

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Maskinteknik

MARIN KONSTRUKTION

- Multifunktionell katamaranflotte

Mathias Grönholm, Viktor Sjuls



2022:07

Datum för godkännande: 13.05.2022
Handledare: Mats Åsgård

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Mathias Grönholm, Viktor Sjuls
Arbetets namn:	Marin konstruktion - multifunktionell katamaranflotte
Handledare:	Mats Åsgård
Uppdragsgivare:	

Abstrakt

I detta examensarbete redogör vi för en variant av multifunktionell flotte som kan användas som bastubåt, arbetsbåt eller frakt, med längden 7,5 meter och bredden 4,5 meter. Skrovet byggs upp med en katamarandesign och flytelementen görs i aluminium och förbinds med transversella träbalkar. Totala skrovvikten ligger runt 2,2 ton beroende på applikation.

Inkluderat i arbetet är hållfasthets- och stabilitetsberäkningar, materialval, alternativ framdrift och kostnadskalkyler för materialet. I arbetet tillämpas fartygstekniska teorier med beräkningar och analyser som har sin grund i facklitteratur och simuleringar. m.h.a. datorprogram.

Vår slutsats är bl.a. att det inte riktigt är ekonomiskt försvarbart att konstruera skrovet i aluminium då det inte rör sig om stora framdrivningshastigheter, utan stål, eventuellt plast om man köper färdiga moduler, skulle varit ett bättre alternativ. Det var ändå en intressant frågeställning att se på detta då aluminium är så pass mycket lättare än stål.

Nyckelord (sökord)

Flytbarhet, konstruktion, kostnadskalkyl, katamaran, propulsion, pråm, flotte, hållfasthet, skrovkonstruktion, regelverk, arbetsbåt, bastubåt

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2022:07	1458-1531	Svenska	60 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
22.04.2022	13.05.2022	13.05.2022

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Degree Programme:	Bachelor of Engineering
Author:	Mathias Grönholm, Viktor Sjuls
Title:	Marine Design - Multifunctional Catamaran Raft
Academic Supervisor:	Mats Åsgård
Commissioned by:	

Abstract

In this thesis, we account for a variant of multifunctional catamaran raft that can be used as a sauna boat, work boat or general cargo, with a length of 7,5 meters and a width of 4,5 meters. The hull is built as a catamaran and the floating elements are made from aluminum which are connected with transverse wooden beams. The total hull weight lies around 2,2 metric tons depending on the application.

Included in the work are strength- and stability calculations, material selection, alternative propulsion and cost calculations for the materials. The work applies theories of ship technology with calculations and analyzes that are based on computer simulations.

Our conclusion is partly that it is not really economically tenable to construct the hull in aluminum as it is not about high propulsion speeds, but steel, possibly plastic if you buy ready-made modules, would have been a better alternative. It was still an interesting framing of a question to look at, as aluminum is much lighter than steel.

Keywords

Mobility, construction, cost calculation, catamaran, propulsion, barge, strength, hull construction, regulations, work boat, sauna boat

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2022:07	1458-1531	Swedish	60 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved:
22.04.2022	13.05.2022	13.05.2022

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ORDLISTA	7
1. INLEDNING	8
1.1 Motiv för ämnesvalet	8
1.2 Syfte med arbetet	8
1.3 Frågeställningar och hypoteser	8
1.4 Materialbeskrivning	9
1.5 Metodredovisning	9
1.6 Avgränsningar	9
2. REGELVERK	10
2.1 Nationella regelverk	10
2.1.1 Skyldighet att registrera en farkost	10
2.1.2 Landskapslag om vattenfarkoster	10
2.1.3 Lag om fartygs tekniska säkerhet och säker drift av fartyg	10
2.1.4 Lag om hyresbåt	11
2.1.5 IMO - säkerhet och miljöstandarder på passagerarfartyg	11
2.1.6 Bygglov	11
2.2 Internationella (DNV) Det Norske Veritas	12
2.2.1 Trim och stabilitetskrav	12
2.2.2 Materialval	12
2.2.3 Designlaster och hållfasthetskrav	13
3. DESIGN	14
3.1 Skrov	14
3.1.1 Flytelement	14
3.1.1.1 Stål	14
3.1.1.2 Plast	15
3.1.1.3 Aluminium	15
3.1.2 Tvärbalkar	15
3.2 Däcket	16
3.3 Kran	17
3.4 Bastudesign & konstruktion	17
3.4.1 Materialval	17
3.4.2 Layout	17
3.4.3 Bastuugn	18
3.4.4 Bastu innerdimensioner	18
3.4.5 Tak/däck	19
3.4.5.1 Yttertak	20
3.4.5.2 Takbalk	20

3.4.6 Väggar	21
3.4.6.1 Väggreglar	21
3.4.6.2 Isolering	21
4. STABILITET	22
4.1 Allmänt	22
4.1.1 Hydrostatisk data	22
4.1.2 Metacenterhöjd	23
4.1.3 COF	24
4.1.4 GZ	24
4.1.5 Rätande momentet	26
4.2 Intakt stabilitet	27
4.2.1 Bastu	27
4.2.2 Kran	28
4.3 Läckstabilitet	30
5. KONSTRUKTION	32
5.1 Flytelement	32
5.2 Tvärbalkar och förstävningar	34
5.3 Kranfundament	37
6. HÅLLFASTHET	40
6.1 Plåttjocklek	40
6.2 Stressimulering	40
6.2.1 Ponton	41
6.2.2 Skrov	43
6.2.3 Träbalkar	43
6.2.3 Kranfundament	45
7. PROPULSION	48
7.1 Val av utrustning	48
7.2 Effektberäkningar	49
7.2.1 Våglängd	49
7.2.2 Vindmotstånd	50
7.2.3 Vattenmotstånd	50
7.2.4 Totalmotstånd	51
7.2.5 Eldrift	51
7.3 Resultat	52
8. EKONOMI	53
8.1 Skrov	53
8.2 Kran	53
8.3 Bastu	53

8.4 Propulsion	54
8.5 Tillbehör	54
SLUTSATS	55
SPECIFIKATION	56
Allmänt	56
Huvuddimensioner, dödvikt och lättvikt	56
KÄLLFÖRTECKNING/REFERENCE LIST	57
BILAGOR/APPENDICES	60

ORDLISTA

K = Köllinje

B = Buoyancy (volymcentrum)

G = Tyngdpunkt

GZ = Rätande momentarm

M_0 = Metacenterhöjd

M = Moment

SB = Styrbord

BM = Metacenterradien

GM = Metacenterhöjden, vertikala avståndet mellan tyngdpunkten och metacentrum

VCG = Vertical center of gravity, (vertikalt tyngdpunktsläge, KG)

LCG = Longitudinal center of gravity, (longitudinellt tyngdpunktsläge)

TCG = Transversal center of gravity (transversalt tyngdpunktsläge)

COG = Center of gravity (tyngdpunktens 3-D läge)

COB = Center of buoyancy (volympunktens 3-D läge)

FEM = Finite element method-analysis, Finita elementmetod-analys

LW = Light weight, (lättvikt)

L/2 = Centerlinjen av längden

B/2 = Centerlinjen av bredden

TP = Tyngdpunkt

L/B_{WL} = Length/breadth water line, längd/bredd vattenlinje

BB = Babord

MF/MA = Mitten för/aktra

WT = Water Tight (vattentät)

Longitudinal = Förstyvning, långskeppsspant

Transversal = Förstyvning, tvärskeppsspant

f = Fribord (höjd från vattenyta till väderdäck)

dm = Djupgående (höjd från vattenytan till djupaste punkt av skrovet)

DWL = Design waterline, konstruktionsvattenlinje

Even keel = 0° trim & slagsida

1. INLEDNING

I detta examensarbetet undersöker vi, teoretiskt från grunden, hur vi kan gå tillväga för att designa och konstruera en katamaranflotte som kan användas till diverse olika ändamål.

1.1 Motiv för ämnesvalet

Syftet med detta examensarbetet är att närmare fördjupa sig i konstruktion av en flytande vattenfarkost, i detta fall en flotte av katamarandesign för multifunktionellt syfte. Detta var ett intressant ämnesområde då stabilitet och hållfasthet ingår i våra ämnesval av studier. Materialval med avseende på hållfasthet, vikt, dimensioner och ekonomi är i fokus. Vi fördjupar oss även i CAD-program, 3D-ritning, datorsimuleringar och regelverk för flytande farkoster.

1.2 Syfte med arbetet

Syftet med arbetet är bl.a. att undersöka om det är ekonomiskt försvarbart att själv konstruera och bygga en multifunktionell flotte för eget bruk, alternativt försäljning eller uthyrning av skrovet med egen framdrift, med vissa förhållningar till Det Norske Veritas klassningssällskaps regler.

Då vår utbildning är inriktad på sjöfart tycker vi det är intressant att undersöka en vattenfarkostkonstruktion med avseende på hållfasthet, flytbarhet och stabilitet. Då bastu i Finland är populärt och de flesta stugägare vill ha bastu är det intressant att undersöka om skrovet även kan tillämpas för en flytande bastu med stabilitet för 12 personer så väl som endast öppen däcksyta för transport av material samt en variant med en kranapplikation.

1.3 Frågeställningar och hypoteser

- Det är lätt att överdimensionera och få det att fungera men då stiger oftast även kostnaderna. Kan vi optimera dimensionerna och få det att fungera lika bra eller bättre?

- Ett katamaranskrov är stabilt och relativt svårt att få att tippa över, men vilka dimensioner krävs med olika lastfall för att trim och slagsida skall hållas inom rimliga gränser?
- Aluminium är ett relativt dyrt konstruktionsmaterial men kan det löna sig att använda det framför stål som väger nästan tre gånger mera?

1.4 Materialbeskrivning

Det finns relativt mycket material till hands på internet samt studiematerial vi använt oss av i kurserna under studierna. Vi har hållit oss till sådant material som vi anser vara pålitliga, t.ex. slutarbeten, kursmaterial, artiklar och lagtext från Trafik samt DNV.

1.5 Metodredovisning

Autodesk Inventor används för att framställa 3D-modeller som sedan använts för att laborera fram mätvärden. Mätvärden såsom slagsida och trim undersökt direkt samt analys av undervattenskroppen för olika lastfall. Inventor används även för FEM-analyser som hjälpmedel för att undersöka hållfastheten på skrovet och skrovkomponenter. Autodesk AutoCAD används för 2D-ritning, t.ex. genom att visa mått och dimensioner. Microsoft Excel används för att utföra manuella handberäkningar, till ekonomiska kalkyler och som trim- och stabilitetsprogram för att få fram ungefärliga dimensioner att utgå ifrån. De teoretiska formlerna tas från facklitteratur och betrodda källor från internet samt DNV regelverk.

1.6 Avgränsningar

Eftersom utbildningens inriktning är maskinteknik och sjöfart fokuserar vi på relevanta områden såsom stabilitet inkl. läckstabilitet, hållfasthet och konstruktion samt framdrift. Vi avgränsar oss från byggtkniska specifika områden och praktiska detaljer samt fullständiga konstruktionsritningar i detta arbete.

2. REGELVERK

Här undersöker vi vilka regelverk och lagar som kan tillämpas på en flotte/vattenfarkost. Detta är betydande då redan landskapslagen på Åland skiljer sig en del från den finska lagstiftningen. Vi undersöker hur lagstiftningen ser ut i Finland samt Åland och även tittat på vad DNV säger om “decked crafts” flytetyg under 24 meters längd.

2.1 Nationella regelverk

2.1.1 Skyldighet att registrera en farkost

“En farkost med motor, vars effekt enligt motortillverkarens uppgift är minst 15 kilowatt, samt en farkost med motor eller segel, vars skrovlängd enligt tillverkarens uppgift är minst 5,5 meter, ska registreras.” (Finlex, 2019)

Beroende på om vi vill ha en motor över 15 kW för propulsion på flotten kommer denna lag att tillämpas och den måste registreras i Finland då längden kommer att vara över 5,5 meter.

2.1.2 Landskapslag om vattenfarkoster

“En vattenfarkost vars ägare har sin hemkommun i landskapet, och vilken används i landskapet, ska på ägarens anmälan registreras i Ålands vattenfarkostregister om det är fråga om en vattenfarkost med utombordsmotor vars effekt enligt tillverkarens uppgift överstiger 115 kilowatt” (ÅFS, 2017)

På ett område där Landskapslagen verkar behövs inte registrering flotten, i alla fall inte på grund av motorn som bidrar med propulsion.

2.1.3 Lag om fartygs tekniska säkerhet och säker drift av fartyg

“Passagerarfartyg som används för handelssjöfart och medför fler än tolv passagerare; med passagerare avses alla personer med undantag av fartygets befälhavare och besättningsmedlemmarna eller andra personer som i någon egenskap är anställda eller sysselsatta ombord på ett fartyg för det fartygets behov eller barn under ett år” (Finlex, 2009)

Eftersom vi har ett max passagerarantal på tolv (12) personer klassas vårt farkost ej som ett passagerarfartyg i den finländska lagstiftningen.

2.1.4 Lag om hyresbåt

“Enligt sjötrafiklagen är en hyresbåt en farkost som hyrs ut för sport- och fritidsändamål bemannad, som i annan än reguljär trafik medför högst 12 passagerare. Med hyresbåtar avses inte segelbåtar med skrov vars längd enligt tillverkarens uppgift är under 5,5 m eller båtar med motor vars effekt enligt motortillverkarens uppgift är under 15 kW och skrov vars längd enligt tillverkarens uppgift är under 5,5 meter. Med hyresbåtar avses inte heller vattenskotrar eller roddbåtar.” (Traficom, 2021b)

Vår farkost kommer betraktas som en hyresbåt i uthyrningssyfte, med tanke på bastukonfigurationen.

2.1.5 IMO - säkerhet och miljöstandarder på passagerarfartyg

“The SOLAS treaty applies to passenger ships carrying more than 12 passengers on international voyages. But IMO has also been working with countries to address the safety of so-called non-SOLAS ships, including developing model legislation and guidance.” (IMO, n.d.)

Eftersom vårt flytetyg ej går på internationell rutt samt understiger tolv (12) passagerare klassas det ej heller av SOLAS som ett passagerarfartyg.

2.1.6 Bygglov

Bastuflotten är lite speciell på så vis att den kan vara registrerad i ett vattenfarkostregister men det är möjligt att det kommer tillämpas allmänna byggnadsdirektiv på konstruktionen. Det finns alltså skäl att vara i kontakt med den lokala byggnadsinspektionen (Traficom, 2021a).

I en artikel från A-lehdet publicerad 2.7.2021 kan läsas att ämnet om bygglov för bastuflotte till och med tagits upp i högsta förvaltningsdomstolen i Finland. Enligt beslutet från högsta förvaltningsdomstolen lyder deras tolkning av lagen för fallet att fastän bastuflotten hade två stycken utombordsmotorer samt att den var registrerad i vattenfarkostregistret så ansågs det att den används i huvudsak som en bastu och att den största delen av tiden var förtöjd vid stranden. Detta ledde till att högsta förvaltningsdomstolen beslöt att bastuflotten måste avlägsnas från tomtens strand. Detta är något som bör tas i beaktande vid ägande eller byggnation av en större marin konstruktion som kan ha en inverkan på den lokala marina miljön samt att bygglovs direktiv kan skilja mellan olika kommuner (Ranta-Aho, 2021).

2.2 Internationella (DNV) Det Norske Veritas

Det Norske Veritas, som förkortas DNV, är ett norskt företag som verkar i klassning och certifiering av fartyg. Företaget är ett världsledande klassningssällskap, grundat 1864 (*Det Norske Veritas*, n.d.).

Det finns förstås en uppsjö med regelverk i sjöfarten inom alla områden. Det är bortom all rimlighet att beakta alla dessa klasser i vårt arbete så vi har valt att plocka ut de regelverk och formler vi anser är rimligt och uppnåeligt med vår konstruktion enligt DNV:s krav om “decked crafts” med längden $6 < L < 24$ m (DnvgI As, 7.2016).

