, 2004).

3.2 Laserskärning

Laserskärning är en termisk process som används vid tillverkning hos framställningsindustrin. Laserskärning används för att få till exempel metallplåtar utskurna i specifika former med hjälp av CNC-styrning. Formerna kan vara svåra att framställa manuellt och väldigt tidskrävande varför laserskärning används. Processen för laserskärning går till enligt följande;

En fokuserad stråle laser riktas mot arbetsstycket och värmer upp materialet så att det smälter eller förångas. Laserstrålen är väldigt tunn stråle som oftast är en diameter på mindre än en halv millimeter. Eftersom diametern är så liten är det lätt att göra speciella former med små radier. I skärhuvudet på maskinen finns en gaskammare som med hjälp av ett munstycke har ett gasflöde mot materialet. Gasen har en stor betydelse inom laserskärning. De främsta uppgifter för gasen är att blåsa snittet rent från det smälta materialet, skydda linsen i verktyget från eventuella skärspån och ångor. Gasen kan också tillföra energi till processen för effektivare skärning. (Svetskommissionen, 2019).

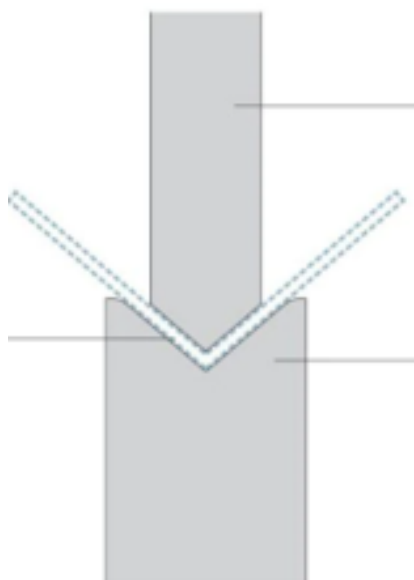


Figur 3. Förklaring i laserskärningsprocessen.

3.3 Bockning

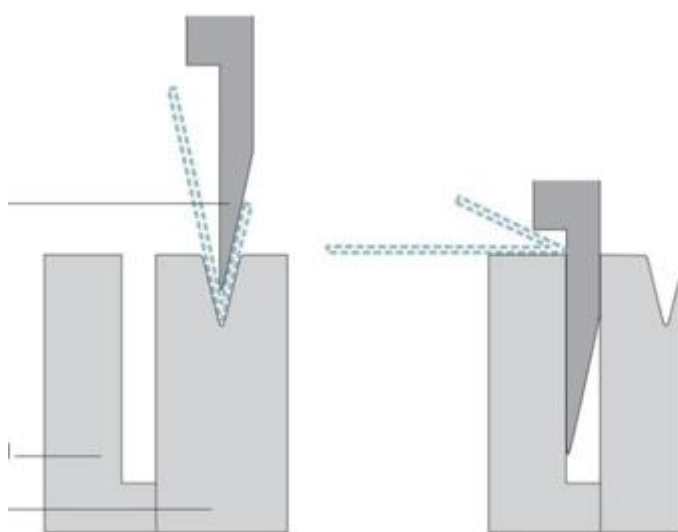
Bockning är en bearbetningsmetod för att få olika sorters material att formas enligt böjande momentkrafter. Bockning är en smidig metod för att få plåtar och rör böjda i specifika riktningar.

Den vanligaste metoden för bockning av plåt är kantbockning som med hjälp av en kantpress för ner pressbalken mot en v-formad yta och klämmer plåten tills den har önskad form. Figur 4 nedan visar formverktyget.



Figur 4. Kantböckning.

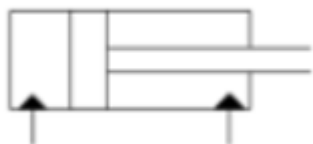
En annan metod som används för formning av plåt är så kallad falsning och pressning. Denna metod ger en möjlighet att göra plåten till en väldigt spetsad yta med stor vinkel från ursprungliga form. Metoden görs i 2 steg. Först för-bockar man till en vinkel på 30 grader för att sedan flytta fram verktyget för att få en press där man trycker till vinkel för att få ett spetsigare resultat. När det lämnar en vinkel mellan skänklarna kallas det för en falsning men om plåten trycks helt mot varandra kallas det pressning. Figuren 5 nedan visar en falsning av en plåt (Trumpf, 2022).



Figur 5. Pressningsböckat.

3.4 Hydrauliksystem

Ett hydrauliksystem är ett system där vätska strömmar med tryck för att utföra rörelser av till exempel cylindrar. Trycket för vätskan i systemet kommer oftast från en hydraulmotor som pumpar vätskan till ett specifikt tryck. För att dimensionera en cylinder när man har en viss kraft som bör uppnås, går det att räkna ut kraften enligt formel 1 och formel 2. I en dubbelverkande cylinder kan vätskan köras in på två ställen i en cylinder enligt figur 7 för att få cylindern att köras i bägge riktningar. I en enkelverkande cylinder kan vätskan endast köras in för att få cylindern i ändläget. I detta fall kan man inte med hjälp av vätskan köra tillbaka cylindern till noll-läge. Cylindern kan endast återgå till noll-läge av självtrycket när man slutar mata in tryck till kammaren. Utan tryck i kammaren så pressas kolven tillbaka till noll-läge.



Figur 6 Dubbelverkande cylinder

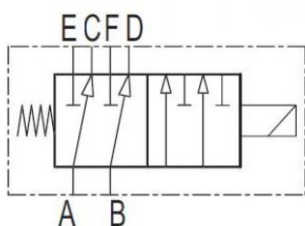
I figur 7 visas funktionen för en hydraulisk cylinder. cylindern visar en dubbelverkande cylinder som kolven är i nedre läget. När olja matas in i pilen till vänster skjuts kolven utåt och cylinderstången åker längst ut. När olja sedan matas in till högra pilen åker cylinderstången in tillbaka.

$$a = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{Formel 1: Beräkning av area av en cirkel}(d = \text{kolvdiameter})$$

$$F = p \cdot a \quad \text{Formel 2: Beräkning av kraften för cylindern}(p = \text{hydraul trycket})$$

Kraftens för cylindern beror på cylinderns kolvdiameter. Ju större area och tryck man har på cylinderkolven desto större kraft erhålls. Cylindern har större kraft i skjutläget eftersom arean inte avgränsas av stångdiametern som det gör när cylindern körs i dragläget. När man skall beräkna kraften för cylindern att köras till noll läget bör arean för stångdiametern räknas bort.

För att reglera och styra trycket från hydraulmotorn använder man sig av ventiler. Det finns många olika ventiler som har sina egna fördelar för att styra vätskan på bästa sätt lämpat för arbetet. Vanligaste ventilen för att styra in trycket till en cylinder är en riktningsventil. Funktionen av en riktningsventil är att öppna och stänga vägar för vätskan att flöda genom. De rörliga delarna i ventilen fördelar flödet mellan kanalerna i ventilen. Riktningsventilerna kan vara manuella, elektroniska och flervägs ventiler. (Isaksson, 2017).



Figur 7 Riktningsventil

I Figur 8 visas en riktningsventil som är manuellt styrd. I nuvarande läge matas hydrauloljan från A och B till porterna C och D. Ifall man styr om ventilen kommer A och B i stället mata oljan till porterna E och F.

3.5 Finita element

Finita element metoden är en matematisk metod för att lösa differentials ekvationer. Tillämpningar för finita element uppkommer oftast vid strukturmekanik, dynamik och tekniska problem. Finita element-metoden är mera känt vid namnet FEM. FEM metoderna används oftast i CAD-program som hjälper konstruktörerna bestämma materialval, detaljutformning, vikt, kostnad mm. FEM metoden utför krafter på den simulerade detaljen i CAD-programmet och beräknar spänningar i materialet. På det sättet får konstruktören reda på vilka kritiska lägen som finns i detaljen och kan motverka det genom att modellera om detaljen. Fem simuleringar kan skapas i både 3D- och 2D-modeller där programmet skapar små noder (simulerade detaljen delas in i små rutor) för att beräkna spänningarna skilt för sig. Finita elementmetoden används ofta av konstruktörer som vill gå ner i material storlek eller dimensionera detaljen för god hållbarhet vid laster. (Silva, 2013)

3.6 Vakuumlaminering

Vakuumlaminering är en metod av laminering som används hos de moderna båtbyggarna idag. Vakuumlamineringsmetoden används när båtarnas skrov lamineras ihop i formarna. Laminering med vakuum går till på följande sätt; Man placerar de torra glasfibermattorna i formen och täcker med speciella påsar så att det inte kommer in någon luft i formen. Man installerar flera anslutningar i påsarna för att mata in harts på olika ställen av skrovet för att få en jämn spridning. När allt är tätat och klart släpper man in harts att flöda fritt genom de olika anslutningarna till påsarna. Med denna metod blir det inget överloppsharts eftersom det är beräknat exakt mängd av behövt harts. Eftersom det är tätat och inte slipper in någon luft, kommer det heller inte ut någon lukt från hartset under processen. Denna metod är mycket bättre både ekonomiskt och hygieniskt hos en fabrik eftersom man undvikar allt klott med rullar och borstar jämfört med den tidigare öppna lamineringsmetoden.

Med denna metod av laminering så uppnår man ett förhållande nära 50 % glasfiber och 50 % harts. Detta är mycket högre procent glasfiber än vid den öppna lamineringsmetoden vilket innebär en starkare och lättare yta hos den vakuumlaminerade metoden jämfört med den öppna laminerade metoden. Efter själva skrovlamineringen är klar går man vidare till att laminera längs och tvärgående balkar som förstärker hela skrovet.