2.2.1 Trim och stabilitetskrav

- Konstruktioner med längd $6 < L < 15$ m skall normalt sett ha 2 vattentäta skott. Vi har valt 3 st WT-skott för varje ponton för att med marginal klara av en skada på en av avdelningarna.
- Fribord, inget mindre än 200 mm vid intakt förhållande.
- Rätande momentarm (GZ) vid 30° skall vara minst 0,2 m.
- Slagsidan skall inte under något förhållande nå en vinkel över 10° då alla passagerare (à 82,5 kg) står på någon sida av farkosten med tyngdpunkten placerad 1 m ovan däck längs med relingen.
- Krängningsvinkeln skall inte överstiga 10° vid ett lyftmomentet med kran eller vinsch och en dynamisk faktor på 1,4 på det krängande momentet skall användas som inkluderar effekten från vind och vågor.

2.2.2 Materialval

- Aluminium av klasserna 5000 - 6000-serien kan användas. Vi har valt klassen 6082-T6 som är en av de vanligaste “marinaluminium” inom klassen med god svetsbarhet och korrosionsbeständighet, samma används för alla aluminiumdelar.
- Vid val av flytande material, t.ex. skumfyllda pontoner för att undvika läckstabilitetsproblem vid en skrovskada, skall vattenabsorptionen i materialet inte överstiga 8% av volymen i nedsänkt tillstånd under 8 dagar. Detta kan med fördel användas men vi har valt att undersöka farkosten utan skumfyllda pontoner.

- Konstruktionsvirket, som vi använder som en del av skrovet, skall tåla den marina miljön. Tryckimpregnerat virke anser vi är lämpligt.

2.2.3 Designlaster och hållfasthetskrav

- För de longitudinella hållfasthetskraven gäller att det böjande momenten ej skall räknas mindre än 100 kNm eller

$$M = 0,016 \cdot L_{WL}^3 \cdot B_{WL} \text{ [kNm]}$$

Då 100 kNm överstiger det beräknade med våra dimensioner väljer vi 100 kNm.

- Minsta plåttjocklek för aluminium beräknas utgående från DNV:s krav, som undersöks närmare under "Hållfasthet".
- Lokala förstärkningar vid t.ex. en kran skall vara förstärkta och krafter från kranen skall multipliceras med en faktor av 1,4 (Dnvg1 As, 7.2016).

3. DESIGN

Här tittar vi på alternativ och olika möjligheter till att konstruera och komma till slutdestinationen med våra tankar kring konstruktionen. Denna del kommer bli en mer allmän del av konstruktionen, på samma sätt vi jobbat oss fram i projektet. När sedan layout och design är bestämt, kan detta fortsättas under "Konstruktion" för att närmare bestämma dimensioner och materialval med fokus på bl.a. hållfasthet och massor, för att se i stort vad som lönar sig om det är möjligt att minska materialdimensioner genom en högre hållfasthetsklass.

3.1 Skrov

Här tas en närmare titt på flottens del av designen ända upp till däcksytan. Här är det värt att notera att vi utgick från bastuns design för att få reda på huvuddimensioner för att klara av detta "lastfall" med maximalt antal passagerare. De övriga lastfallen med kran använder sig av samma skrovdessign men t.ex. däcksmaterial samt vissa tillämpningar och lokala förstärkningar kan skilja sig. Vi tar en närmare titt på dessa nedan.

3.1.1 Flytelement

Det finns ett antal olika alternativ när det kommer till flytkropparna under vattnet. Det som finns att beakta är livslängden i den marina miljön i östersjön, densiteten och priset på materialet, underhåll, bygga själv eller köpa färdiga och möjlighet att reparera i framtiden ifall skada uppstått vid grundstötningar.

Vi har valt att designa skrovet som en katamaran för att få bra stabilitet då flytkraften ligger långt ut från centrum samt lägre framdrivningsmotstånd i vattnet jämfört med en konventionell pråm-konstruktion med boxform.

3.1.1.1 Stål

Då miljön i vattnet är ganska aggressiv, speciellt om det ligger i bräckt vatten som i Östersjön, blir livslängden på stål ganska kort utan anodisering och ytbehandling med korrosionsförhindrande medel. Det är även tungt så djupgåendet kommer därmed bli större

med samma dimension på pontonerna. Nackdelen med stål är densiteten som ligger nära 8 t/m³ men är i sin tur billigare än plast och aluminium per viktenhet.

3.1.1.2 Plast

Ett annat alternativ är polyeten-plast som är vanligt idag. Det är en form av lågdensitetsplast med lång livslängd. Materialet suger inte åt sig fukt så flytkraften hålls konstant samt är motståndskraftig för UV-strålning från solen. Nackdelen är att det kan vara svårt att reparera skador själv. Det är svårt att tillverka något eget i plast så i detta fall lönar det sig att köpa färdiga flytelement i plast.

3.1.1.3 Aluminium

Vi har valt att dimensionera flytelementen i aluminium. Orsaken till det är att det är lättare än stål så mindre material behövs samt tål den marina miljön bra. Aluminium är nästan tre gånger tyngre än plast men då vi valt att konstruera och designa flytelementen själva faller plastalternativet bort. För framdrivningens skull är det även lämpligt att designa fören på pontonerna så hydrodynamiskt som möjligt med en avfasning även fast det inte rör sig om höga hastigheter i detta fall.

Vi väljer att designa pontonerna med vanliga platta bordläggningsskivor utan någon speciell skrovform (med egen produktion i åtanke), antingen rektangulärt eller kvadriskt tvärsnitt. Någon form av förstävning och vattentäta sektioner skall tilläggas, för att klara av en grundstötning. Noggrannare konstruktion av dessa tas upp i senare kapitel under stabilitet och konstruktion.

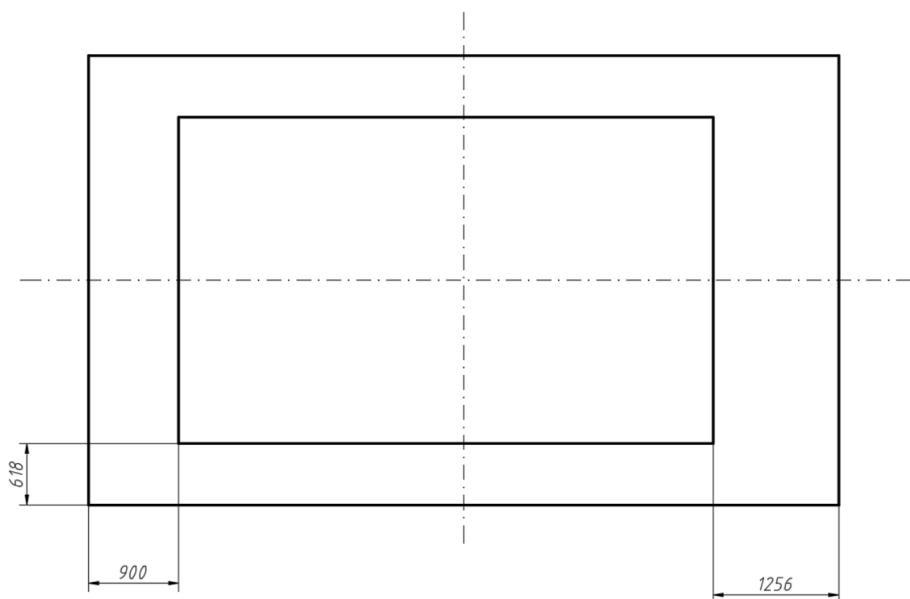
3.1.2 Tvärbalkar

Dessa förenar flytelementen och blir en del av skrovet. Vi har valt att dimensionera dessa i tryckimpregnerat trä för att hålla ner massan och priset men ändå att vi klarar hållfastheten för våra olika lastfall. Vi får heller inga problem med galvaniska strömmar då det ej finns direkt kontakt mellan aluminium och stål. Detta bör tänkas på ifall tvärbalkarna skulle vara av stål. Närmare konstruktion och dimensionering av dessa tas upp under konstruktion och hållfasthet. Förstävningar och krysstag mellan pontoner och tvärbalkar konstruerar vi i ett senare skede på lämpligt sätt utgående hållfastheten på de material vi väljer samt krav som DNV ställer.

3.2 Däcket

För "bastufallet" då passagerarna skall kunna vistas på däckets för att sola, bada och förtöja farkosten skall det finnas en viss yta i fören och aktern men även på sidorna om bastun. Detta måste även beaktas med avseende på stabiliteten på hela konstruktionen, vilket mer detaljerat tas upp i ett senare skede. Beroende på var bastun placeras på flotten och hur lång och bred flotten är kommer stabiliteten påverkas.

Vi anser att däcksyta, se figur 1 nedan, på sidan av bastun och omklädningsrummet inte behöver vara bredare än 0,6 m då det är ett område man ej vistas på under längre tid utan främst för att ta sig fram på. Avståndet akter- och förom överbyggnaden anser vi räcker om det har längden runt ca 1 m, se figur 1 nedan. Detta medför att totala längden och bredden på däckets blir 7,5 x 4,5 m. Däcksyta att röra sig på runt om bastun blir ca 16 m² och som material har valts standard tryckimpregnerat trallvirke. Utgående från dessa mått kan närmare konstruktion börja undersökas och studeras ifall det räcker till med avseende på främst stabiliteten.



Figur 1. Däcksyta runt bastun.

För andra lastfall med kran är det lämpligt att laga däckets av durkplåt i stål ovanpå träbalkarna för att få det mera robust och användbart i arbetssyfte.

3.3 Kran

Här tas en närmare titt på kranapplikationen. En hydraulisk kran som blir placerad mitt på flotten är tänkt att kunna användas för diverse lyftjobb. Kranfundamentet undersöks närmare under konstruktion och hållfasthet. Val av kran utreds i ett senare skede då vi varken vill överdimensionera eller underdimensionera den för flotten med gällande DNV regelverk för “decked crafts” i kombination med vår stabilitet.

3.4 Bastudesign & konstruktion

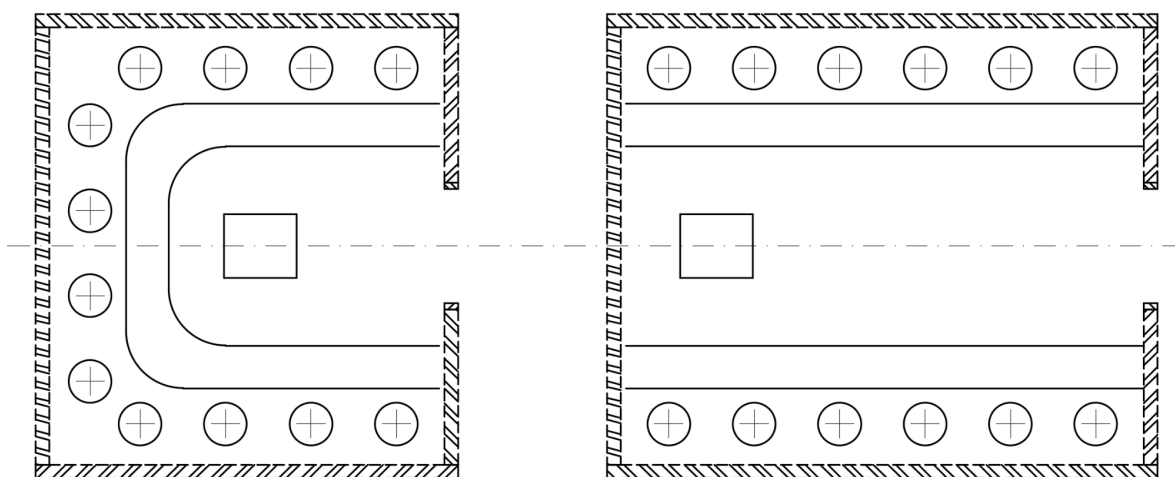
Här tas en närmare titt på själva bastubyggnadens design som placeras med en överbyggnad på skrovet. 12 personer skall rymmas in samtidigt i bastun eller ovanpå bastun, där det designas en terrass. Vi undersöker vilka massor det handlar om samt tyngdpunkternas fördelning för konstruktionens lättvikt och passagerare. Resultatet av detta lastfall presenteras i nästa huvudkapitel, “Stabilitet”.

3.4.1 Materialval

För att kunna realisera detta projekt både byggnadsmässigt och ekonomiskt är trä det mest relevanta för konstruktionen ovan vattnet för de bärande konstruktionsdelarna. Då byggteknik ej implementeras i vår utbildning har vissa antagen gjorts samt diskussioner med byggmästare och allmänna tips för att ha något att utgå ifrån och för att inte göra konstruktionen osäker att vistas på. I ett senare skede utreder vi närmare den bärande konstruktionen med avseende på hållfasthet för att inte göra fel antaganden och eventuellt riskera liv. Grunden för dessa beräkningar används även till träkonstruktionen av skrovet.

3.4.2 Layout

För att bastun skall rymma alla 12 personer samtidigt undersökte vi följande layouter: “parallell” eller “U” -layout, se figur 2 nedan. Parallell-layouten är bättre med tanke på tyngdfördelningen i alla led men den kräver en betydligt större yta än U-layouten, varför vi väljer U-layouten.



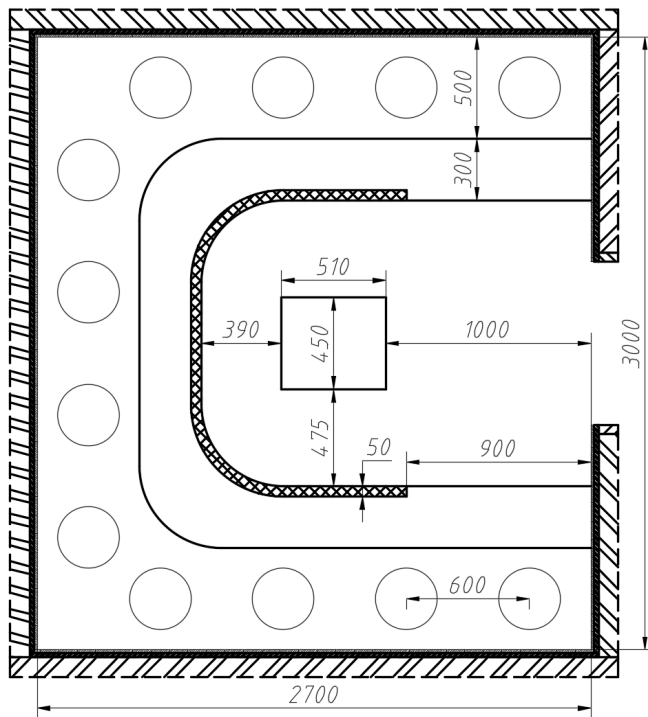
Figur 2. Bastulayout: "U-layout" till vänster och "Parallell-layout" till höger, med sittplatserna markerade.

3.4.3 Bastuugn

Då vi approximerat vilken volym bastun skulle få så bestämde vi oss för en bastuugn och började jobba oss utåt därifrån. Vi valde att använda oss av en vedeldad Harvia Linear 22 bastuugn med specifikationerna: effekt 26,1 kW, bastuvolym 8-22 m³, höjd 770 mm, bredd 450 mm och djup 510 mm. Då inga extra skydd används kräver denna ett minimi säkerhetsavstånd till brännbart material: bakåt 380 mm, åt sidorna 400 mm och framåt 500 mm (Harvia Oy, 2018).

3.4.4 Bastu innerdimensioner

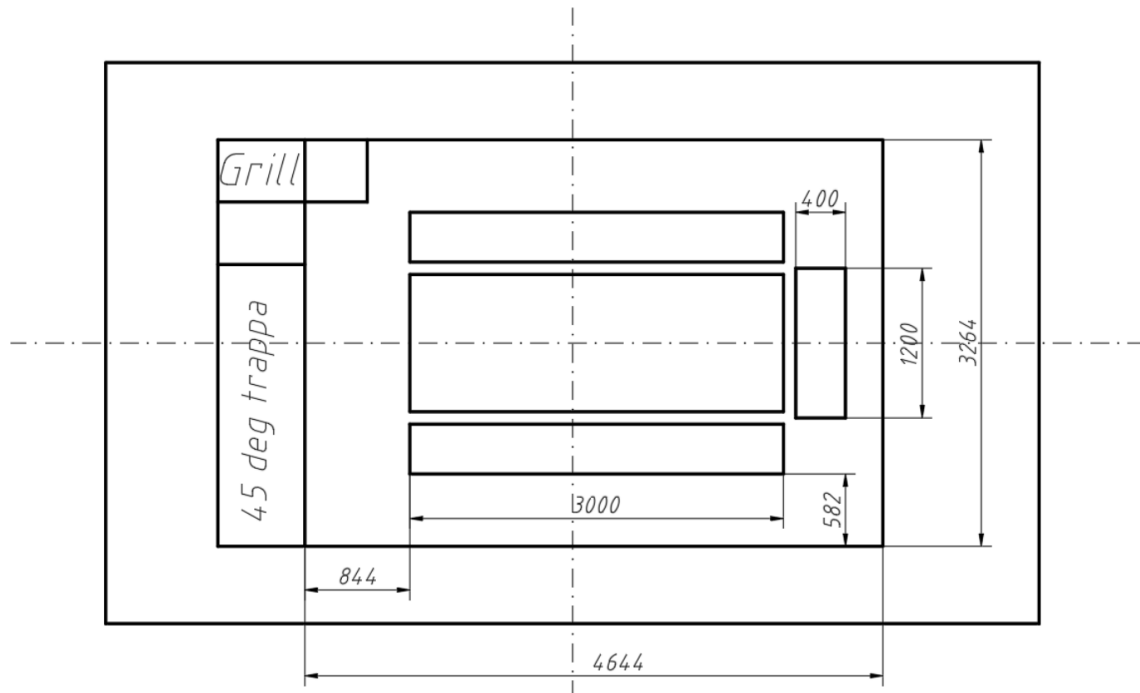
Varje person beräknas behöva 600 mm utrymme, i sidled, på bastulaven för att det inte skall bli för trångt, detta var huvudkriteriet att uppfylla. Bastulaven man sitter på är 500 mm djup vilket skall räcka bra fast bastun är fullsatt. Fotyten är 300 mm djup vilket skall räcka bra till för att röra på sig. Skyddsräcket så att man ej trillar ner från bastulave är som bredast 50 mm högst upp samt där det är fäst, detta anser vi ej att påverka ytan att röra sig på. När detta ritats upp i Autocad i rätta dimensioner kan vi konstatera att säkerhetsavstånden till bastuugnen uppfylls med marginal. Mellan framsidan på bastuugnen och bastuns vägg (dörr) lämnades 1 m avstånd för att ha tillräckligt med utrymme att sköta om eldstaden, se figur 3 nedan (Rakentaja, 2012).



Figur 3. Bastuns innerdimensioner.

3.4.5 Tak/däck

Då bastuns design i grova drag var bestämd kunde "takterrassens" design börja. Även på takterrassen skall det kunna vistas 12 personer samtidigt. Terrassen är tänkt för att alla skall kunna sitta runt ett långbord och äta och grilla inklusive rörelseyta så man lätt kommer åt att gå bakom bänkarna, så måste terrassen förlängas med en överhängande yta. Vi bestämde oss sedan för att utnyttja denna yta under taköverhänget framför bastun till ett omklädningsrum och navigationsutrymme till framdrivningen då det annars skulle bli en "skuggyta" för de som vill sola på däck. Med resonliga marginaler runt bänkar och bord och plats för grill bestämdes takterrassens yta till ca 15 m², se figur 4 nedan.



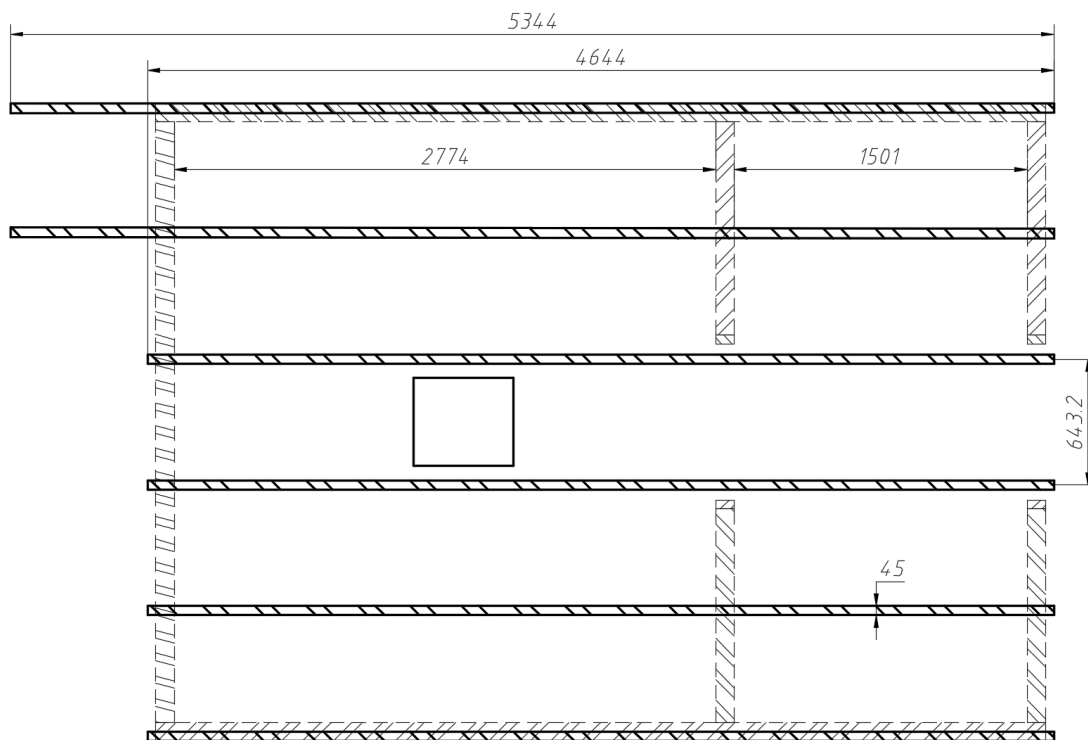
Figur 4. Terrassens design och dimension.

3.4.5.1 Yttertak

Som takets ytmaterial används helt vanliga takfilt. Den är lätt och hållbar. Under filten har vi valt att använda WISA-Kate Plus fanérskivor. Dessa fördelar massan jämnt över takbalkarna. Skivan är behandlad med mögelskydd (UPM Plywood, n.d.).

3.4.5.2 Takbalk

För att bära upp taket samt terrassen på det används raka takbalkar med dimensionerna 45 x 195 av hållfasthetsklass C24. Största spännvidden blir från bakväggen till mellanväggen (omklädningsrummet), se figur 5 nedan.



Figur 5. Takbalkarnas placering.

3.4.6 Väggar

Innerpanelen i bastun och ytterpanelen på utsidan bestäms till standardmaterial. När huvuddesignen är bestämd kan mer ingående detaljer om konstruktionen börja utredas. Detta för att kunna hyfsat ingående bestämma vikter och tyngdpunkter för den marina konstruktionen med en bastuöverbyggnad på skrovet.

3.4.6.1 Väggreglar

Väggreglarna, hammarbanden samt syllen är konstruerade av 45 x 95 mm träbjälkar av hållfasthetsklass C24.

3.4.6.2 Isolering

Som isolering har vi valt att använda Finnfoam. Finnfoam är extruderad polystyren, kallas även XPS värmeisolering, som är en helt sluten cellstruktur. Detta ger en fördel i och med att det ej behövs ett skilt ångspärr:s eller vindskyddslager. FF-PIR modellen är lämplig för användning i fuktig och varm bastumiljö enligt tillverkaren. Finnfoam används även som isolering i taket (Finnfoam Oy, n.d.).

4. STABILITET

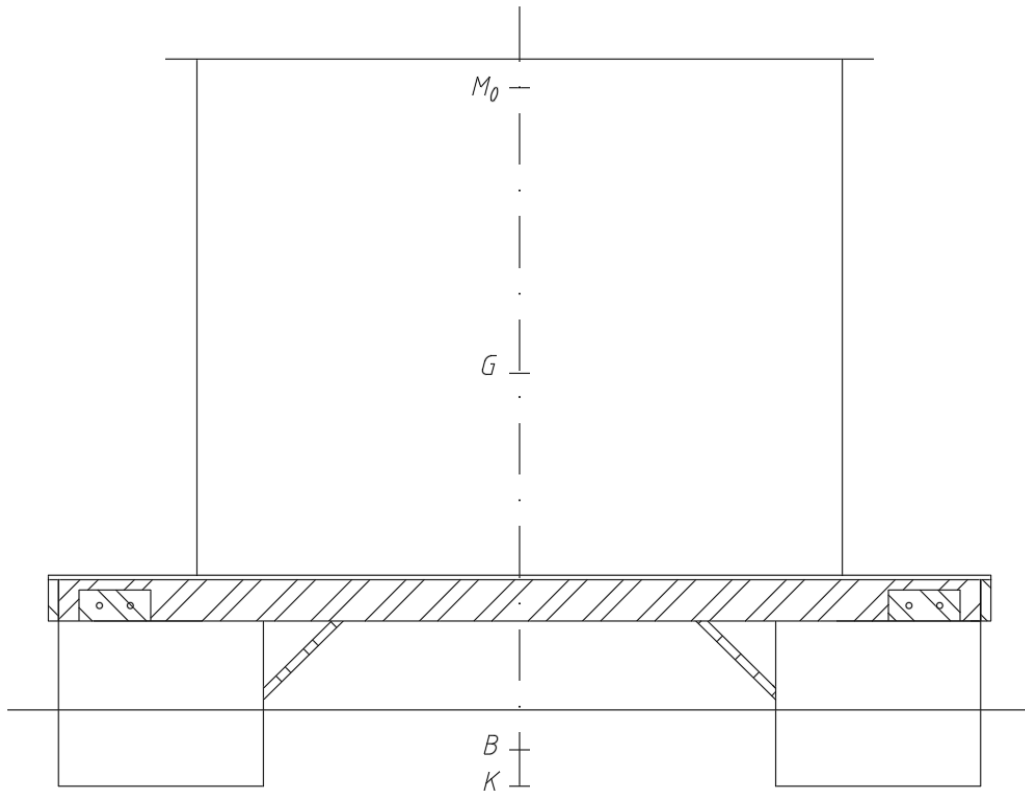
Ett fartygs stabilitetsdata finns specificerat i hydrostatiska tabeller och kan implementeras i datorer med avancerade simuleringsprogram. Då vi konstruerar detta från grunden måste vi ta reda på relevanta data själv med hjälp av volym- och viktsimuleringar från datorprogram och med beräkningar föra in det i tabeller. Vi har huvudsakligen använt oss av Inventor, AutoCad samt Excel för datainsamling och facklitteratur för beräkningsgrunderna.

4.1 Allmänt

Då vi konstruerar ett katamaranskrov är det önskvärt att en pontons totala undanträngda displacement i nedsänkt tillstånd åtminstone skall motsvara hela konstruktionens massa, för att ha tillräckligt mycket flytkraft vid en slagsida samt klara av ett fribord på 200 mm. Vi undersöker initialstabiliteten med och utan last samt läckstabilitet vid en eventuell grundstötning för “bastu-fallet” med alla passagerare på terrassen där tyngdpunkten är mest ofördelaktig. Vi ser vad DNV ställer för stabilitetskrav på “decked crafts” och försöker uppfylla några av dessa, som nämns tidigare under regelverk. Maximala värdet för GZ skall inte uppträda före krängningsvinkeln 25° . Detta visade sig vara nära omöjligt att uppnå med vår farkost och enligt litteratur är det ovanligt att ett katamaranskrov klarar detta (om inte tyngdpunkten ligger väldigt lågt).

4.1.1 Hydrostatisk data

COB beskriver fartygets 3-D volymläge av undervattenskroppen. Det är en gemensamt namn för koordinaterna (LCB, VCB och TCB) och det är runt detta som den hydrostatiska datan i kombination med displacementet och tyngdpunkterna undersöks. När hydrostatiken kombineras med tyngdpunkternas läge fås ett balanserat system vilket håller fartyget upprätt om det finns positiv begynnelsestabilitet d.v.s. att fartyget har metacentrum (M_0) ovanför tyngdpunkten (G) enligt figur 6 nedan.



Figur 6. Illustration på bra stabilitet med M_0 ovanför G .

4.1.2 Metacenterhöjd

Metacentriska höjden, GM_0 , är ett mått på den initiala statiska stabiliteten hos en flytande kropp och är vertikala avståndet mellan G och M_0 . Man kan tänka sig fartygets displacementstyngdpunkt, B , som lodet i en pendel. Då fartyget kränger pendlar denna punkt med en radie kring metacentrum. Metacentrum "sitter fast" på den lodräta centrumlinjen och rör sig med denna i rullningarna. Därav kommer också beteckningen metacenterradien, BM_0 . BM_0 är det vertikala avståndet mellan kroppens volympunkt under vatten, B , och metacentrum, M_0 .

Avståndet mellan B och M_0 beräknas enligt:

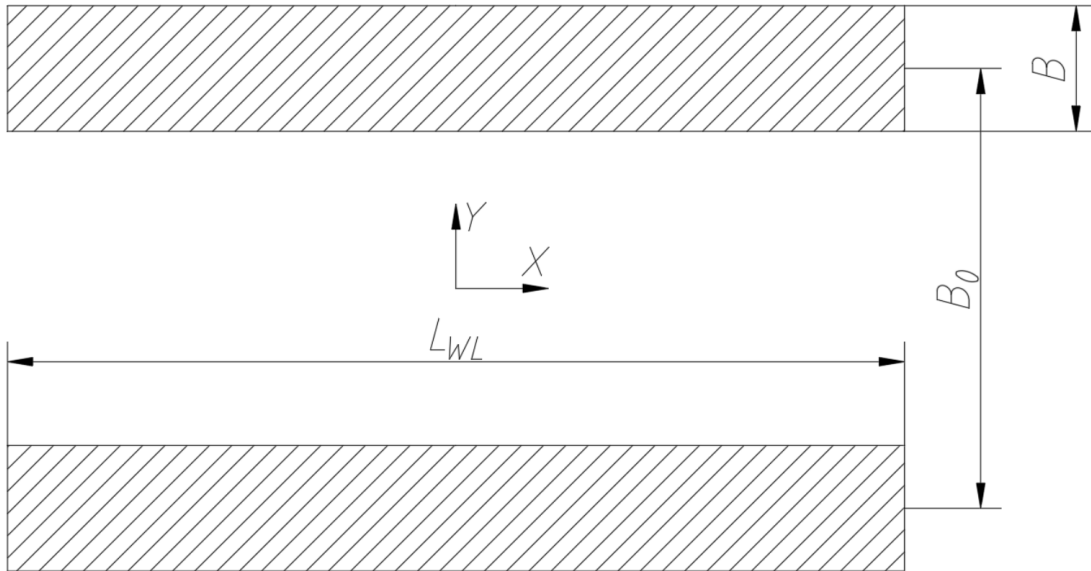
$$BM_0 = \frac{Ix}{\nabla}$$

Avståndet mellan G och M_0 beräknas enligt:

$$GM_0 = \frac{Ix}{\nabla} + KB - KG$$

I_x , som är vattenlinjeareans yttröghetsmoment, se figur 7 nedan, beräknas enligt (Bexedek, 1974):

$$I_x = L_{WL} \cdot B_0^3 \cdot \left[\frac{1}{6} \cdot \left(\frac{B}{B_0} \right)^3 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{B}{B_0} \right)^3 \right]$$



Figur 7. Illustration över måttsättningen för att beräkna yttröghetsmomentet.

4.1.3 COF

För trim- och slagsideberäkningar är “center of flotation”, COF, en viktig punkt. Det är runt den punkten som fartyget kan tänkas ha sin “pivot point” och den är direkt beroende av trim och slagsida samt djupgående. Enkelt förklarar man säga att det är areacentrum som utgörs av vattenlinjearean, som flyttar läge vid farkostens rullningar.