Denna teknik resulterar i att båtarna idag inte använder lika mycket glasfiber och skroven är tunnare än de äldre öppna laminerade båtarna. Eftersom skroven är tunnare så har de blivit känsligare för punktbelastning på båtagnarnas rullor vid upptagning och transport samt avställning på bockar. (Fredriksen, 2013).

3.7 Varmförzinkning

Varmförzinkning eller varmgalvanisering är en metod för att skydda metaller från korrosion. Detta är en teknik som ger ett skyddande lager av zink runt materialet och har en rostskyddsgaranti på 30 år. Processen för varmförzinkning går till på följande sätt; Materialet sänks ned i en behållare med flytande zink på ungefär 450 grader Celsius. Detta är en väldigt bra metod att använda sig av för utomhusbruk och speciellt när materialet utsätts för saltvatten. När man sänker ner materialet i behållaren skall det vara håll i

konstruktionen ifall vissa material är ihåliga typ rörbalkar. På grund av hålen i balkarna tränger zinken in sig och skapar en skyddande yta på både in- och utsidan.

Fördelen med varmförzinkning är att man skapar en slitstark yta för utomhusbruk. Varmförzinkning har även egenskapen av en självläkande effekt där jonisering leder till att skador repareras ifall det kommer djupa skråmor. Med en vanlig målad yta skulle skadan leda till att man skulle behöva omlackera skadan för att förhindra korrosion. När varmförzinkningen är gjord får man en mattgrå (Svetskommissionen, 2019) yta som inte kanske är så snygg, men det går även bra att måla den förzinkade ytan för att få ett bättre estetiskt resultat.

Varmförzinkning är en bra metod att använda sig av när materialet utsätts för saltvatten då möjliga rörbalkar fylls med vatten som isåfall skulle ha kontakt med omålade ytor, i det fall konstruktionen skulle varit målad.

3.8 Konstruktionsmaterial

I det här examensarbetet används till mestadels konstruktionsstål för byggnad av ram och fästen. Det andra materialet som används för tillverkningen av arbetet är polyeten för friktion och fäste av hjulupphängningen. Materialen som används förklaras nedan i underrubriker där man går mer in på användningsområden.

3.8.1 Konstruktionsstål

Konstruktionsstål är en grupp stål som oftast används vid konstruktioner av bärande struktur, eftersom den har hög draghållfasthet och relativt låg vikt med tanke på den höga hållfastheten.

Konstruktionsstålets egenskaper bestäms av legeringar och härdningar. Konstruktionsstålets kolhalt är relativt hög. Stålets användningsområden delas in i olika grupper enligt hur de är framställda ur legeringar och härdning. (Proplate, u.d.) .

Ett vanligt konstruktionsstål som används för det mesta i konstruktioner är S355. S355 är ett lågkolhaltigt stål som har mycket god svetsbarhet. Konstruktionsstålet är varmvalsad i olika former; rund, fyrkantigt och platta. S står för Structural steel som betyder konstruktionsstål. 355 står för 355 MPa som är minsta värdet på materialets sträckgräns.

3.8.2 Polyeten

Plastsorten polyeten är en vit termoplast som används till mycket inom industrin, exempelvis behållare, tätningar, tankar mm. Termoplast har egenskaper som god slagseghet, låg densitet och beständig mot kemikalier. De vanligaste typerna av polyetenplast är LD och HD. LD står för (low density) polyeten som har lägre densitet vid $0,91 - 0,94 \text{ g/cm}^3$. HD står för (high density) polyeten och har högre densitet än LD med $0,94 - 0,965 \text{ g/cm}^3$. HD polyeten har en styvare och starkare yta än LD på grund av densiteten.

Fördelar för polyetenplasten är listade:

- Mycket god slagseghet
- Låg vattenabsorption
- Kan förstyrkas med glasfiber
- Resistent mot kemikalier
- Bra glidegenskaper
- Förmånligt

Nackdelar för polyetenplasten är listade:

- Starkt temperaturberoende vid mekaniska egenskaper
- Hög längdutvidgningskoefficient vid $500 - 1500 \text{ MPa}$
- Känslig vid spänningskorrosion
- Lättantändlig
(Plastex, u.d.).

4 Metod

I det här kapitlet beskrivs hur jag har gått till väga för att utföra arbetet, vilka olika metoder jag utgick ifrån för att utföra arbetet och varför. Först gjorde jag en intern undersökning hos Hydrolink för att få reda på hur vagnen används och vilka åsikter de anställda har som använder vagnarna. Vid planeringsprocessen gjorde jag skisser på möjliga lösningar för vagnen och tog inspiration och alternativa lösningar hos olika konkurrenter och andra konstruktioner på nätet. Efter planeringsprocessen började jag dimensionera materialtjockleken på balkarna och därefter gjordes modelleringen.

4.1 Undersökning

Det första steget i arbetet var att få en inblick i hur Hydrolink använder sin nuvarande båt-vagn. Jag var med under arbetet när båtar togs upp och ställdes av, kollade på och körde vagnarna för att få en bättre bild av vad som fungerar bra och vad som inte kanske fungerar lika bra med vagnarna. Jag märkte vid detta läge att största påfrestningen är hjulen som kränger vid snäva svängar med tyngre båtar.

Jag hade möte med de anställda som använder vagnen dagligen där vi gick igenom vad de har för åsikter om den nya vagnen jag skulle konstruera. Där tog jag i beaktande deras åsikter samt mina egna när jag själv hade använt vagnen. Det största problemet med vagnen är hjulen som kölen på båten rullar mot. Eftersom det är så stor punktbelastning när man använder hjul mot skrovet. Lösningen som arbetstagarna nämnde var att göra en räls för en vagga att glida på och på så sätt alltid ha bocken på vagnen mot en tvärbalk i skrovet.

Jag gjorde även denna undersökning med konstruktören vid Hydrolink som är min handledare samt Vd:n Mats Carlson. De tog upp olika idéer för vagnen men framför allt att göra den lämplig för en Greenbay Force 10. Eftersom en Force 10 är en 10 metersbåt som inte alls går att ha på den gamla vagnen på grund av storleken blev det svårare att bevara smidigheten av den gamla vagnen när vi blev tvungen att göra den längre. Under diskussionen kom vi fram till att göra bomstyrning på vagnen för att uppfylla kravet på smidigheten även om man har en mindre båt på vagnen.

Efter dessa undersökningar gjordes ytterligare forskning på andra tillverkade vagnar som även Hydrolink har byggt åt sig själv och andra tillverkade vagnar som har blivit byggda. På internet forskades i hur andra tillverkare hade löst idéer på konstruktioner av till exempel skogsvagnar och andra typer av stålkonstruktioner. På detta vis fick jag information i hur andra tillverkare löste problem och jag kunde ta inspiration från dessa typer av konstruktioner.

4.2 Planeringsprocess

I början i planeringsprocessen skissade jag upp alternativa konstruktioner på vagnen för att få olika alternativ att gå efter. Jag funderade med min handledare och resten av de som var inblandade på Hydrolink om lösningarna jag hade kommit fram till. Vi diskuterade inom företaget vilken modell av vagn som ansågs vara mest lämpad för ändamålet.

Vagnen planerades med bomstyrning vid frambommen för att kunna ta sig smidigare in på trånga ställen mellan andra förvaringsbåtar i hallen. Sidobankarana som håller upp båten i sidled skulle vara hydrauliska för att göra arbetet lättare att ställa om för olika båtskrov. För att uppnå kravet på vagnen för att den skulle kunna ställa av båten på bockar, behövs en konstruktion för att höja ramen från hjulen. Höjningsfunktionen på vagnen är den största utmaningen i arbetet eftersom det blir stor krängning på grund av friktionen vid svängning av vagnen. Eftersom rörliga delar vid lyften finns blir det hård belastning på denna konstruktion och behov av ordentlig dimensionering krävs. För att få båtens skrov att glida längs ramen på vagnen var alla i företaget överens om att göra en kälke som glider längs med ramen som är utformad med en kilformad dyna där båtens skrov sätts att vila på.

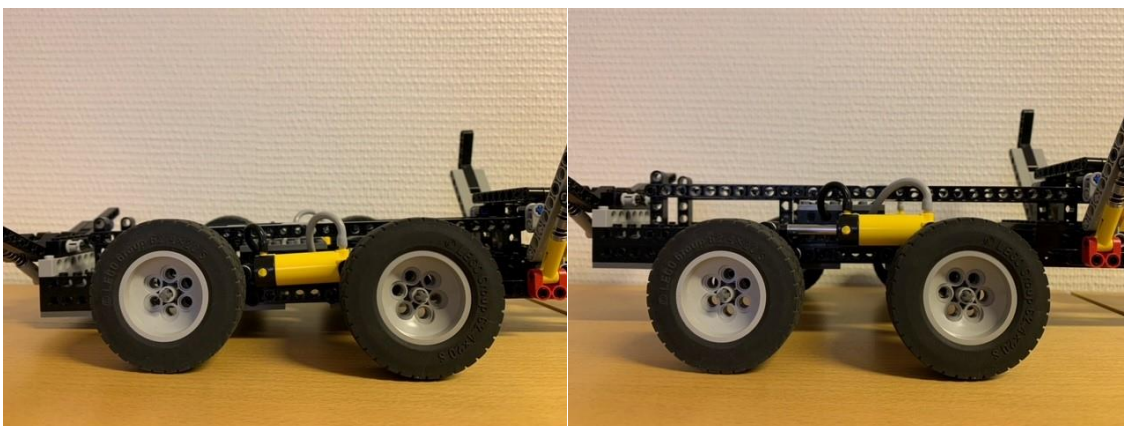
4.2.1 LEGO-Prototyp

För att få en bättre inblick i vagnkonstruktionen och eliminera alternativa lösningar byggde jag en prototyp i Lego enligt de önskemål och krav som hade blivit fastställda. Denna prototyp byggdes enligt hur vagnen skulle se ut i planeringsprocessen.