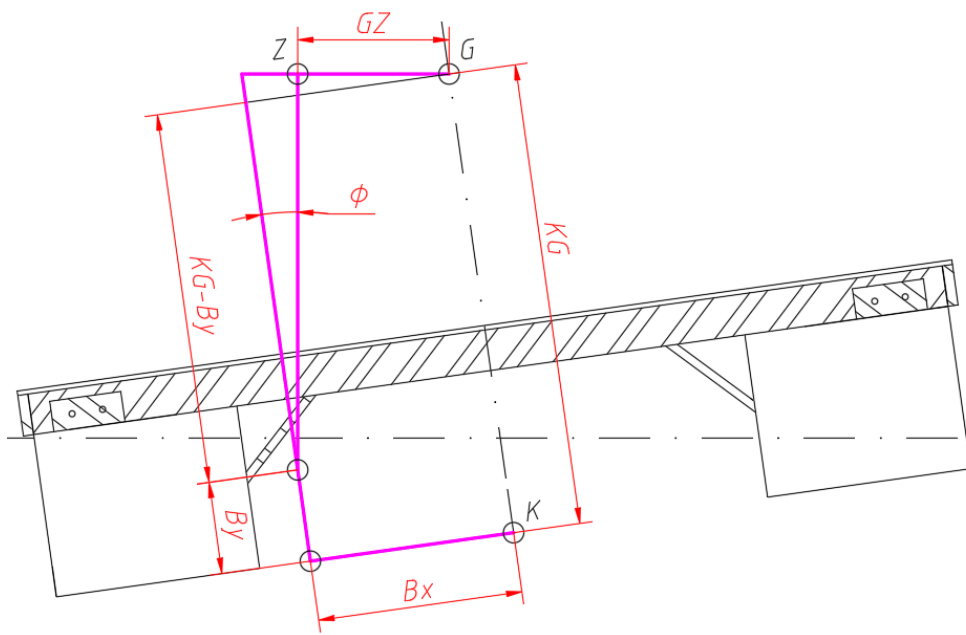
4.1.4 GZ

Med hjälp av de hydrostatiska data vi samlat från Inventor kan vi med trigonometri direkt ta reda på de teoretiska GZ-värdena m.h.a. trigonometri från AutoCAD enligt figur 8 nedan för varje slagsideändring utan trim och vice versa enligt:

$$GZ = \frac{Bx}{\cos(\varphi)} - \sin(\varphi) \cdot (KG - By + \tan(\varphi) \cdot Bx) \quad [m]$$

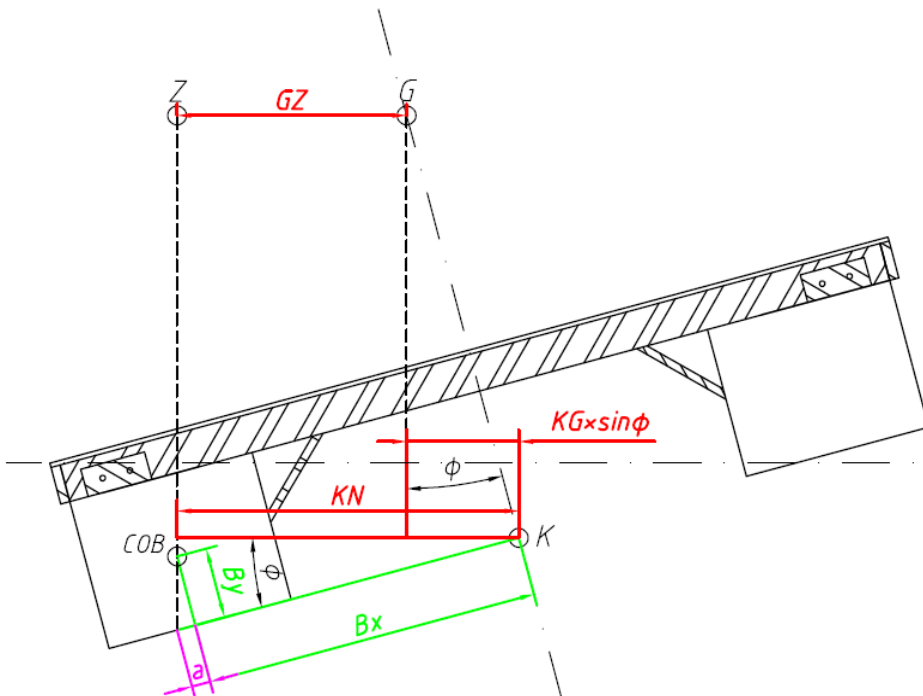
Som kan förkortas till:

$$GZ = \cos(\varphi) \cdot Bx + \sin(\varphi) \cdot (By - KG) \quad [m]$$



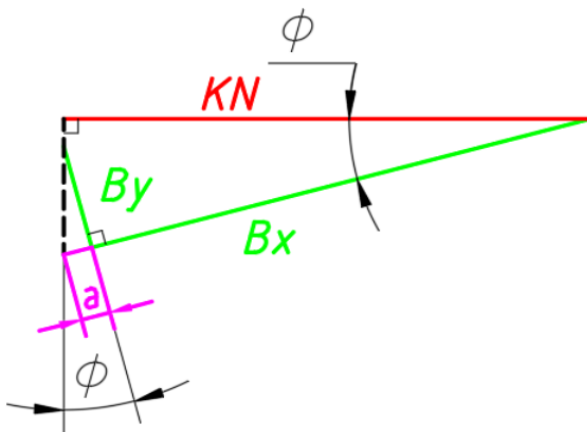
Figur 8. Det trigonometriska sambandet för vår GZ-formel beskriven ovan.

För att visa att detta stämmer med den mer välkända formeln som inkluderar "KN", vilket är det vinkelräta avståndet vertikala uppdriftslinjen till K, visar vi det utgående från det geometriska sambandet nedan i figur 9.



Figur 9. Geometriskt samband för GZ-formeln.

Nedan i figur 10 visas en förstoring på det lilla sambandet som skiljer punkten för N och B.



Figur 10. Förstoring av geometriska sambandet ovan från figur 9.

Härleder vi fram KN enligt sambanden ovan fås den mer välkända GZ-formeln:

$$a = By \cdot \tan\varphi$$

$$KN = (Bx + a) \cdot \cos\varphi$$

$$GZ = KN - KG \cdot \sin\varphi$$

4.1.5 Rätande momentet

Då farkosten utsätts för ett krängande moment från t.ex. vind och vågor, kränger det till en vinkel där fartygets rätande momentet är lika stort som vindens krängande moment.

Detta beror på att tyngdpunkten ligger på samma ställe men B-punkten vandrar ut p.g.a. att undervattensskrovet blir större mot den sida som fartyget kränger till och bildar en s.k. uppdriftslinje. GZ är det vinkelräta avståndet mellan fartygets tyngdpunkt och uppdriftslinjen (vertikala linjen genom COB). G och B bildar ett kraftpar som ger upphov till rätande moment. Detta moment varierar med krängningsvinkeln, eftersom GZ varierar. Så länge GZ är positiv har teoretiskt sett fartyget ett rätande moment som strävar till att rätta upp fartyget som därmed även har stabilitet.

Det rätande momentet beräknas enligt:

$$M_R = GZ \cdot \Delta \quad [ton \cdot m]$$

4.2 Intakt stabilitet

Intakt stabilitet är farkostens stabilitet i vattnet i intakt kondition, alltså ingen skada på skrovet som medför vatteninträngning. Vi konstruerar och undersöker skrovformen och dimensionen för att klara stabilitetskraven vid olika lastfall som presenteras under “Bastu” och “Kran”.

Här presenteras de olika lastfallen för bastubyggnaden och kranen med sammanställda tabeller. För att studera flottens trim- och stabilitetsegenskaper har vi skapat ett tyngdpunktsberäkningsprogram m.h.a. Excelkalkyl som vi sedan använt som grund för att undersöka det resulterande displacementet och med Inventor undersöks resulterande trim-slagsida för olika lastförhållanden. I Excelkalkylen har vi använt flottens longitudinella mittpunkt ($=L/2$) och transversala mittpunkt ($=B/2$) som origo. Förlig TP räknas med positiv sträcka, BB TP räknas med negativ sträcka och vertikal TP räknas positivt från köllinjen (K).

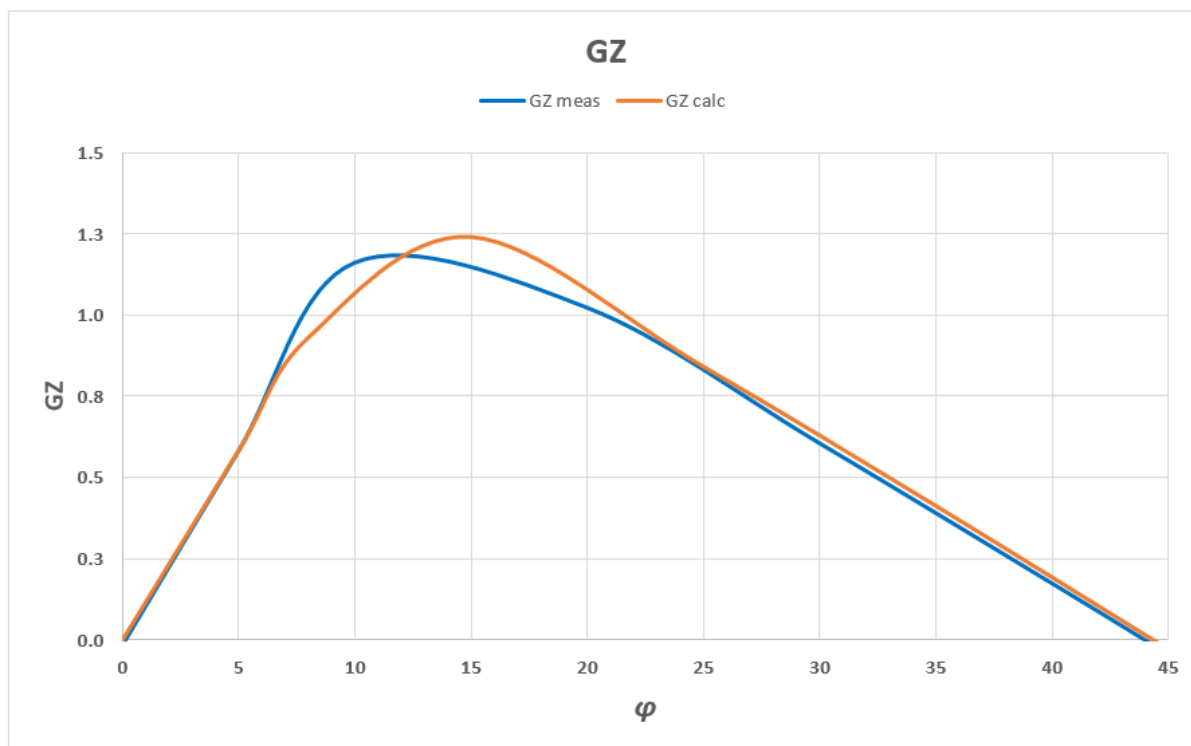
4.2.1 Bastu

Nedan i tabell 1 presenteras sammanställd data för bastufallets olika lastförhållanden, med TP och displacement från Excel, se bilaga 1 (som är tagen från “Alla i bastu”), och resten med Inventorsimulering.

Tabell 1. Data för de olika lastfallen i bastufallet.

Bastu					
	LW	Alla fram	Alla BB sida	Alla i bastu	Alla på terrass
VCG [m]	1,664	1,732	1,732	1,728	2,210
TCG [m]	-0,024	-0,019	-0,453	-0,019	-0,019
LCG [m]	-0,196	0,564	-0,158	-0,306	-0,063
Trim [°]	0,45	4,4	0,65	-0,15	1,25
Slagsida [°]	-0,15	-0,15	-3,55	-0,15	-0,15
dm [m]	0,328	0,614	0,544	0,384	0,443
fribord [m]	0,683	0,343	0,463	0,633	0,557
∇ [m ³]	4,126	5,111	5,111	5,111	5,111

Nedan i figur 11 visas en fullständig GZ-kurva för bastufallet då alla passagerare är på terrassen. Den orangea kurvan är teoretiskt beräknad från GZ-formeln presenterad tidigare som endast beaktar slagsida. Blåa kurvan är korrigerad så att flotten får “trimma fritt” i sjön m.h.a. Inventor. Se bilaga 2. Efter 10 graders slagsida sjunker vi under 200 mm fribord och däckets doppas vid ca 13° slagsida och har i det skedet 2,5° förligt trim.

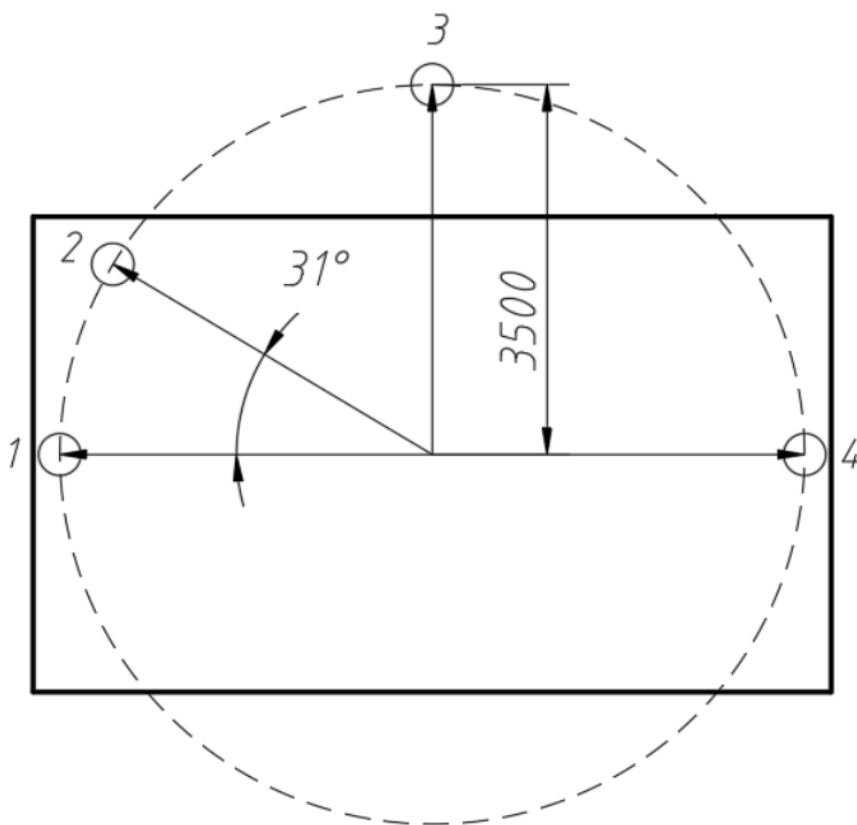


Figur 11. Uppmätt och verklig GZ-kurva för bastufallet då alla passagerare vistas på terrass.

I detta beaktas endast pontonernas flytkraft, inte den extra flytkraft som däckets skulle ge när det doppas. Det finns positiv stabilitet fram till nästan 45°. GZ skall normalt sett vara positiv upp till 50° slagsida (Dnvgl As, 7.2016). Det kan hända att detta uppnås om ett fullständig skrov skulle undersökas där alla skrovdetaljer med träet ingår. Vi har ett fribord över 200 mm fram till 10° slagsida och när däckets doppas har vi en slagsida på 13° och 2,5° trimvinkel.

4.2.2 Kran

Här presenteras motsvarande data för lyft med kran. Lyften vi undersökt är numrerade 1-4 i relation till skrovet där 1 är mot fören och 2 mot hörnet, se figur 12 nedan. Kranen kan endast vridas 322°, men vi har valt att undersöka lyft i 360° då kranens utgångsläge sedan kan bestämmas utgående från vad som skall lyftas. Då det är en 3,5 tm kran så visar vi för enkelhetens skull lyftstradien 3,5 m med lyft av 1 ton.



Figur 12. Kranens lyfradie med de olika lyftpunkterna utsatta i relation till skrovet.

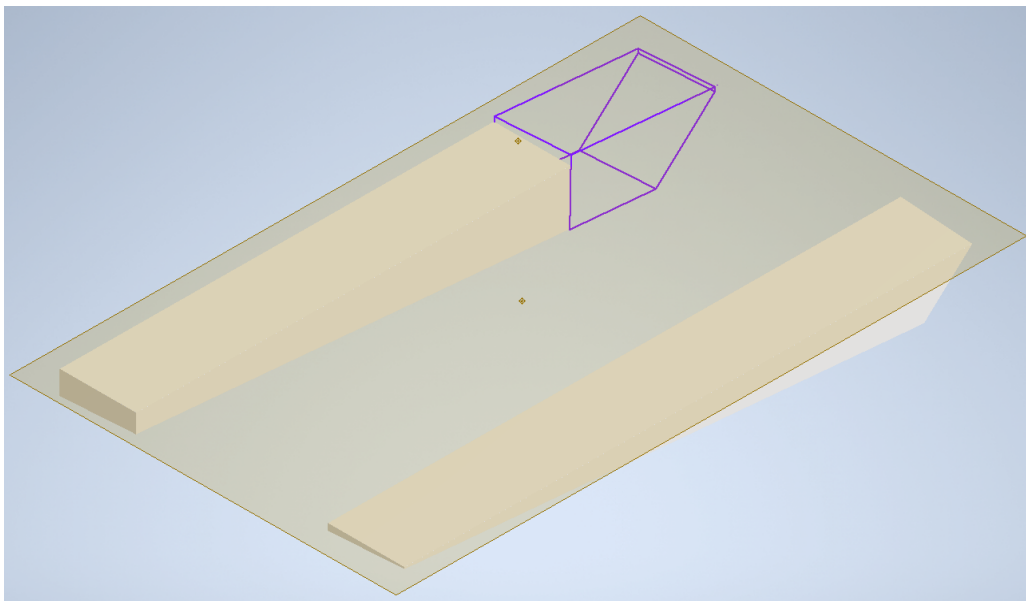
För lyft med kran skall en faktor på 1,4 läggas till på det krängande momentet som inkluderar effekten från vind och vågor. Då vi direkt undersökt trim och slagsida med Inventor för de specifika lyften, och inte GZ, så lägger vi istället till en lyftväg med faktorn 1,4. Det resulterar då i en skenbar lyftväg på 4,9 meter med 1 ton. Resultatet för lyften ses nedan i tabell 2 där vi klarar alla lyft med maxvikt förutom lyft 2-3 med 8 m³ displacement där vi kan lyfta 800 kg. Före lyftet lastar vi flotten så vi ungefär har “even keel” (= 0° trim) för att få en rättvis jämförelse mellan lyften. Excel TP-programmet som grund till detta kan ses i bilaga 3.

Tabell 2. Hydrostatisk data för olika lyft med kran.

	Kranlyft															
	LW	LW + "4,9" tm lyft				3.25 t last (inkl lyft) - even keel					5.25 t last (inkl lyft) - even keel					
	Före lyft	1	2	3	4	Före lyft	1	2	3	4	Före lyft	1	2	3	4	
VCG [m]	0.967	1.297	-	-	-	1.234	1.371	-	-	-	1.300	1.403	1.385	1.385	1.403	
TCG [m]	0	0	0.623	1.349	0	0.000	0	0.436	0.847	0	0	0	0.265	0.515	0	
LCG [m]	-0.259	1.216	1.024	-0.133	-1.482	-0.282	0.633	0.512	-0.214	-1.061	-0.233	0.442	0.240	-0.201	-0.831	
Trim [°]	0.2	6	5.5	0.55	-5.1	-0.1	5.2	4.55	0.1	-5.35	0	6.3	4.2	0.1	-6.4	
Slagsida [°]	0	0	3.7	7.25	0	0	0	3.75	7.55	0	0	0	3.75	6.3	0	
dm [m]	0.214	0.59	0.704	0.528	0.578	0.439	0.709	0.821	0.726	0.757	0.569	0.924	0.95	0.816	0.986	
fribord [m]	0.8	0.34	0.235	0.42	0.435	0.578	0.236	0.131	0.281	0.255	0.448	0.004	0.008	0.193	0.025	
∇ [m ³]	2.780	3.775	-	-	-	6.014	-	-	-	-	8.004	-	-	-	-	

4.3 Läckstabilitet

Då en skada högst antagligen uppstår vid framdrift och inte stationerad under t.ex. lyft med kran, så har vi undersökt “bastu”-fallet med alla passagerare på terrassen där G ligger ganska högt. Med en skada på en av fyra avdelningar på ena pontonen med KG på 2,21 m då alla passagerare är på terrassen med en slagsida under 10° och fribord över 200 mm. Med Inventor simulerar vi oss fram till detta genom att ta bort en vattentät sektion, se figur 13 nedan, och studerar när COB möter COG sett ovanifrån.



Figur 13. Arbetsgång i Inventor där en WT-sektion är borttagen och volymen ovan vattnet skärs av.

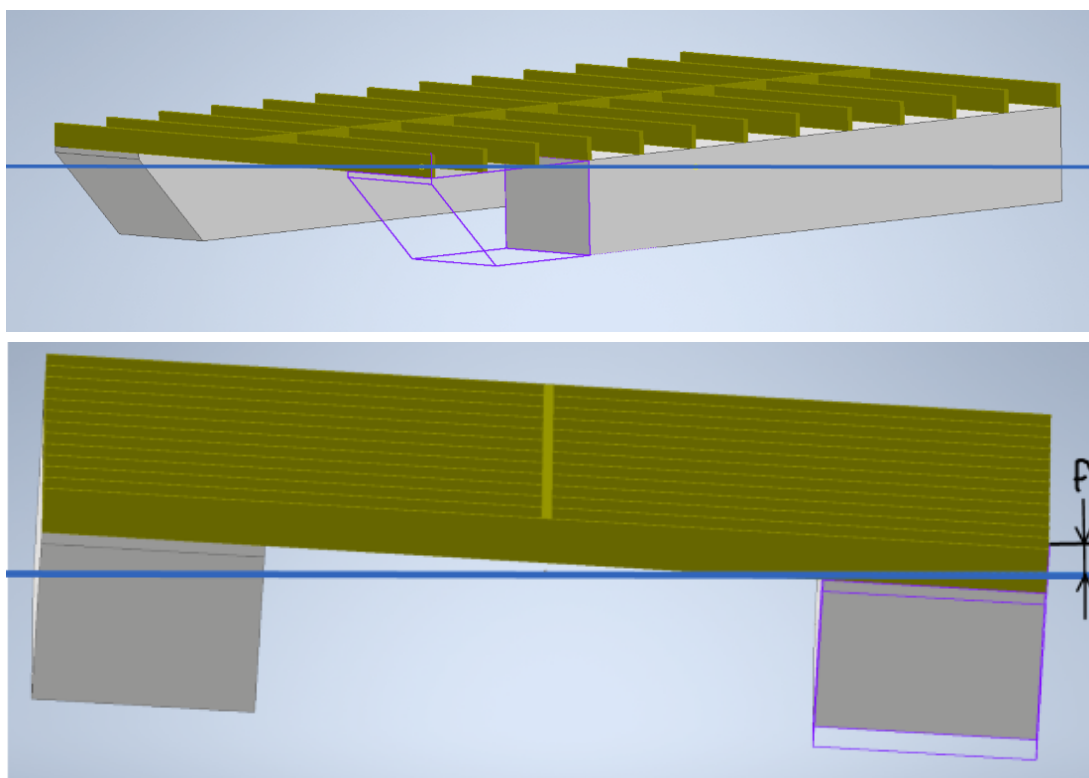
DNV ställer inget krav på läckstabilitet för “decked crafts” så vi gjorde en egen specifikation på det och bestämde oss för att klara av en skada på en avdelning på en ponton utan att doppa däck.

Resultatet av en skada på de 4 olika avdelningarna på BB ponton kan ses nedan i tabell 3, där en skada på förliga BB avdelning blir värst m.a.p. fribord, men vi har ändå en marginal på 123 mm innan vi doppar däck. Vi klarar av gränserna för intakt kondition i övriga avdelningar ($f > 200\text{mm}$, $ss < 10^\circ$).

Tabell 3. Resultatet för en skada på de olika WT-avdelningarna på babords ponton.

Läckstab - KG = 2.21 m				
	ABB	MABB	MFBB	FBB
VCG [m]	2,210	-	-	-
TCG [m]	-0,019	-	-	-
LCG [m]	-0,063	-	-	-
Trim [°]	-2,85	0,4	2,45	4,6
Slagsida [°]	-4,1	-2,95	-3,2	-3,4
dm [m]	0,795	0,574	0,702	0,829
fribord [m]	0,216	0,437	0,281	0,123
∇ [m ³]	5,1113	-	-	-

Nedan i figur 14 & 15 visas hur en skada på FBB WT-avdelning kan se ut snett från sidan och framifrån.



Figur 14 & 15. Illustration på hur skrovet ligger i förhållande till vattenytan med FBB-sektion (lila kontur) skadad.

5. KONSTRUKTION

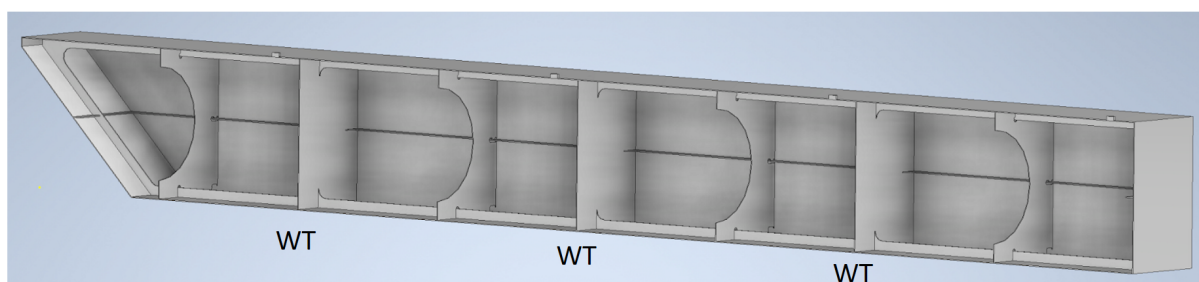
Här studeras mer ingående detaljer för konstruktioner och förstärkningar i skrovet. Då vi till en början med hjälp av Excel tagit reda på huvuddimensionerna för flytelementen kunde vi börja konstruera pontonernas inre förstävningar med longitudinaler, transversaler, spanter och vattentäta sektioner för att klara av de påfrestningar som skrovet utsätts för.

Beräkningsgrunderna kan ses i nästa huvudkapitel "Hållfasthet".

5.1 Flytelement

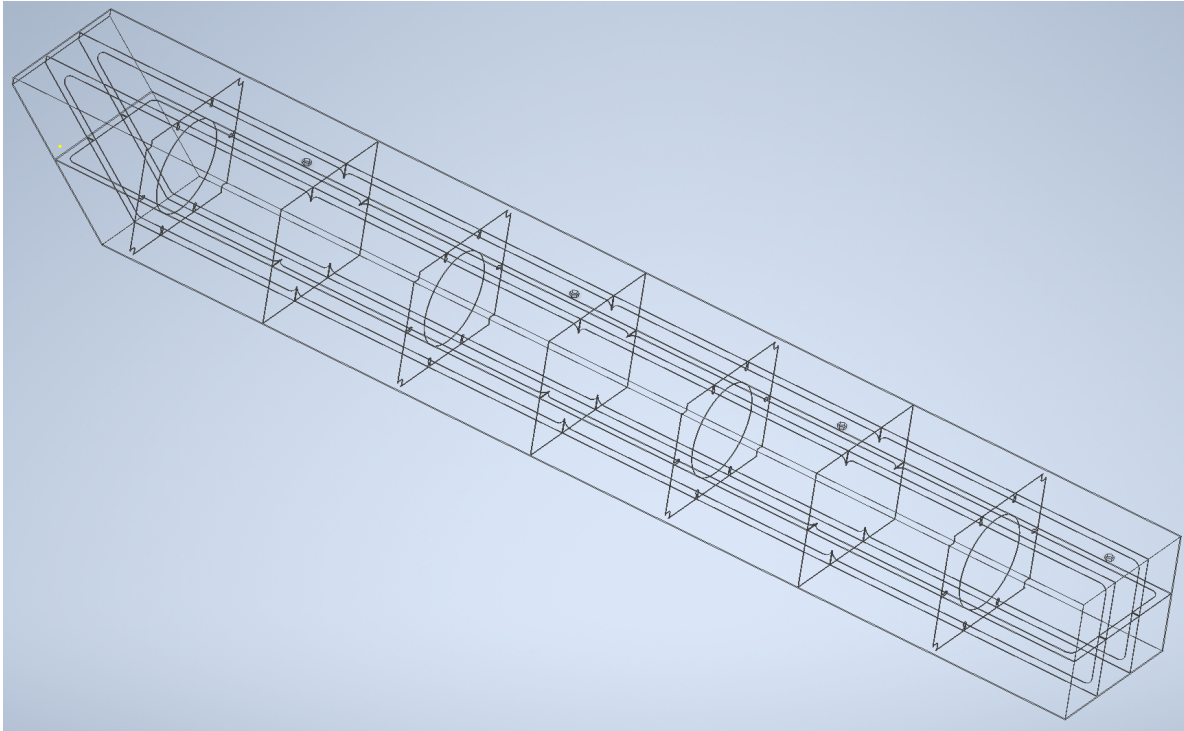
Vi förstärker upp insidan av bordläggnings-plåten med longitudinaler i flat profil samt spanter och vattentäta sektioner med skottplåtar. Detta för att minska på buckling av plåten och bättra på strukturell hållfasthet för vrid- och tryckkrafter som uppstår i sjön samt för att klara av vattentrycket och sin egen tyngd från gravitationen ifall skrovet dockas på land.

Konstruktionen på flytelementen kan ses nedan i figur 16.



Figur 16. 3D-figur på insidan av en ponton med longitudinaler, transversaler, spanter och vattentäta sektioner med avfasningar.

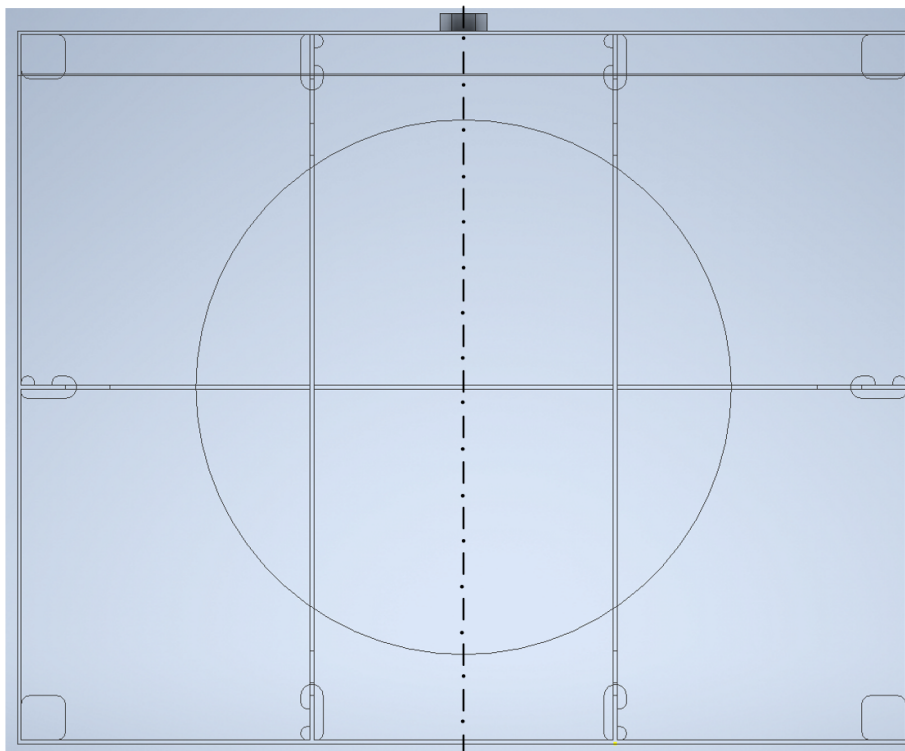
För att lättare få en helhetsbild av hur pontonen ser ut med förstävningar, skott och spanter presenteras samma ponton i "wireframe view" nedan i figur 17.