Figur 8. LEGO-prototyp.

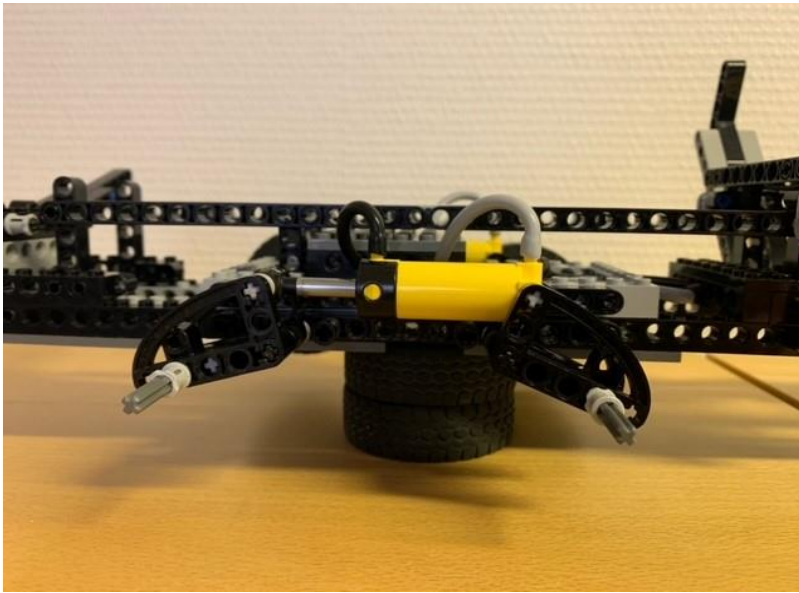
Prototypen byggdes med bomstyrning, glidande kälke längs ramen ställbara sidostöd och framför allt höj och sänkbar ram enligt figur 10. Största anledningen att prototypen byggdes var att testa lösningen av lyften på vagnen. Detta är en konstruktion med en cylinder per sida som på samma gång ger vagnen egenskapen att fungera som en boggi. På vänstra bilden i Figur 10 är cylindern inkörd och vagnen i lägsta läget och på högra bilden i Figur 10 är cylindern utkörd och vagnen i högsta läget.



Figur 9. LEGO-prototyp med höjd och sänkt boggi.

Eftersom vagnen endast har en cylinder och är ledad genom två axlar ger denna konstruktion tillgång till boggifunktion i hjulupphängningen. När främre hjulet åker upp trycks bakre hjulet ner av cylindern. Detta fungerar i bägge höjdlägen i vagnen. För att inte hjulen skall tryckas upp för långt krävs en låsning i systemet som gör att den ena

hjulupphängningen inte kan åka upp eller ner för långt. Konstruktionen av hjulupphängningen ses i Figur 11.



Figur 10. LEGO-prototyp utan hjul.

Efter att jag hade byggt prototypen insåg vi att hjulupphängningen inte var ett alternativ att använda på riktigt av olika orsaker. Hjulen hade för stort avstånd mellan varandra för att bli smidig vid svängar och orsakar mera friktion och krängning mot väglaget när man svänger vagnen med stor last. Låsningar för boggi krävs att konstrueras för att inte hjulen skall stiga för högt vid körning av ojämnt väglag. Cylinderkostnaden är ungefär samma som att bygga vagnen med 2 cylindrar per sida borträknat slangar och ventiler.

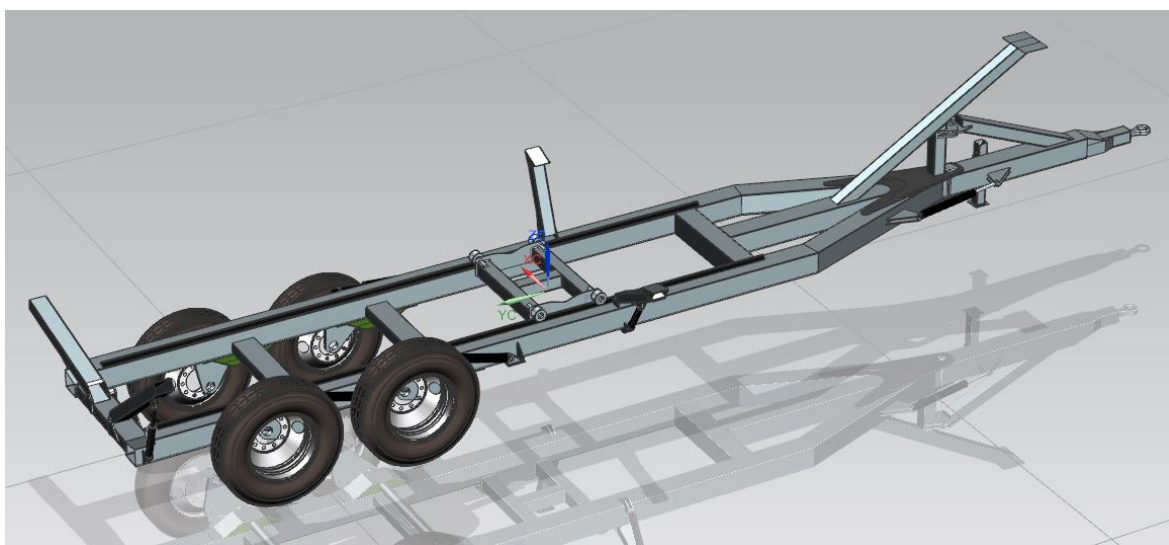
4.3 Modellering

Modelleringen påbörjades efter planeringsprocessen då vi hade kommit fram till en konstruktion som var lämpad för ändamålet. 3D-modelleringen gjordes helt och hållet i Siemens NX. I modelleringen började jag med att rita upp en ram för vagnen för att sedan rita de olika komponenterna på. Ramen konstruerades enligt Force 10 som största båt att ta på vagnen. Jag hade tillgång till en 3D-modell av ett skrov till en Force 10 under modelleringen för att konstruera vagnen till rätt mått. När ramen till vagnen var utformad kunde jag fortsätta med de andra komponenterna typ sidostöd för båtarna, rullkälken och hjulupphängningen.

Under modelleringen kom olika problem och andra lösningar fram för att göra vagnen bättre. Eftersom komponenterna konstruerades i moduler kunde man göra olika varianter och vidareutveckla under själva modulering, på så sätt kunde både handledaren och användarna av vagnarna se och komma med åsikter.

5 Resultat

I det här kapitlet presenteras den färdiga 3D-modellen av vagnen som min slutgiltiga produkt till Hydrolink. Produkten presenteras i olika mellanrubriker där specificerad funktion för vagnen beskrivs. I resultatet beskrivs olika funktioner och användningsområden för konstruktionen och hur den är utformad. Den slutgiltiga modellen uppfyller alla krav och kriterier som Hydrolink hade för vagnen för bästa ändamål.



Figur 11. 3D-modell av slutgiltiga båtvagnen.

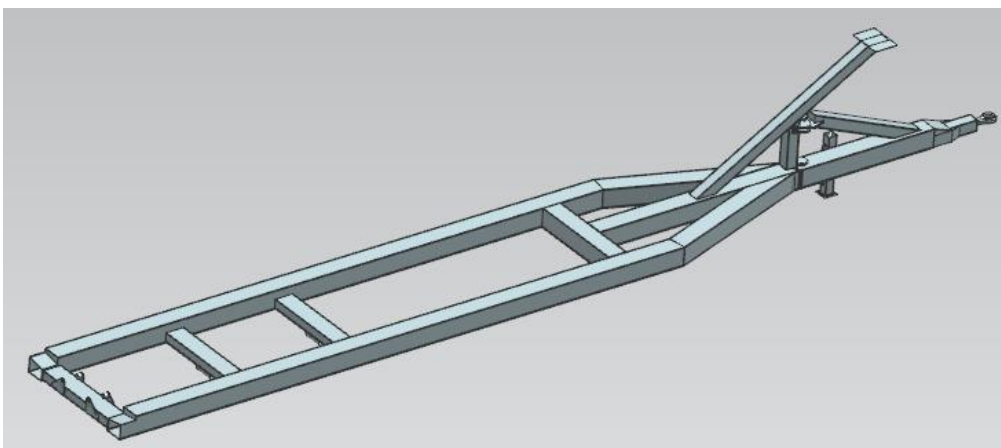
5.1 Konstruktion

Vagnen modellerades enligt lättillgängliga material från delvis lokala företag för att snabbt och lätt få material inför tillverkning. Komponenterna i vagnen är modellerade för enkel beställning av färdigt laserskurna och bockade detaljer. Eftersom komponenterna går att beställa färdigt bearbetade går det snabbt i tillverkningen att måtta in och svetsa fast detaljerna på rätta ställen. Ifall omändringar och egna tillverkningar av detaljer krävs, ökar arbetstimmarna och kostnaderna. Detta är en viktig del i företaget eftersom vagnen skall tillverkas av egen personal till eget bruk.