Figur 17. Ponton i "wireframe view" med skottdäck, longitudinaler, transversaler och vattentäta sektioner.

Alla longitudinaler "avslutas" med en bricka med en 50 mm radie mot alla flata ytor för att minska på spänningskoncentrationer. Longitudinalerna på sidoplåtarna är placerade på halva höjden i centrum. I botten och toppen samt förliga och aktra gaveln är de placerade med jämnt avstånd från varandra. Spanterna är placerade mitt mellan alla vattentäta skott med ett hål för att göra de lättare utan att kompromissa hållfastheten för mycket. För att förenkla länsning för de vattentäta sektionerna och inspektion av vatteninträngning finns fyra inspektionspluggar i taket. I bilaga 4 och 5 finns relevant måttsättning i midskepps- samt profil-vy.

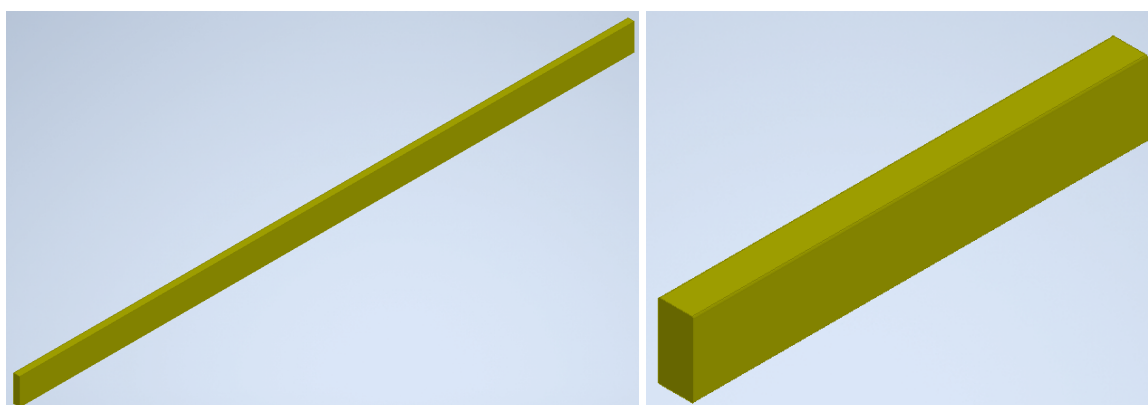
Nedan i figur 18 ses en midskeppssektion för en ponton.



Figur 18. Midskeppssektion av en ponton.

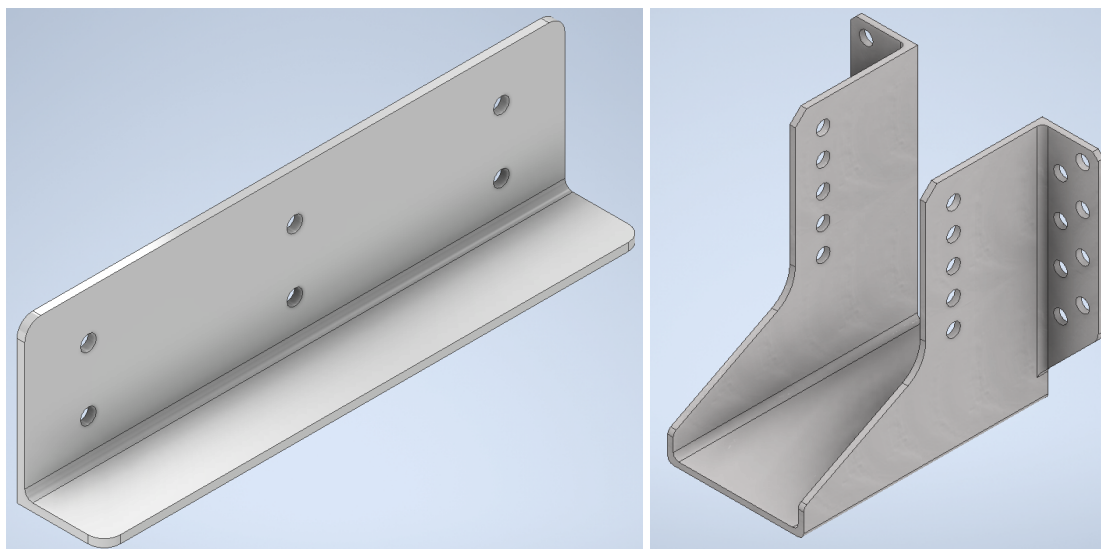
5.2 Tvärbalkar och förstävningar

Ovanpå pontonerna byggs skrovet upp med transversella tryckimpregnerade träbalkar i hållfasthetsklass C24 som sedan däckets placeras på. Mellan dem, på halva bredden, placeras longitudinella balkar från aktern till fören mellan de 13 jämnt fördelade transversella balkarna för att fördela ut kraften på flera balkar ifall en stor lokal kraft appliceras på en punkt. Se figur 19 & 20 nedan.



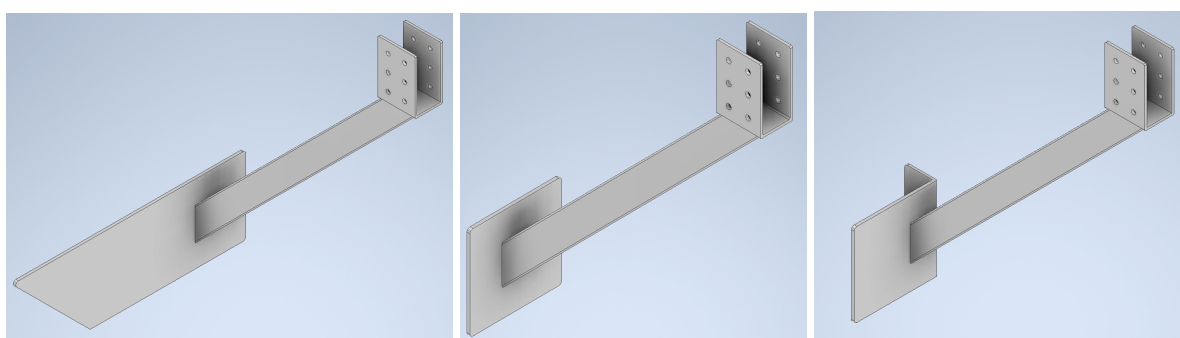
Figur 19 & 20. Transversell samt longitudinell balk.

Balkfästena som förbinder ponton med balk samt balkskon som förbinder de transversella och longitudinella balkarna med varandra kan ses nedan i figur 21 & 22.



Figur 21 & 22. Balkfäste i ponton samt balksko.

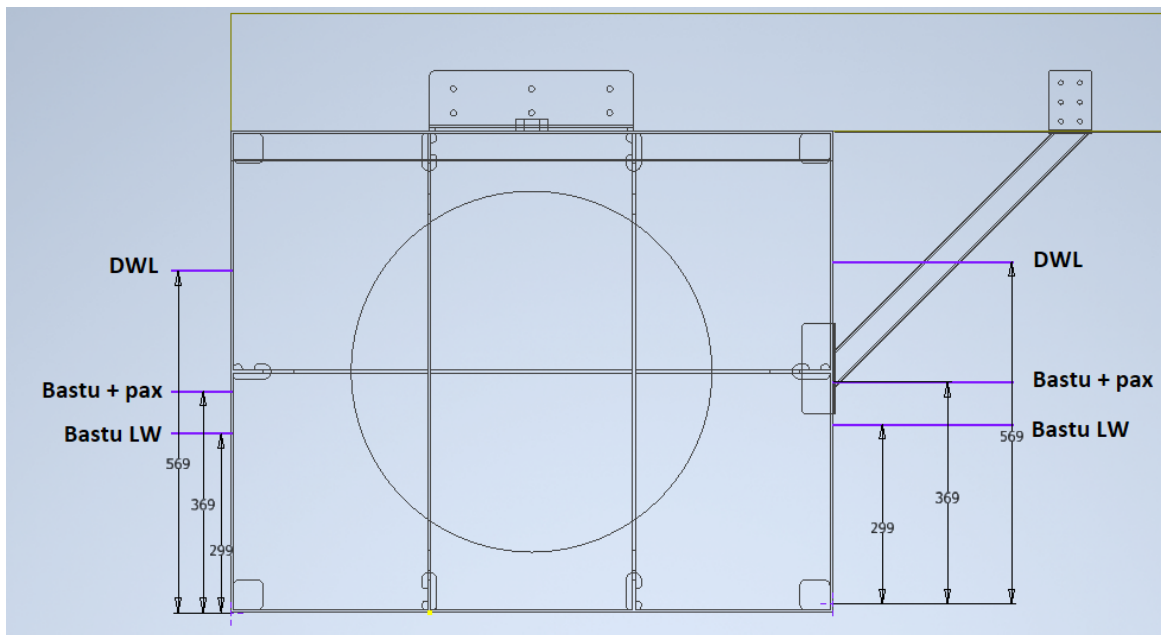
Då balkarna är fästa ovanpå pontonerna och pontonerna är 0,8 m höga, uppstår det för mycket vridmoment på balkfästena i aluminium från sjögången i vattnet. Detta löses delvis genom att montera tre stycken 45° krysstag på varje sida från halva höjden på pontonen med en svetsad kraftfördelningsplatta framför ett skottdäck till en transversell balk. Enda som skiljer dessa åt är plattan som svetsas mot pontonen. Krysstagen kan ses nedan i figur 23, 24 & 25.



Figur 23, 24 & 25. 45° krysstag till för-, mid- & akt-sektionerna med kraftfördelningsplatta och balksko.

Nedan i figur 26 visas konstruktionsvattenlinjen för “DWL”, Bastu LW samt bastu + “pax” (passagerare) mot en ponton i “Even keel” stadie. DWL är alltså största djupgående farkosten

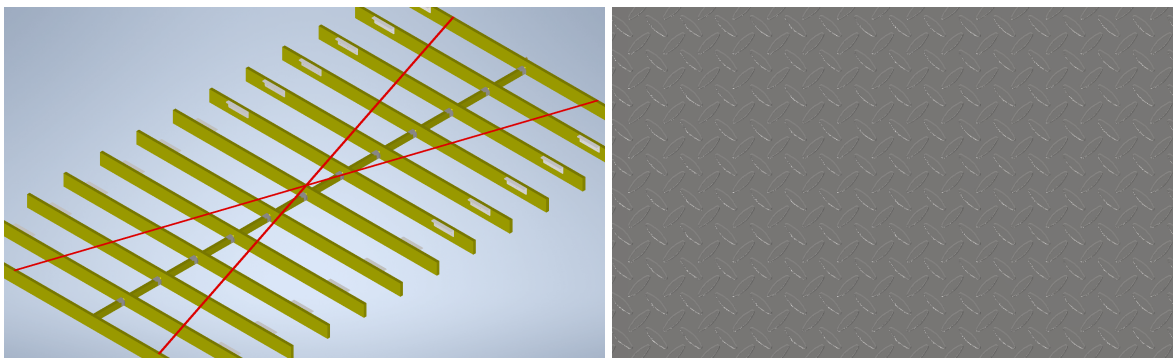
får ha vid “even keel”. 45° stagen kommer delvis vara nedsänkta i vattnet vid displacement större än 5,2 ton i bräckt Östersjövatten.



Figur 26. Vattenlinjer mot skrovet vid “even keel”.

Vid stora lokala krafter på däck, t.ex. en kran, kan man med fördel placera ut ett extra stag mot balken som kan ta del av kraftutjämningen genom ponton istället för att belasta däck och balkar över gränsen. För våra tänkta lastfall fungerar denna konstruktion vi valt nu med tre stycken jämnt fördelade stag.

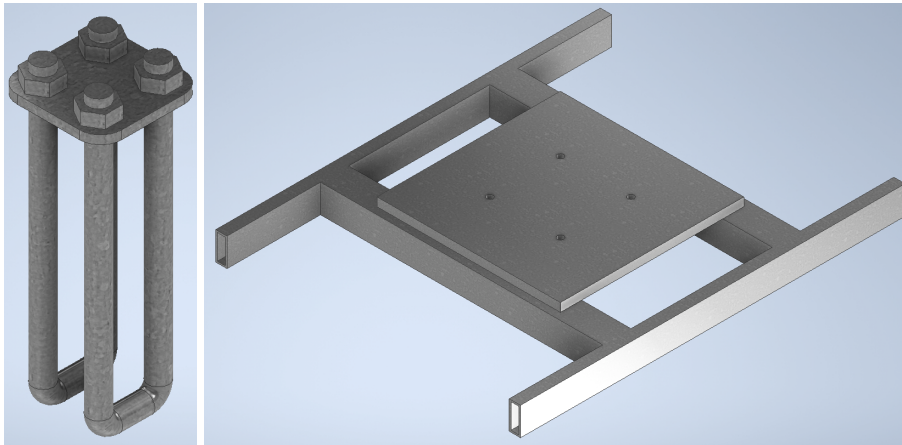
Uppstyvning av skrovet i diagonal riktning, så inte ena pontonen skall “glida framför” den andra (pressa flotten till ett parallelogram) monterades ett krysstag som tar upp dessa krafter. Se figur 27 nedan. De fästs i undersidan på varannan transversalbalk. För kranapplikationen är det tänkt att ha ett mer robust och slitstarkt däck av durkplåt i stål, se figur 28 nedan.



Figur 27 & 28. Krysstag (i rött) till vänster sett underifrån och durkplåt till höger.

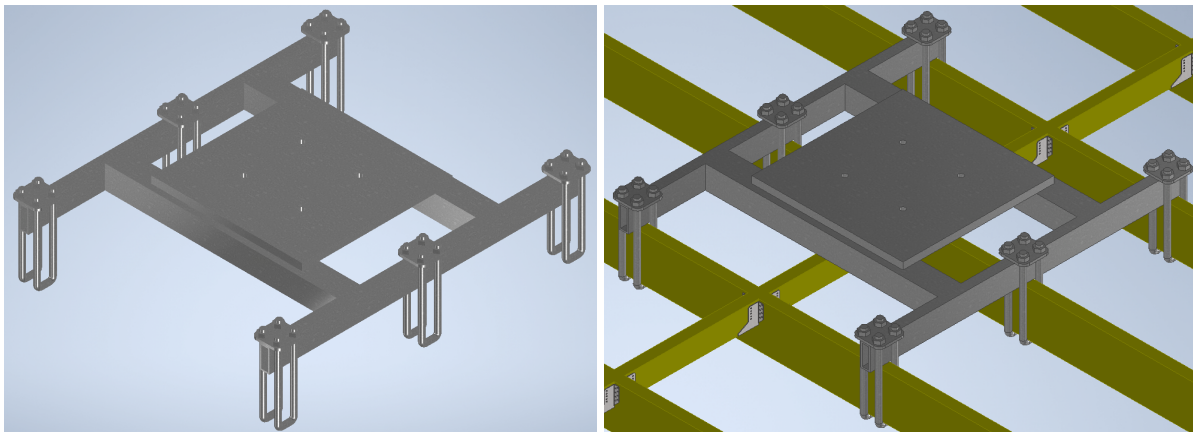
5.3 Kranfundament

Kranfundamentet är konstruerat av stålprofiler med en svetsad platta ovanpå med hål borrade enligt kranens specifikationer. Fundamentet är fäst med 6 st U-klämmor till de transversella skrovbalkarna, se figur 29 & 30 nedan.



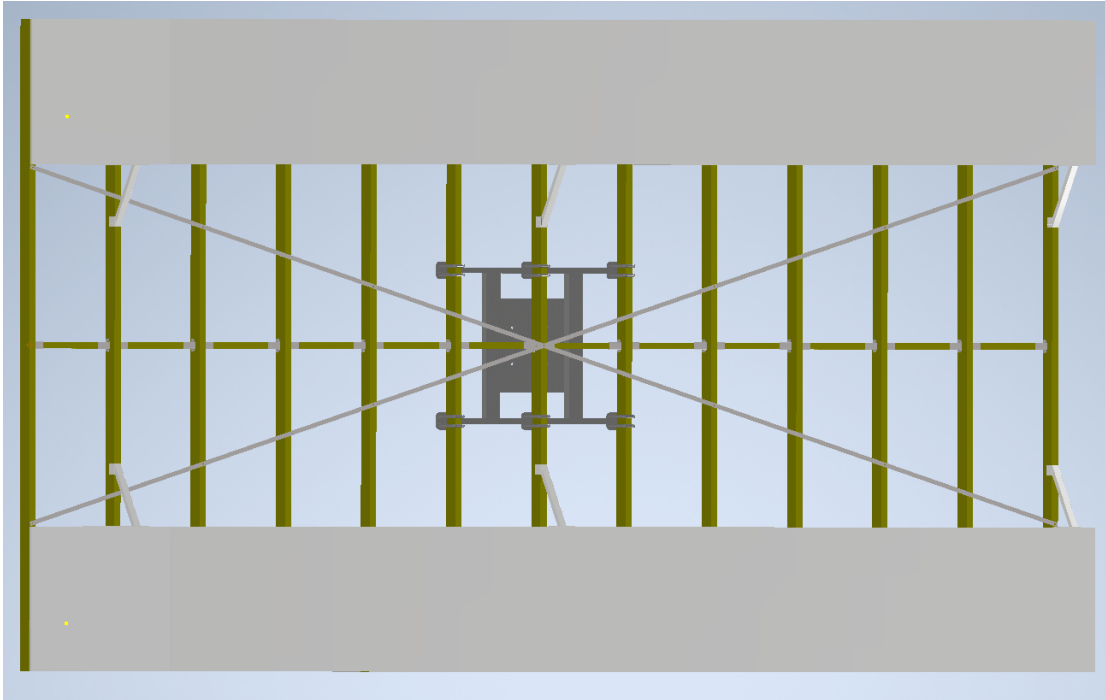
Figur 29 & 30. U-klämmor & kranfundament.

En sammanställning av hur detta ser ut på skrovet kan ses nedan i figur 31 och 32.



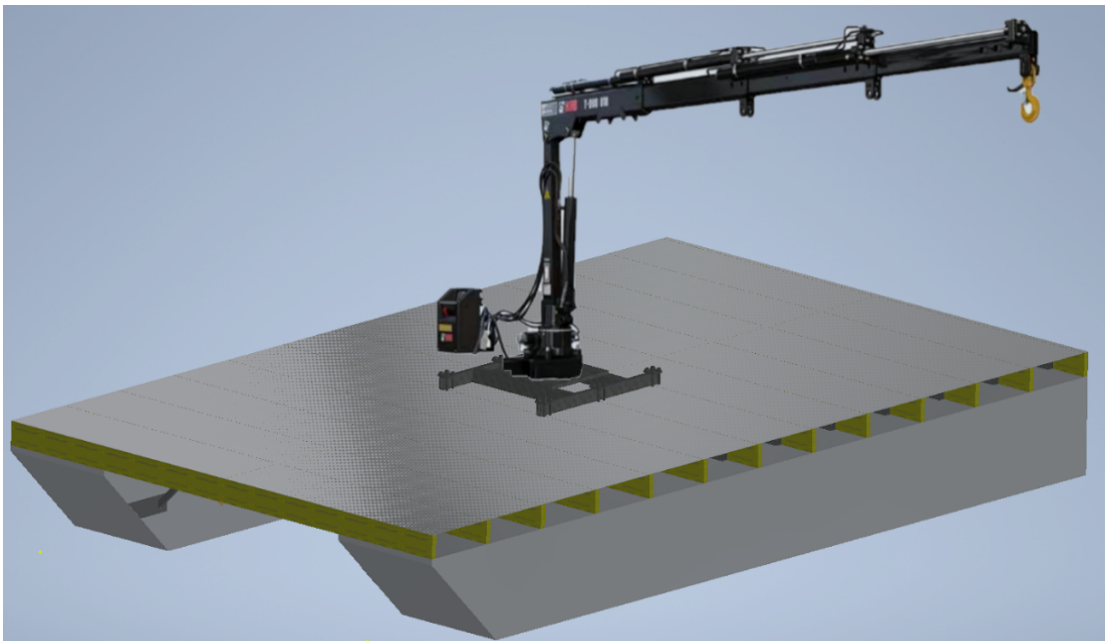
Figur 31 & 32. Kranfundament med fästen.

Kranen placeras mitt på skrovet, enligt figur 33 nedan. Vi har valt att dimensionerna kranfundamentet utgående från en 3,5 ton-meter kran, alltså att kranen lyfter 1 ton på 3,5 m räckvidd.



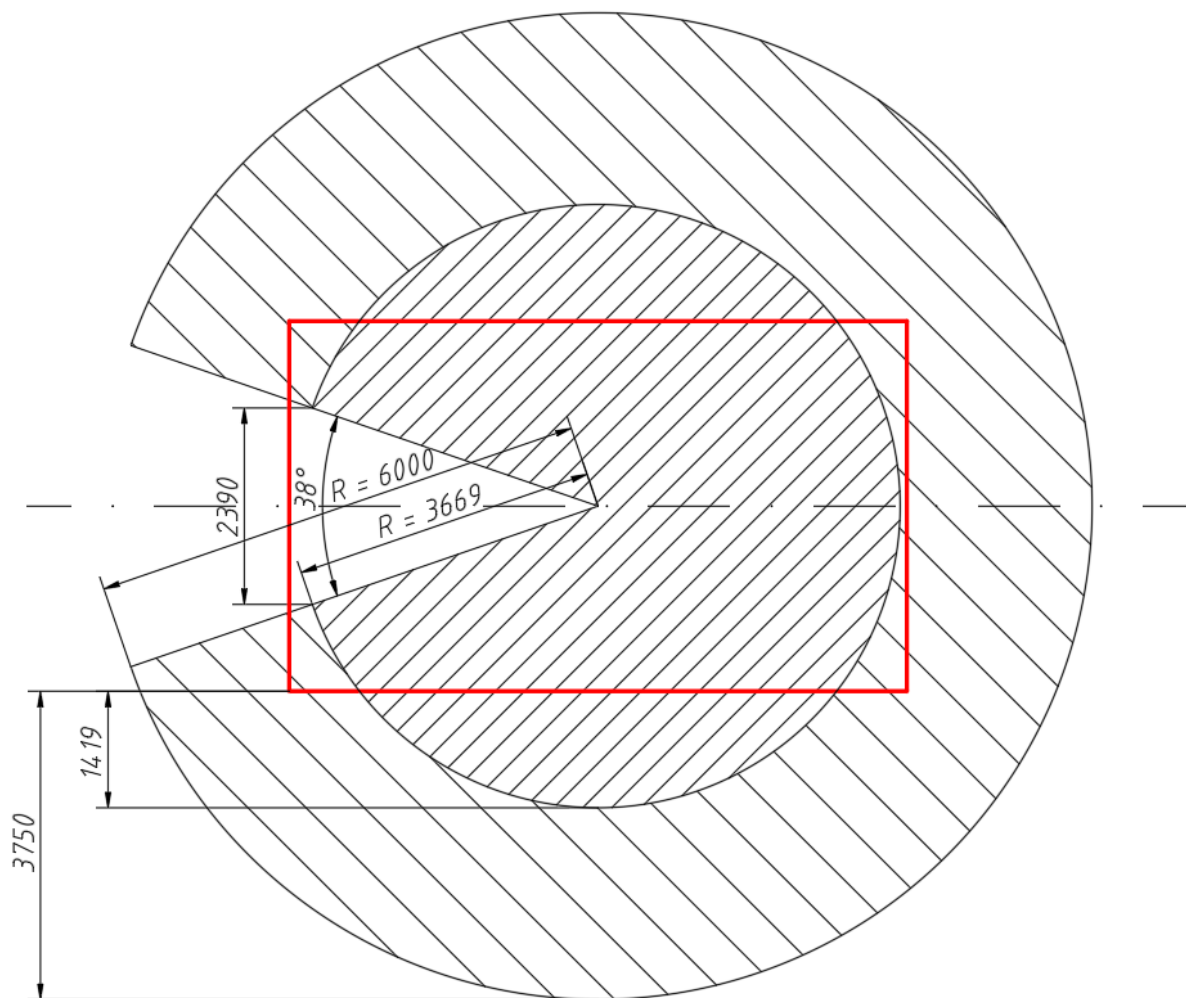
Figur 33. Hela skrovet sett snett underifrån med balkar, krysstag och kranfundament.

Ett slutligt åskådliggörande av skrovet med kranapplikationen och ett däck med durkplåt kan beskådas nedan i figur 34. För att skydda skrovet mot angöringar och övriga skador kan balksidorna täckas in med förslagsvis gummiklädda brädor.



Figur 34. Helhetsbild av hur skrovet med kranapplikation ser ut.

Nedan i figur 35 ses lyfradien från den kranen vi valt. Det röda är skrovets kontur. Väljs en manuell bom som tillägg fås en total lyftsträcka på 6 m, annars fås 3,67 m med endast hydraulikbommen. Kranen kan vridas 322° så en lite större död-yta fås i fören men detta är bara fördelaktigt då flottens flytbarhet är mindre i fören och last som lyfts av eller på görs med fördel rakt åt sidan där det finns mest lyftväg utanför skrovet. Vet användaren närmare exakt vilka lyft som skall göras så kan ju kranen fästas och vridas hur som helst, även placeras på andra ställen på skrovet. Måste då bara undersöka ifall ena pontonstaget skall flyttas med kranfundamentet.



Figur 35. Kranens lyfradie i förhållande till det röda skrovet.

6. HÅLLFASTHET

Här undersöker vi närmare hållfastheten på materialen vi valt och analyserar oss fram till rimliga dimensioner med FEM-analyser som stressberäkningarna utförs med. Fullständiga rapporter kan ses i bilagorna 6, 7, 8, 9 och 10. Undersökningarna för pontonerna gjordes skilt för sig samt skrovet som helhet.

6.1 Plåttjocklek

Plåttjockleken dimensionerar vi utgående från den minsta tjockleken som regelverket DNV ställer på "decked crafts" under 15 meter.

Minsta plåttjocklek beräknas enligt följande formel:

$$t_{min} = t_0 + kL \cdot \frac{1}{\sqrt{f_1}} + t_c \quad [mm]$$

Med våra dimensioner för bottenplåtarna får vi:

$$t_{botten} = 1,5 + 0,23 \cdot (7,5 - \tan(45) \cdot 0,8) \cdot \frac{1}{\sqrt{0,5}} + 0 = \underline{3,68 \text{ mm}}$$

Samt för sidoplåtarna fås:

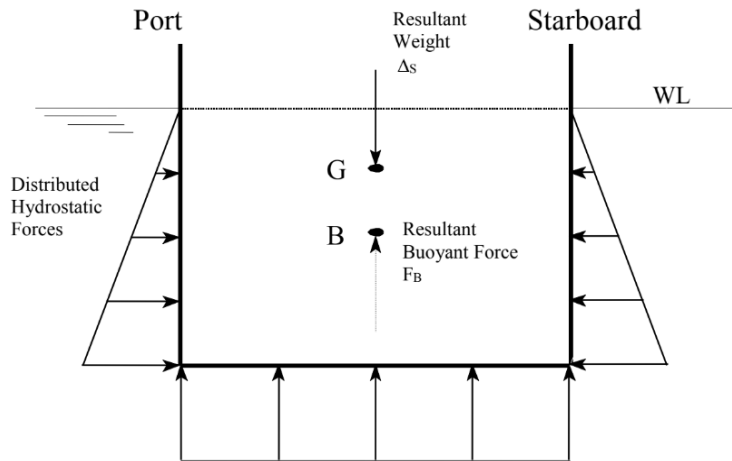
$$t_{sida} = 1 + 0,23 \cdot 7,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,5}} + 0 = \underline{3,44 \text{ mm}}$$

Då aluminiumplåtarna oftast kommer i antingen 3 mm eller 4 mm väljer vi 4 mm runtom hela ponton. Korrosionstillägget, t_c , kan antas vara 0 för aluminiumkonstruktioner (Dnvgl As, 7.2016).

6.2 Stressimulering

Det hydrostatiska trycket på skrovet skiljer sig beroende på om botten eller sidan på skrovet beaktas enligt figur 36 nedan. Vi har valt att applicera det teoretiskt största hydrostatiska trycket som uppträder vid max djupgående enligt:

$$P_{vatten} = \rho \cdot g \cdot h$$

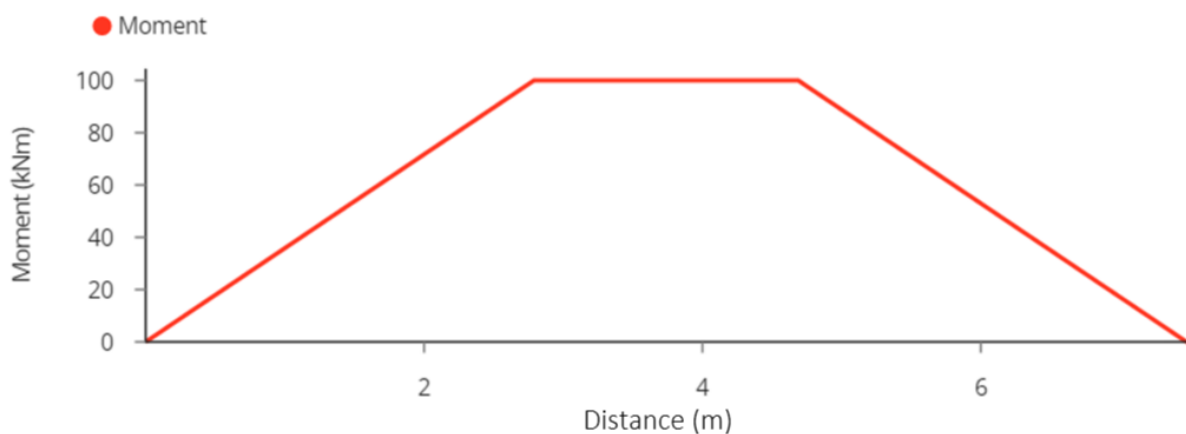


Figur 36. Illustration på hur det hydrostatiska vattentrycket inverkar på ett skrov (EN400: Principles of Ship Performance, n.d.).

6.2.1 Ponton

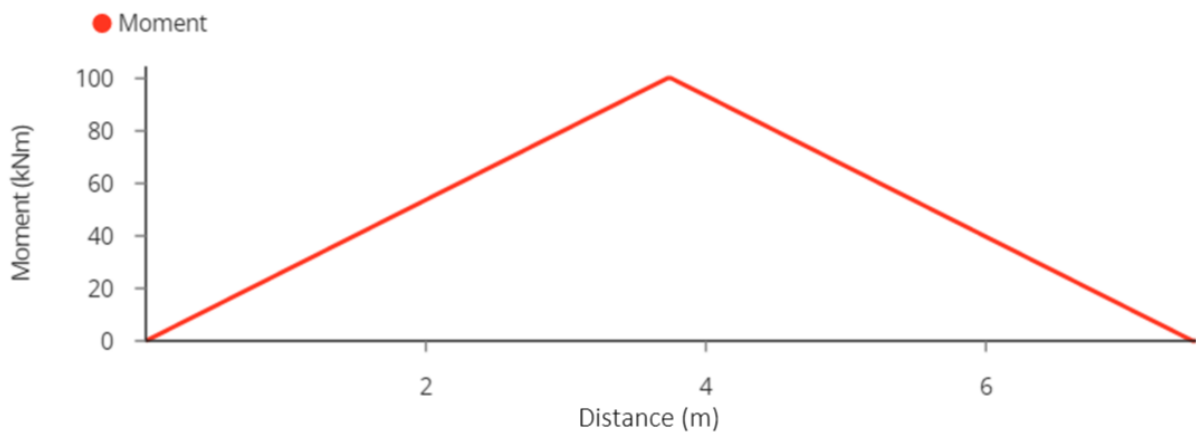
För pontonerna har vi analyserat vilka interna förstävningar som krävs för att klara av vattentrycket som uppstår från 1 m djupgående och böjande moment enligt DNV:s krav. Simuleringen är gjord så att vattentrycket är applicerat på för, akter, botten samt bägge sidor.