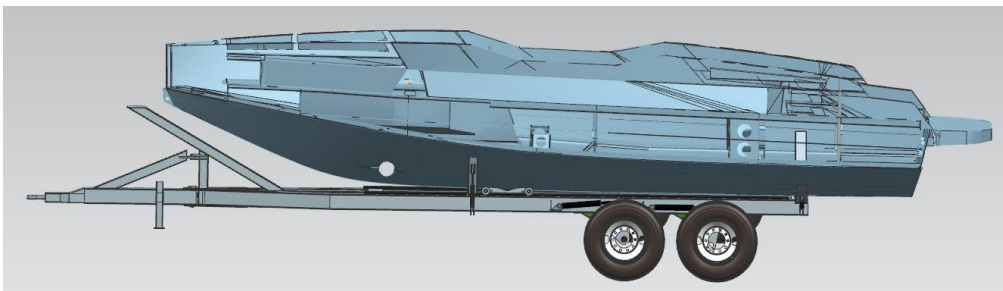
Vagnen är byggd mestadels i stål av typen S355 och på grund av användning i saltvatten och stänkning från starka medel vid skrovtvättning orsakas mycket korrosion. Eftersom vagnen utsätts för stor korrosionsrisk kan även skråmor i konstruktionen uppkomma. Därför valdes alternativet att varmförzinka vagnen för att skydda mot dessa faktorer. Varmförzinkning är en bra metod att använda sig av eftersom det har en självläkande effekt när det kommer skråmor. Då man sänker ner hela konstruktionen i ett bad kommer även rörbalkarna att skyddas från insidan. Varmförzinkningen kan göras efter att hela konstruktionen är färdigsvetsad och monterad. För mera estetiskt utseende kan man även måla utanpå varmförzinkningen.

5.2 Ram

Ramen är själva basen till hela konstruktionen och är modellerad med två stycken längsgående 200x200 mm rörbalkar med 8 mm tjocklek. Ramen har stödbalkar för att hålla ihop konstruktionen, dessa rörbalkar består av 200x100 mm balkar med 8 mm väggar. Balkarna är konstruerat med stålmaterialet S355J2H för en ordentlig hållfastighet för att klara båtarnas belastning. Ramen är konstruerad med en smidig design med relativt smal bredd och tillräckligt lång för att en Greenbay Force 10 skall kunna transporteras.



Figur 12. 3D modell av ramen.

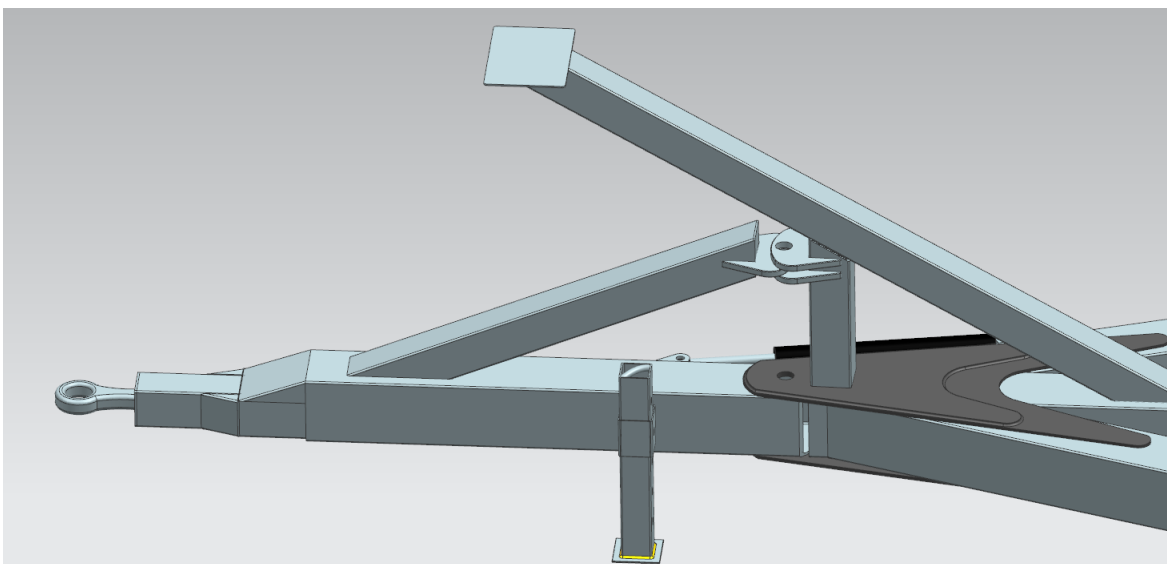


Figur 13. 3D-modell med Force 10-skrov på båtvagnen.

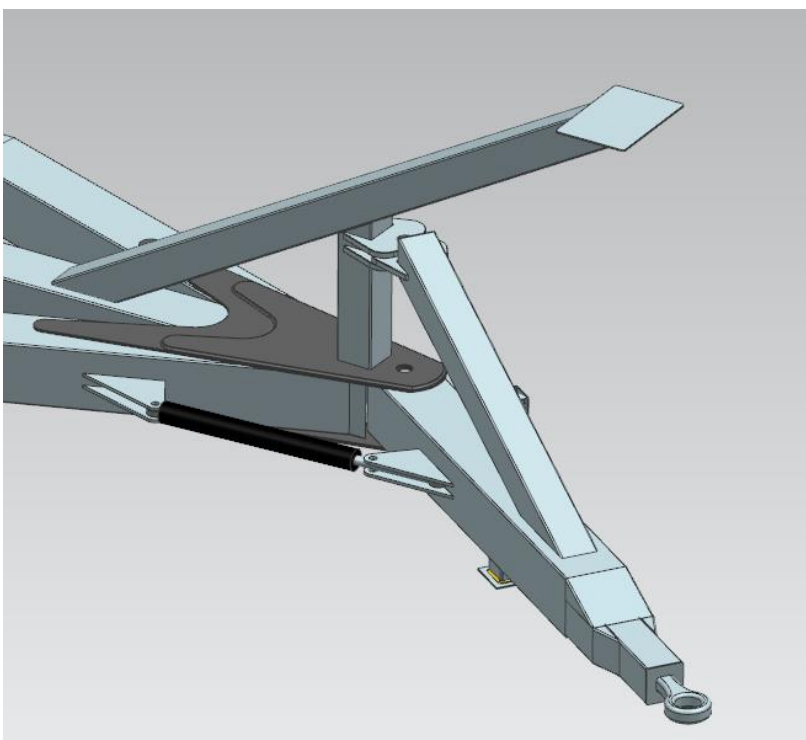
Vagnen har en total längd på 10 meter räknat från dragöglan till bakre rörbalken på vagnen, och en rambredd på 1400 mm. Eftersom vagnen inte är lämpad för att transportera större båtar än 10 meter gjordes vagnen slimmad efter Force 10 och med en diagonal balk där en vinsch skall monteras för vinschning av båtar från vatten. Vinschbalken konstruerades på detta vis för att få den så långt fram som möjligt men samtidigt ha en lämplig höjd för dragöglan i båten att fästa vid. Denna konstruktion gjordes för bäst hållbarhet och konstruktion av bomstyrningen. Bomstyrningen går igenom i nästa kapitel.

5.3 Bomstyrning

Bommen på vagnen är konstruerad för optimal funktion vid trånga och snäva utrymmen. Bomstyrningen är konstruerad men en tvåvägs cylinder som gör att bommen kan svänga 35 grader åt båda riktningarna. Eftersom styrningen av bommen är en smidig lösning får inte cylindern och fästen ta upp mycket utrymme åt sidan. Konstruktionen av cylindern och cylinderfästen gjordes så slimmade som möjligt för bästa användning. För att svängningen skall fungera är vagnen utformad med två tappar som delar upp belastningen av vagnen. Med att göra två tappar blev det möjligt att gå ner i dimensioneringen av tapparna jämfört med ifall man skulle haft en stor tapp. Inspirationen av att ha dubbla tappar fick jag från hjullastare och andra midjestyrd maskiner. Bägge tapparna har en diameter på 50 mm och sitter 450 mm ifrån varandra. Den nedre tappan går igenom hela bommen och har fyra 12 mm plåtar för extra material och hållfasthet. Bussningen är inpressad och har en smörjnippel för smörjning. Den övre tappan går igenom tre öron rakt ovanför den undre tappan.



Figur 14. 3D-modell av dragbomskonstruktionen.



Figur 15. Bomstyrningen svängd 35 grader åt höger.

Plåtarna som sitter på ovanpå balkarna för att förstyya konstruktionen av bommen hjälper också att svetsa fast V-formade konstruktionen av ramen. Plåtarna är fyra 12 mm fördelade på övre- och undre sidan. Plåtarna är laserskurna i droppformad modell för att få längre svetsfog och snyggare design.

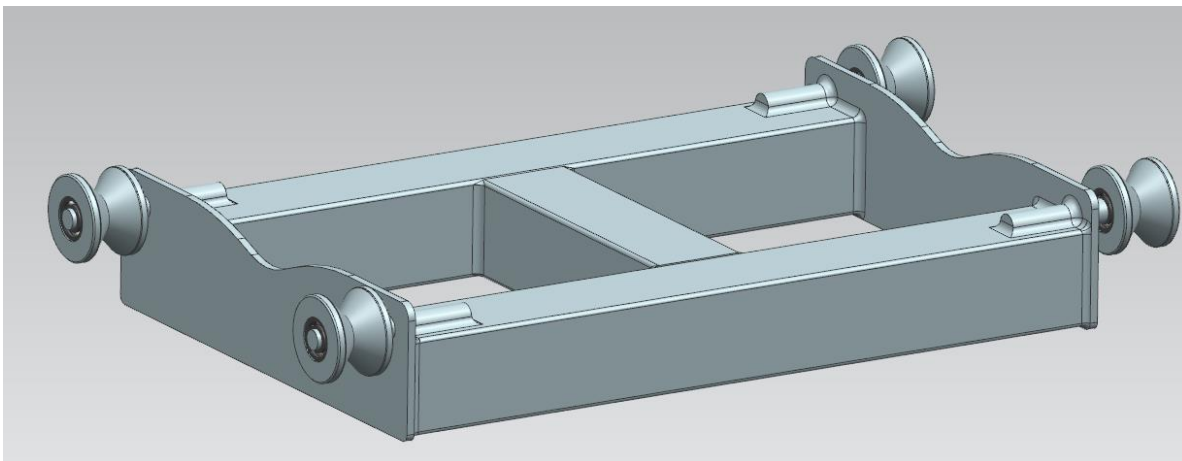
5.3.1 Bomstyrningscylinder

Vid dimensionering av hydraulcylindern på bomstyrningen krävdes en lång cylinder för att få styrningen att fungera med större vinkel. Den valda cylindern har 60 mm kolv, 30 mm stång och 500 mm slaglängd. När bommen styrs till vänster åker cylindern i dragläge och har mindre kraft jämfört när man styr bommen till höger. På grund av detta behövdes en större cylinder än 50 mm kolv för att ha tillräckligt med kraft för att svänga till vänster. Cylindern som valdes är från IKH och har koden HS6030500K. Enligt formel 1 och 2 räknades ut att cylinderkraften vid drag läge (bommen åt vänster) är 38 kN och vid skjutläge (bommen åt höger) 51 kN. Detta räknades vid 180 bar tryck eftersom en vanlig traktorhydraulpump arbetar med det trycket.

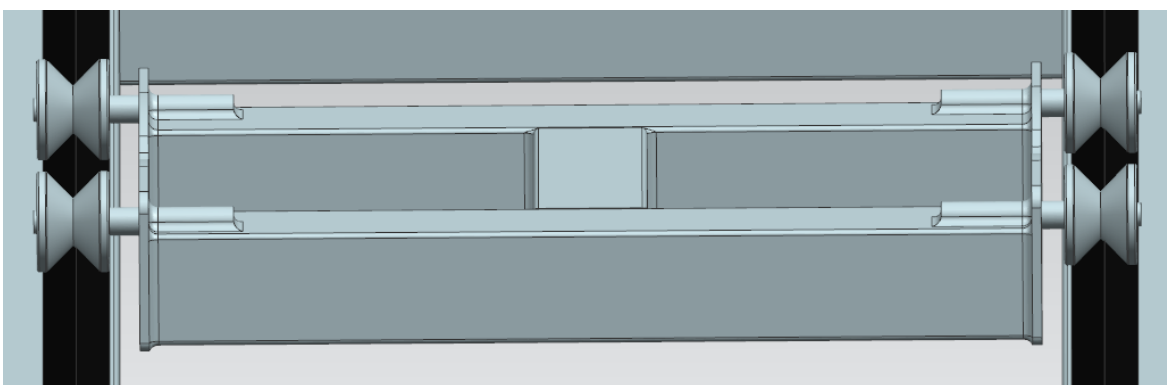
5.4 Kälke

Kälken har som funktion att placeras vid skrovets främre starka punkt för att sedan rulla längs ramen vid påtagningsskedet från bockar till vagnen. Eftersom kälken rullar och man har placerat skrovet på en stark punkt vet man att det inte kan ske skador i skrovet vilket kan förekomma ifall man har rullor längs ramen i stället. Eftersom kälken är en större konstruktion och kommer att ha en dyna på, blir det inte stor punktbelastning på skrovet.

Kälken som kan förflyttas längs ramen är själva funktionen för påställning och avställning av båtar på bockar. Det var viktigt att modellera kälken med låg konstruktion eftersom det är viktigt att få båtarnas skrov så nära marken som möjligt vid avställning. Eftersom avställning av båtar i hallen vid Hydrolink sker med tråklossar är det viktigt att få båten nära marken för minskad mängd staplade klossar. Kälken är modellerad med två 100x100 mm balkar av materialet S355JH2 dvs samma material som ramen. Balkarna är fastsvetsade i 10 mm plåt på bägge sidorna där hjulen också sitter monterade. Hjulen löper längs en 6 meters bana av RC08 vinkelstål, som är måtten 50x50 mm. Vinkelstålen är svängda upp och ner för att göra en bana åt hjulen på kälken att löpa på. Hjulen är modellerade för att bli svarvade koniskt med två kullager i varje hjul. Konstruktionen av hjulen som är koniska är för att göra det omöjligt att kälken skall åka snett och kila fast i banan.

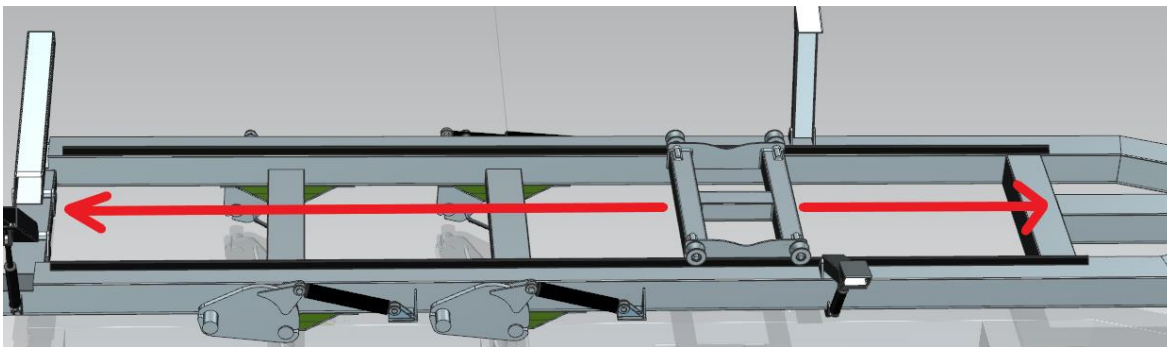


Figur 16. 3D-modell av kälken.



Figur 17. Kälken som rullar längs vinkeljärnen på ramen.

Kälken är modellerad att endast vara placerad ovanpå ramens skenor. Eftersom kälken endast ligger på de koniska hjulen hindrar inget att kälken kan hoppa av ifall man kör vagnen tom längs vägen och till exempel kör i en grop. Detta är inget problem ifall man har en båt med vikten på kälken och båten är fastspänd. Konstruktionen är därför byggd att man kan sätta kälken i en låsnings punkt längst fram på ramen som gör att inte kälken kan hoppa av. Konstruktionen är också modellerad för vidare utveckling av en hydraulmotor som drar en vinsch för att justera kälken fram och tillbaka. Detta är inte ett måste att kunna göra eftersom kälken kommer att löpa av sig själv när man backar in vagnen och båtens akter står placerat på bockar vid marken. Men eftersom det var en god tanke i företaget att kunna justera kälken med en vinsch gjordes vagnen möjlig för vidareutveckling av denna idé.



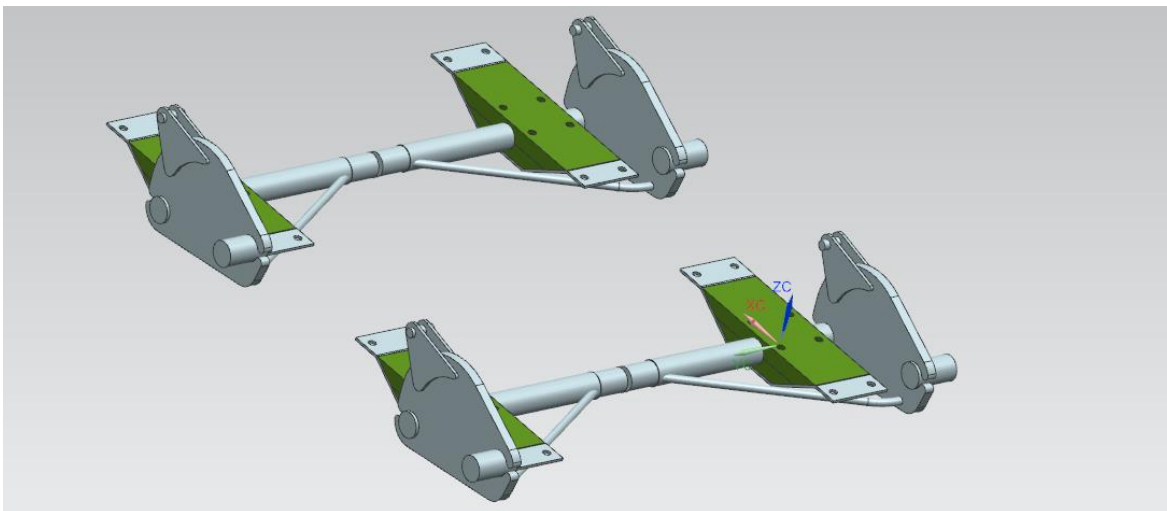
Figur 18. Kälkens bana på ramen.

5.5 Hjulupphängning

Hjulupphängningen är den viktigaste delen i vagnkonstruktionen eftersom den är höj- och sänkbar och även skall tåla last både vertikalt och axiellt. Vid svängning av båtvarnen vid torrt underlag som asfalt kommer hjulupphängningen ta mycket last i sidled på grund av friktionen i däcken mot väglaget. Kravet för vagnen var att man skulle kunna höja och sänka ramen för att kunna köra under båtar som är avställda på bockar och därefter lyfta upp vagnen så att båtens skrov börjar vila på kälken. Detta ger möjlighet att köra upp båten på vagnen.

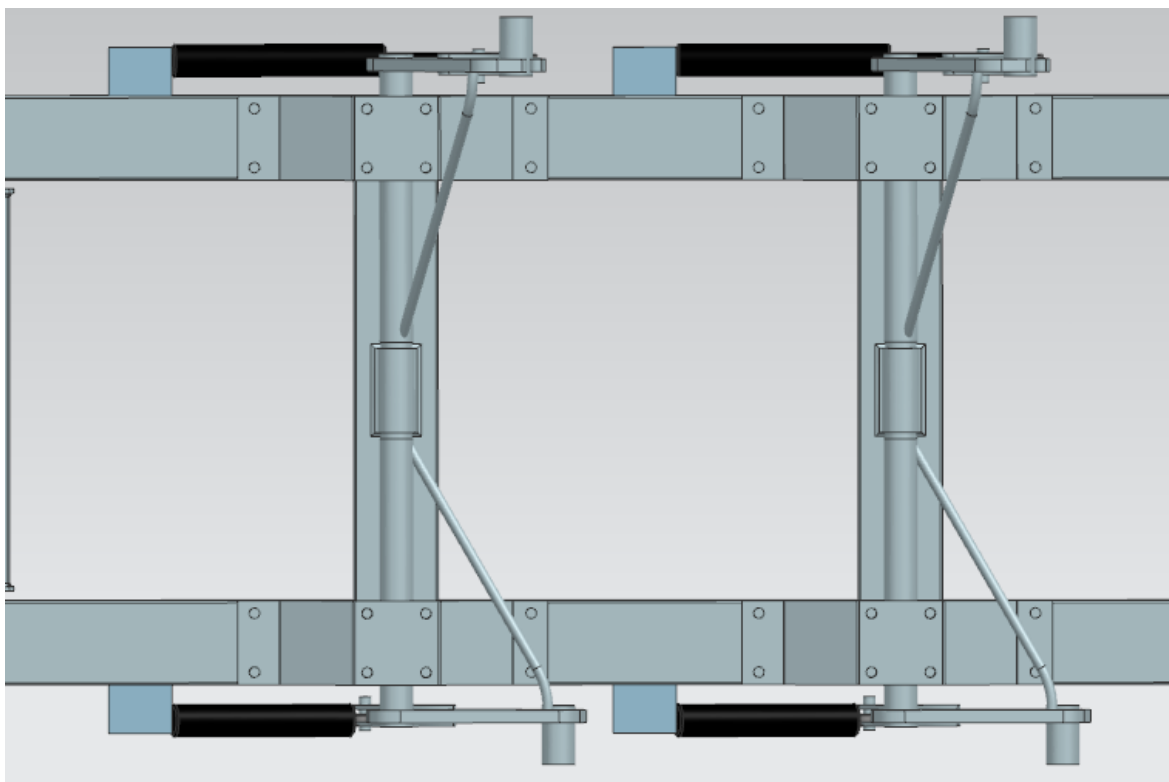
När prototypen av lego blev byggd insåg vi när vi testade funktionerna på vagnen att mycket krängning uppstod med denna funktion och man insåg att lösningen för boggi var inte var ett alternativ, dels för att inte lyft höjden skulle bli tillräckligt stor. Efter funderingar konstaterades att hydraulcylindrarna inte är så dyra att köpa flera av och vi kom till den slutgiltiga funktionen med 4 cylindrar, en per hjul.

Vid konstruktionen av hjulupphängningen använde jag mig av beräkningar för cylinderkrafter och finita element för att få den mest ekonomiska och lämpade konstruktionen för vagnen. Denna hjulupphängning blev modellerad som en skild sektion så att man även kan använda sig av samma konstruktion till andra släpvagns byggen.



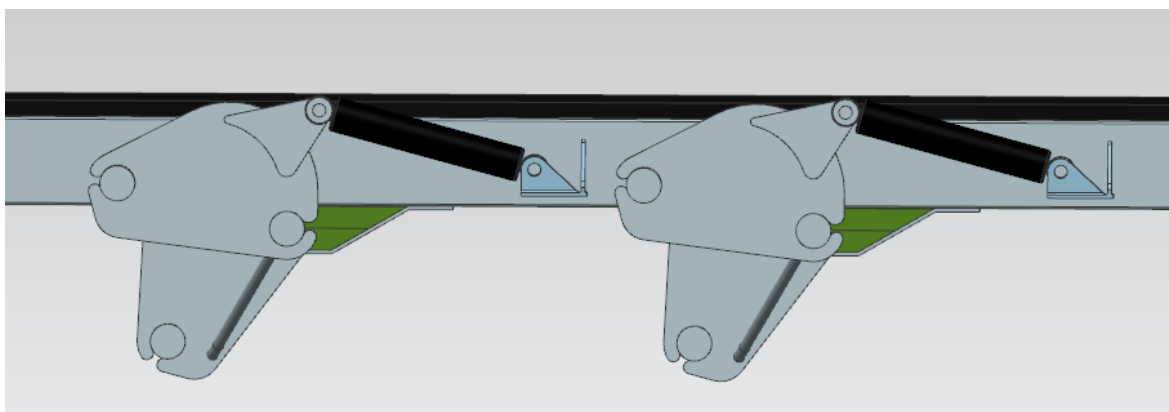
Figur 19. Hjulupphängningen som en modul.

Enligt figur 20 ser man konstruktionen som är byggd utan stål där hjulaxlarna hålls upp av polyetenbussningar som sitter fastmonterad runt en bockad plåt som även tar smällarna ifall markkänningar uppkommer. Själva hjulet kommer att monteras på en utskuren 30 mm stålplåt, där hjulnavet kommer att bli fastmonterat 400mm från hjulaxeln. Hjulnavet sitter 100 mm högre upp från axeln vid 0 läge för att få lägre höjd vid maxsänkning. Max höjning av vagnen är nästan 90 grader vilket resulterar i 485 mm höjdskillnad vid max lägen. Eftersom vagnen har en egen cylinder per hjul ger det möjlighet att använda endast två hjul när man transporterar en mindre båt som inte har någon stor massa. Även vid svängar kan man lyfta upp de bakre hjulen för att minska krängningen vid snäva svängar.

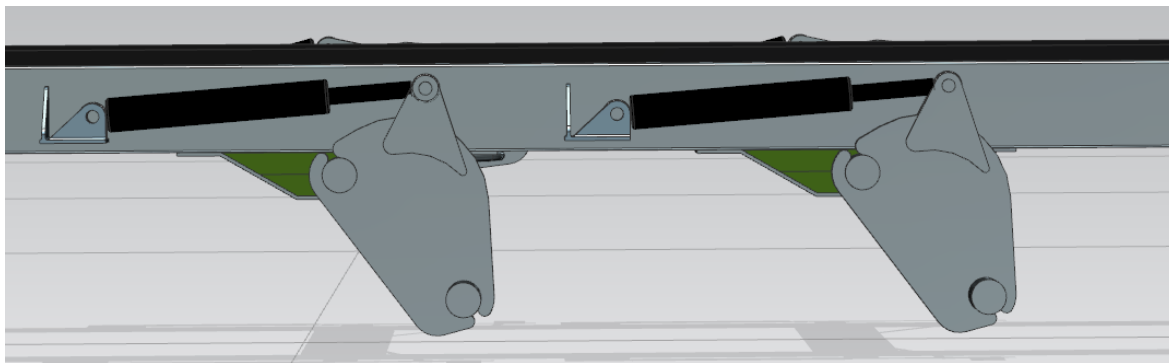


Figur 20. Hjulupphängningen monterad på ramen.

Hjulaxeln är monterad in i en hylsa i mitten av vagnen för ökad hållfastighet, samtidigt som en mindre axel går från stålplåten vid hjulnavet för att stabilare klara av krängningen. Fästen för cylindern är monterad i stålplåten med två 10 mm plåtar med rundad utformning för att svetsfogen skall klara av lasten vid belastning. Cylinderfästen är monterade i ramen vid ett lämpligt avstånd på 560 mm för att göra det möjligt för cylindern att köra ut till maxläget.



Figur 21. Hjulupphängningen i lägsta läget.



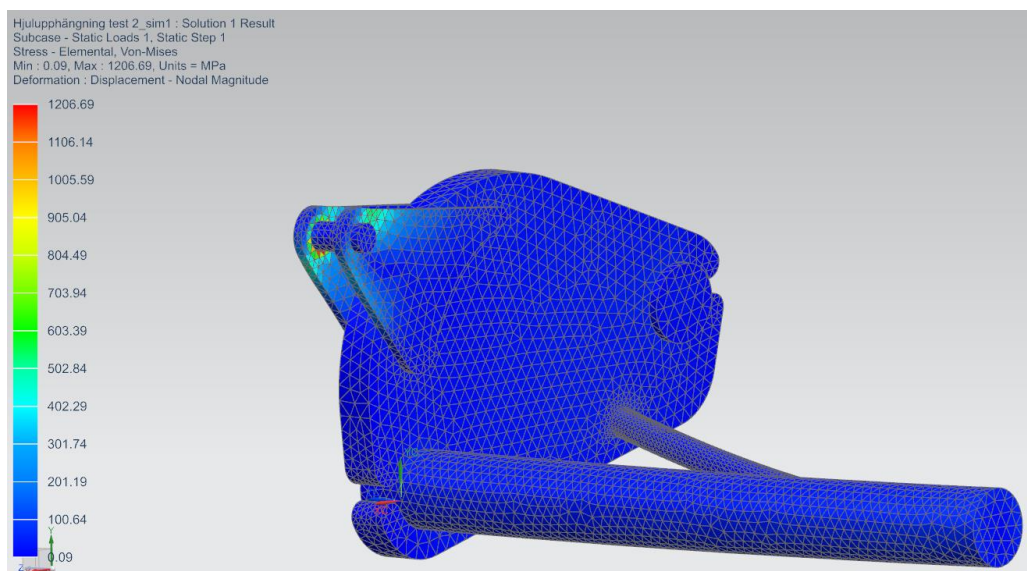
Figur 22. Hjulupphängningen i kör läge.

5.5.1 Hjulupphängningscylinder

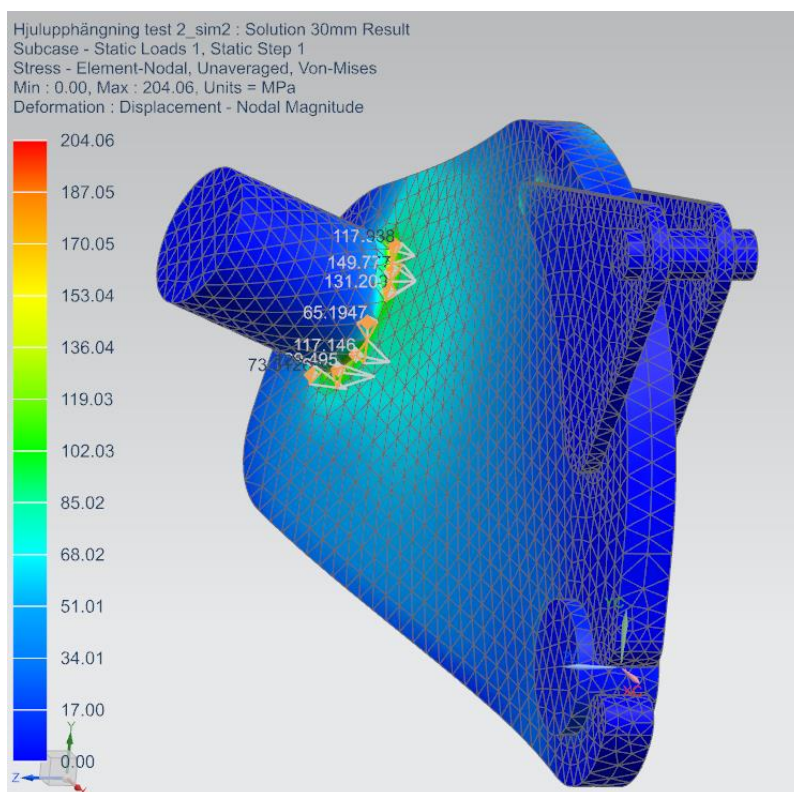
Eftersom konstruktionen med två cylindrar per sida kunde jag gå ner i dimensioneringen av cylindrarna. Cylindrarna är med 80 mm kolv, 40 mm stång och har en slaglängd på 300 mm. Detta ger vagnen möjlighet att vrida hjulnavet jämfört med axeln 90 grader och ger en höjdskillnad på 0,5 meter. Enligt beräknade cylinderkrafter från formel 1 och 2, klarade var och en cylinder av 90kN vilket räcker gott och väl till för vagnen när den är maximalt lastad. Cylindrarna skall även ha tryckackumulatorer som innebär att vagnen kommer att fjädra vid stötar på landsvägen. En tryckackumulator är en kraftreservoar som kan utjämna stötar vid belastning med trycket.

5.5.2 FEM-simulering av hjulupphängningsplåt

FEM-simulering blev utförd i programmet siemens NX för att kolla att hjulupphängningsplåten på 30 mm klarade av belastningen utan höga spänningar i materialet. Materialet testades både vertikalt och axiellt med 70kN last. Spänningarna som uppkom i materialet var inga kritiska vid lasten. Enligt Figur 24 uppkom en väldigt stor spänning runt cylindertappen men detta är inte verkligheten. För att simuleringen skulle fungera blev man tvungen att låsa tappen, men i verkligheten är cylindern fast i tappen med ett ledlager som gör att ingen kraft kommer till tappen med axiell kraft. Resten av spänningarna runt om var väldigt låga. I Figur 25 gjordes simuleringen med kraften i vertikal riktning uppåt, för att simulera spänningarna på stålplåten med last på vagnen. Endast minimala spänningar framkom också där, men större runt om där hjulnavet skall fast monteras. Spänningarna uppkom på grund av vassa kanter och med en ordentlig svetsfog till hjulnavet kommer dessa spänningar att minska. Resultatet av simuleringen var att 30 mm stålplåt var tillräckligt att använda sig av, och inget behov av att gå upp eller ner i ståltjocklek.



Figur 24. Simulering av hjulupphängning I axiell riktning.



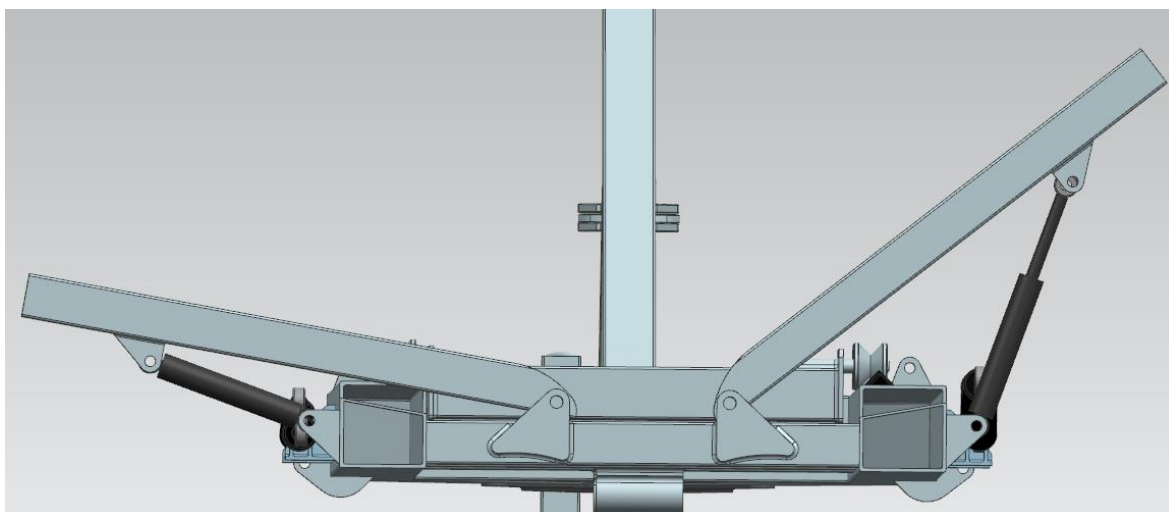
Figur 25. Simulering av hjulupphängning I vertikal riktning.

5.6 Sidostöd

Sidostöden har blivit modellerade för att hålla skrovet rakt på vagnen och göra det möjligt att justera bredden. Justeringsmån är en viktig detalj på vagnen eftersom den kommer att transportera båtar i olika slag från snipor till racingbåtar. Eftersom båtarnas skrov ser så

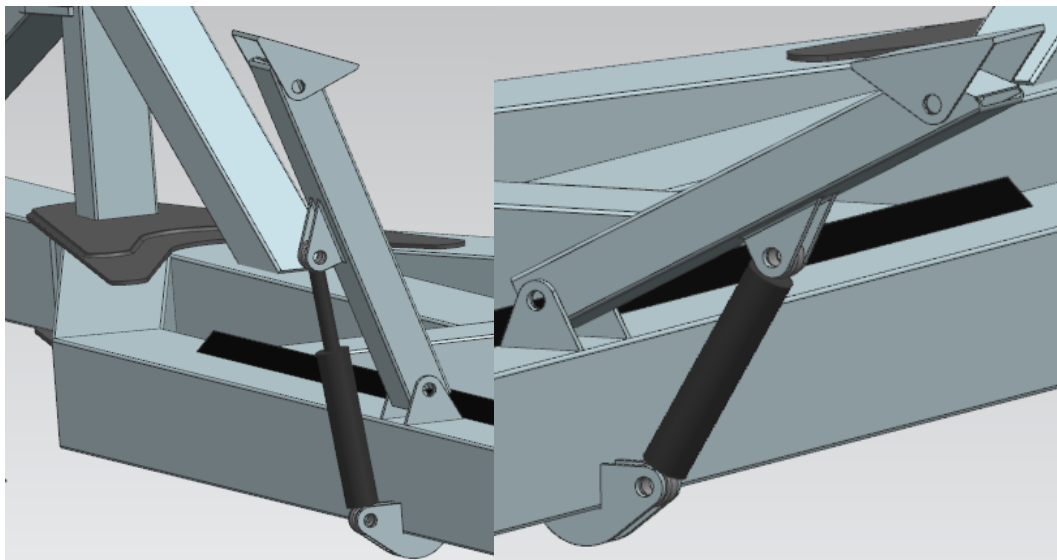
olika ut och har olika bredder trots de kan vara lika långa behövs en snabb justeringsmöjlighet av vagnen, för att få båtarnas skrov att passa.

Vagnen som jag har modellerat har fyra sidostöd med varsin cylinder monterad för att kunna justera dem hydrauliskt i sidled. Vagnen är konstruerad med två sidostöd längst bak på vagnen som har funktion att stöda upp båtarna direkt vid upptagning, på- och avställning. De bakre är då primära sättet att stöda upp båten. Eftersom kälken kommer att förflytta sig kommer inte de främre sidostöden alltid att nå skrovet på båtarna. De främre sidostöden är konstruerade ungefär på mitten av vagnen och har mest som funktion att hålla båten ännu stadigare vid transporter. När man transporterar båtarna på vagnen nås hastigheter upp till 50 km/h för en traktor och ifall en grop eller ett gupp kommer på vägen är det väldigt viktigt att båten står stadigt på vagnen. Sidostöden skall då vara perfekt justerade för båten för mest säkerhet vid transport.



Figur 26. Bakre sidostöden i lägsta och högsta läget.

De bakre sidostöden är två 1,5 meters 150 x 100 balkar med 5 mm väggar för att hålla upp skrovet i sidled baktill. Balkarna är fäst så långt till mitten av båten som möjligt för att få bättre skärning på V-formen eftersom man vill ha så mycket som möjligt av båtens skrov att luta mot balkarna. Sidstöden är även rundade mot mitten av vagnen för att göra en fin radie vid justering. Sidstöden kommer vara täckt med gummi runt om som på figur 2 för att inte göra skråmor mot skrovet. Fästena intill är utskurna med 10 mm plåt och rundade för bästa möjliga svetsfog för stark konstruktion. Stöden på figur 24 är justerade där högra sidan är i max läge och vänstra sidan i minsta möjliga vinkel.



Figur 27. Främre sidostöden i lägsta och högsta läget.

Främre sidostödets konstruktion är lite annorlunda jämfört med de bakre. Eftersom de bakre går enda till mitten av vagnens ram är det möjligt att ha gummi längs hela balken som skrovet stöder mot, men på främre stöden är det inte möjligt att ha dem mot mitten av ramen. Eftersom vaggan skall rulla längs med ramen långt fram förbi sidostöden var det inte möjligt att konstruera balkarna intill mitten. Ett lösningsförslag på detta var att konstruera stöden på kälken så att de förflyttar sig med kälken. Den idén blev slopad eftersom man i det fallet skulle behöva bygga en kabelrulle som drar in hydraulslangarna till cylindrarna på sidostöden eftersom den kan åka fram och till baka. I stället konstruerades mindre sidostöd med kortare balkar och ett vändbart stöd längst ut på balken enligt figur 25. Med detta stöd fyller funktionen att den lägger sig mot skrovet vid alla typer av skrovvinklar och håller skrovet stabilt vid transporter.

Främre sidostöden är modellerade med 120 x 80 mm balkar med 5 mm väggar. Dessa balkar är i stället mycket kortare på 690 mm eftersom de inte går enda till mitten av ramen. Cylinderfästen är konstruerade för optimal vinkel för justering av stöden. Även som bakstöden är fram sidostöden konstruerade för att få längre svetsfog och nedre cylinderfästen går även under ramen för bättre hållfasthet.

5.6.1 Sidostödscylinder

Cylindrarna för sidostöden är fyra likadana med 50 mm kolv, 30 mm stång och 150 mm slaglängd. Eftersom traktorns hydraultryck ligger på ungefär 180 bar räknades fram att cylindrarna enligt formel 1 och 2 har en skjutkraft på 35kN. Detta räcker gott och väl för att

justera båtens vinkel på vagnen då tyngden av båten ligger på ramen. Cylindern har koden HS5030150K från IKH och är en vanlig dubbelverkande cylinder.

6 Diskussion

Examensarbetet gjordes i uppdrag av Hydrolink för att få en nyare variant av en hydraulisk båtagn som är skonsammare för båtarna och mer användarvänlig. Den gamla vagnen som Hydrolink använder sig av i nuläget är mycket känslig för båtarna när så stor punktbelastning sker vid rullarna. Resultatet av den nya vagnen gjordes enligt uppdragsgivarens krav och önskemål samt mina egna funderingar och lösningar på konstruktioner. Den slutgiltiga modellen på vagnen blir mycket smidigare vid användning för personalen vid Hydrolink och betydligt hållbarare samt egenskapen att lyfta och transportera en aning större båtar.

Jag är mycket nöjd med funktionen och utseende av vagnens konstruktion. Bomstyrningen som blev konstruerad med två olika tappar var jag riktigt nöjd över eftersom konstruktionen blev mycket hållbarare och lättare byggd, plus att funktionen att bygga trappsteg upp till vinschen blev möjlig. För att lätt kunna gå upp på båtens för när den är på vagnen. Hjulupphängningen på vagnen blev en riktigt bra konstruktion tack vare egenskapen att köra med endast två hjul i marken med mindre båtar. Konstruktionen med långa hjulaxlar och en stödaxel var en mycket bra lösning för att motverka trycket vid krängning. Eftersom cylindrarna på hjulen har tryckackumulatorer kommer vagnen att gå mycket jämnare på ojämn väg i jämfört den gamla båtagnen.

Under examensarbetet har jag lärt mig mycket inom konstruktion och hur man går till väga med komponenter för att göra det både billigare och snabbare att tillverka. Jag har även lärt mig hur leverantörer för laserskurna och bockade material vill ha detaljritningarna för bästa resultatet.

Om jag hade börjat om och gjort arbetet från början hade jag nog gått en annan väg vid konstruktionen av båtagnen. Jag hade ändrat på ramen helt och hållet och gjort en stämgaform, liknande Slipway-trailern på figur 1. Den har inte någon bakre balk och i stället för sidostöden har vagnen cylindrar som trycker upp skrovet underifrån. Detta hade varit en ännu smidigare lösning, men eftersom den inte har någon bakre balk så kan den inte transporteras på landsväg och då borde någon typ av löstagbar bak balk konstrueras.

Med den konstruerade vagnen finns även möjligheten för vidareutveckling för bättre funktioner. Vid bomstyrningen kunde man göra trappsteg upp till vinschbommen för att enkelt kunna ta sig upp till en båt som är på vagnen. Kälken som är frirullande är även konstruerad för vidareutveckling av vinschvajer som skulle dra kälken i valfri riktning med hjälp av en hydraulmotor.

7 Litteraturförteckning

Carlson, K. (2004). *Entreprenörens ABC*. Vasa: Labyrinth Books Ab.

Fredriksen, P. (den 2 Januari 2013). *Powerandmotoryacht*. Hämtat från Vacuum resin infusion explained: Powerandmotoryacht.com

Hydrolink. (2022). *Hydrolink*. Hämtat från Hydrolink.com

Isaksson, O. (2017). *Grundläggande hydraulik*. Stockholm.

Plastex. (u.d.). *PE, polyeten*. Hämtat från www.Plastex.se

Proplate. (u.d.). Hämtat från www.proplate.se

Silva, L. d. (2013). *Simulering - FEM (Finita elementmetoden)*. Göteborg.

Svetskommissionen. (den 10 Juli 2019). Hämtat från Svets.se:
www.svets.se/kunskapsbanken/tekniskinfo/svetsning/svetsmetoder

Svetskommissionen. (den 10 Juli 2019). Hämtat från svets.se.

Trumpf. (2022).

Bilaga. Beräkning av cylinderkrafter.

Hydraulcylinderkrafter

Tryck: $p := 180 \text{ bar}$

Bomstyrnings cylinder $d_{kolv60} := 60 \text{ mm}$ $d_{stang30} := 30 \text{ mm}$

Hjulupphägnings cylinder $d_{kolv80} := 80 \text{ mm}$ $d_{stang40} := 40 \text{ mm}$

Sidostöds Cylinder $d_{kolv50} := 50 \text{ mm}$ $d_{stang30} := 30 \text{ mm}$

Bomstyrnings cylinder:

$$A_{kolv60} := \frac{\pi \cdot d_{kolv60}^2}{4} = 2827.433 \text{ mm}^2 \quad A_{stang30} := \frac{\pi \cdot d_{stang30}^2}{4} = 706.858 \text{ mm}^2$$

$$A_{drag} := A_{kolv60} - A_{stang30} = 2120.575 \text{ mm}^2$$

$$F_{skjut} := p \cdot A_{kolv60} = 50.894 \text{ kN} \quad F_{drag} := p \cdot A_{drag} = 38.17 \text{ kN}$$

$$m_{skjut} := \frac{F_{skjut}}{g} = 5189.723 \text{ kg} \quad m_{drag} := \frac{F_{drag}}{g} = 3892.293 \text{ kg}$$

Hjulupphägnings cylinder:

$$A_{kolv80} := \frac{\pi \cdot d_{kolv80}^2}{4} = 5026.548 \text{ mm}^2 \quad A_{stang40} := \frac{\pi \cdot d_{stang40}^2}{4} = 1256.637 \text{ mm}^2$$

$$A_{drag} := A_{kolv80} - A_{stang40} = 3769.911 \text{ mm}^2$$

$$F_{skjut} := p \cdot A_{kolv80} = 90.478 \text{ kN} \quad F_{drag} := p \cdot A_{drag} = 67.858 \text{ kN}$$

$$m_{skjut} := \frac{F_{skjut}}{g} = 9226.175 \text{ kg} \quad m_{drag} := \frac{F_{drag}}{g} = 6919.631 \text{ kg}$$

Sidostöds Cylinder:

$$A_{kolv50} := \frac{\pi \cdot d_{kolv50}^2}{4} = 1963.495 \text{ mm}^2 \quad A_{stang30} := \frac{\pi \cdot d_{stang30}^2}{4} = 706.858 \text{ mm}^2$$

$$A_{drag} := A_{kolv50} - A_{stang30} = 1256.637 \text{ mm}^2$$

$$F_{skjut} := p \cdot A_{kolv50} = 35.343 \text{ kN} \quad F_{drag} := p \cdot A_{drag} = 22.619 \text{ kN}$$

$$m_{skjut} := \frac{F_{skjut}}{g} = 3603.975 \text{ kg} \quad m_{drag} := \frac{F_{drag}}{g} = 2306.544 \text{ kg}$$