Utöver vattentrycket appliceras en kraft som motsvarar DNV:s “bending moment” på 100 kNm. DNV kräver att max böjande moment uppstår centralt vid 25 % av längden och avtar linjärt till 0 Nm mot aktra och förliga gaveln (Dnvg1 As, 7.2016), enligt figur 37 nedan.



Figur 37. Momentdiagram för DNV:s krav.

Vi lyckades inte simulera detta på något smidigt sätt då Inventor alltid kräver fixerade fastsättningar på ett eller annat sätt. Därför valde vi att fixera ponton på $L/2$ och applicera en kraft i vardera ända som skulle ge ett böjande moment på max 100 kNm i mitten och som avtar till 0 kNm mot gavlarna, enligt figur 38 nedan.

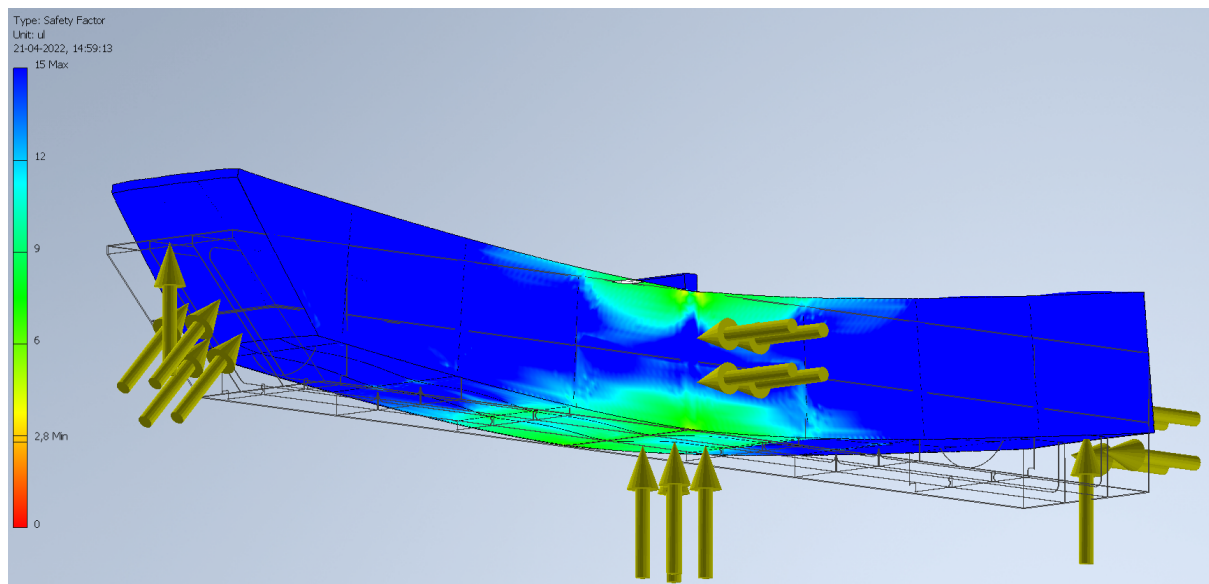


Figur 38. Momentdiagram för vår simulation.

För att uppnå ett böjande moment på 100 kNm, appliceras en kraft på 26,7 kN i vardera gaveln och med sträckan 3,75 m till L/2 fås max böjande moment enligt:

$$M_{böj} = 26,7 \text{ kN} \cdot 3,75 \text{ m} = \underline{100 \text{ kNm}}$$

Vi analyserar vattentrycket och böjande momentet skilt för sig och inser att vi har en bra säkerhetsfaktor i bägge fall. Vi undersöker därför om ponton klarar av båda dessa simuleringar tillsammans, utan att ändra på de individuella krafternas och tryckernas storlekar. I figur 39 nedan syns illustration av simulationen i Inventor. I bilaga 6 kan rapporten för detta ses.



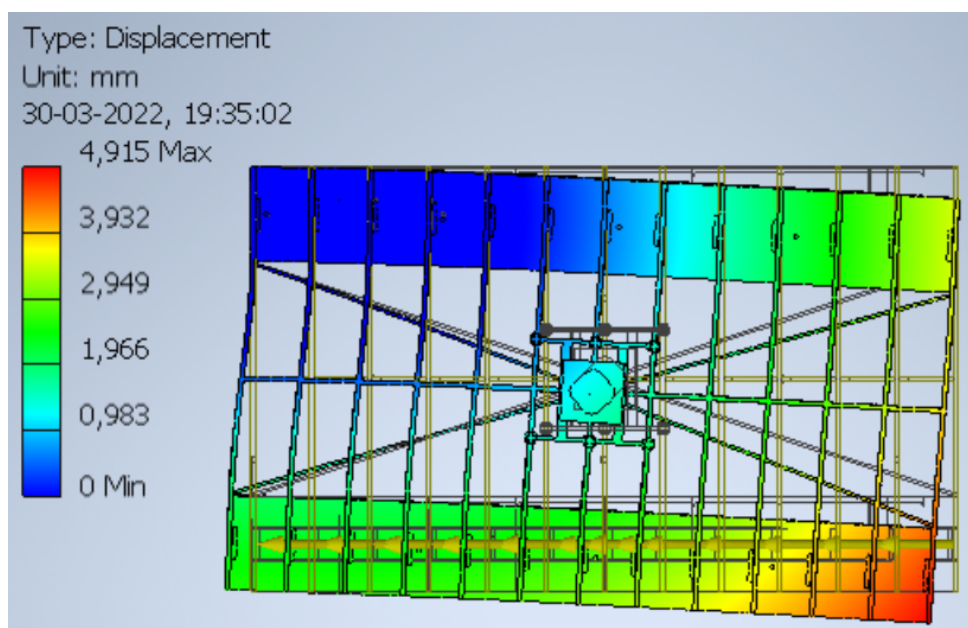
Figur 39. Illustration av en ponton som utsätts för böjande moment och vattentryck.

Med dessa två elementarfall har vi en säkerhetsfaktor på 2,8 mot sträckgränsen.

Då alla delar i pontonen skall svetsas är det viktigt med en notering av att materialet kan gå miste om upp till 50% av sin sträckgräns för hållfastheten (Harrington et al., 2.2010). Då simuleringen ger en säkerhetsfaktor på 2,8 mot materialets ursprungliga sträckgräns och om vi nu halverar denna får vi en faktor på 1,4, vilket vi anser vara tillräckligt då vi simulerat med ett extremfall och 2 ihopslagna elementarfall som inte DNV ställer krav på i första hand.

6.2.2 Skrov

För hela skrovet har vi simulerat en diagonal kraft på 1 kN fördelat på vardera balk som totalt motsvarar 1,3 ton, enligt figur 40 nedan. Till detta behövs krysstaget som vi beskrivit under konstruktion. Simuleringen är gjord så att flotten sitter fast i aktergaveln på BB ponton och 13 st 1 kn krafter appliceras i SB ponton mot balkfästena. Detta resulterar i att ena pontonen vill glida framför den andra och bilda ett parallelogram. Fullständig rapport för denna analys kan ses i bilaga 7.



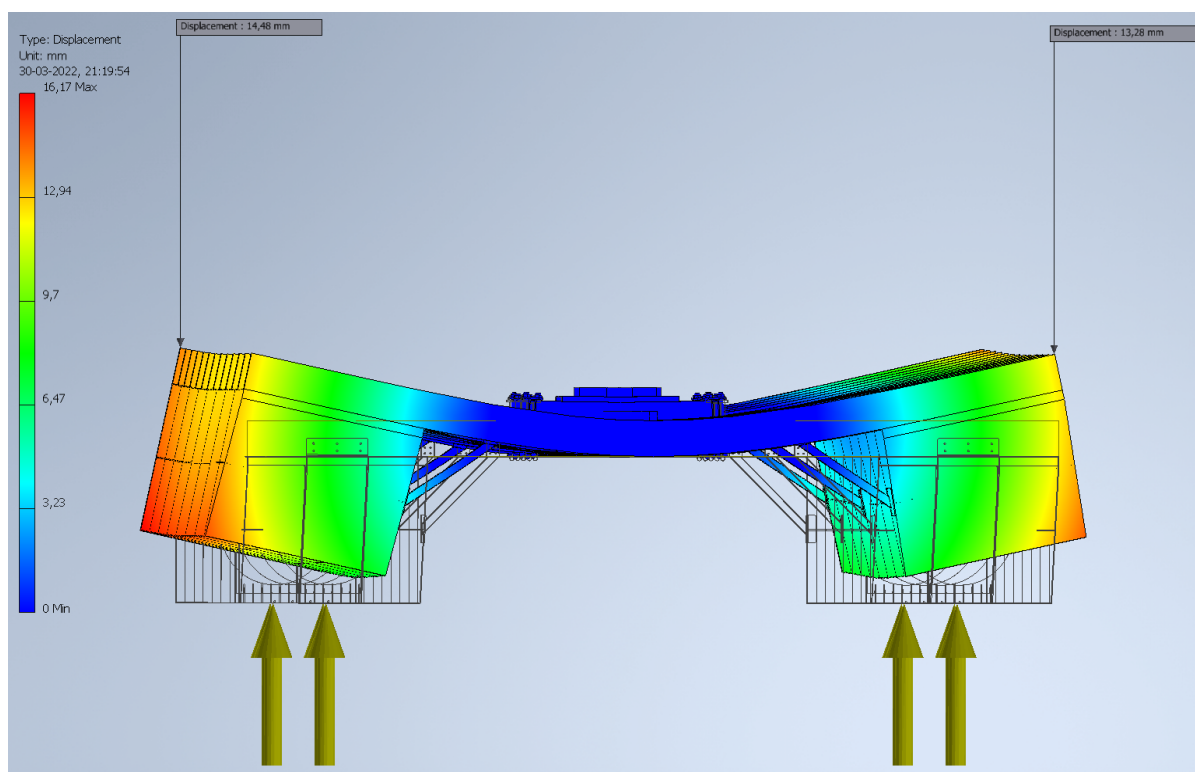
Figur 40. Illustration av "krysskraft"-simuleringen.

6.2.3 Träbalkar

De transversella träbalkarna har vi undersökt manuellt i terrassen för bastun med L/300-metoden som visar hur mycket en balk får böjas ut beroende på dess längd genom att dividera totala balklängden med 300 (Föreningen Sveriges Skogsindustrier, 2020). Med dessa beräkningar får vi fram den maximalt tillåtna utböjningen per meter och med FEM-analysen kan vi se den simulerade utböjningen i mm.

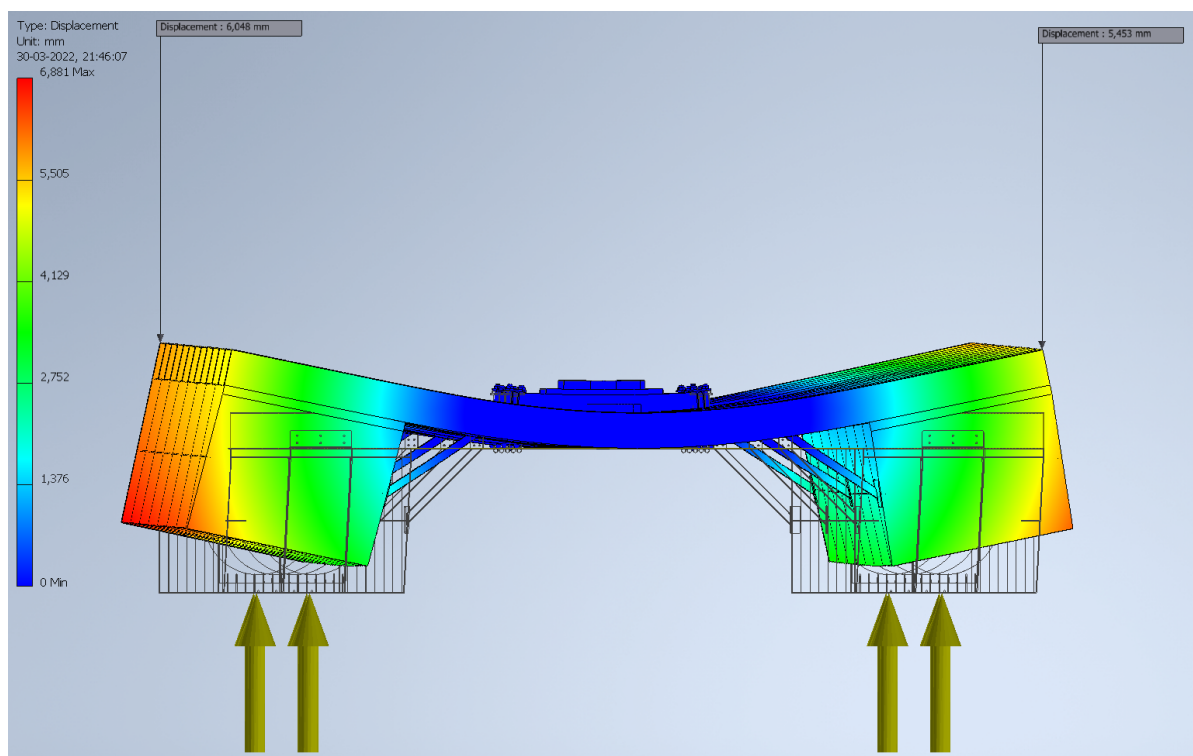
Takterassbalkarna är beräknade för att hålla 4 kN/m^2 enligt kategori C3 enligt Finlands byggbestämmelser (Ympäristöministeriö, 2019). I beräkningen beaktas egenvikten på det som räknas till permanent last och i detta fall passagerare som nyttig last, $4 \times 82,5 \text{ kg pers/m}^2$ + lite extra. Med en spännvidd 2774 mm vilket skulle resultera i en slutlig nedböjning på 7,9 mm som uppfattas som acceptabelt då L/300 metodens 9 mm ej överskrids. Här beaktas endast utböjning på takbalkarna, fanerskivor som fästs samt andra fasta konstruktioner på taket styrar upp och kan tolkas som säkerhetsfaktor.

Däcksbalkarna är granskade på samma sätt som terrassbalkarna, med maximal tillåten utböjning. Simuleringen är gjord genom att applicera det vattentryck som uppstår från djupgåendet vid max lastad kondition på undersidan av pontonerna och mittendelen av balkarna fastlåsta. Detta är förstås ett extremt fall då det skulle krävas ett lastfall med 6 ton som placeras i en smal remsa mitt på centrumlinjen, som kanske inte finns i verkligheten. Maximal tillåten utböjning enligt L/300- metoden får vara 15 mm och vi klarar det med 0,5 mm, som kan ses nedan i figur 41 och i bilaga 8.



Figur 41. Illustration av däcksbalksimulering. Till vänster nedböjning 14,48 mm och till höger 13,28 mm.

Med ståldäcket på får vi endast en utböjning på 6 mm som kan ses nedan i figur 42.



Figur 42. Illustration av däcksbalksimulering. Till vänster nedböjning 6,048 mm och till höger 5,453 mm

Simuleringsprogrammet ger ej en säkerhetsfaktor på detta då däcksbalkarna är av trä, men genom att kolla på utböjningen för de olika fallen kan vi konstatera att det ligger på en acceptabel nivå. I denna simulering får vi väldigt höga spänningskoncentrationer nåstans i modellen som kan bero på hur vi satt ihop modellen som består av väldigt många delar eller tex grov elementindelning. Vi undersökte var dessa spänningskoncentrationer kunde uppstå utan resultat. Vi bestämde oss att bortse från dessa spänningskoncentrationer och att följa färgskalan istället och då är alla spänningar som vi kan se på en acceptabel nivå.

Där krysstagen är placerade från ponton till balk kan vi se att utböjningen minskar då stagen tar upp en del av kraften. Vet man på förhand exakt vilka lastfall som är aktuella kan detta vidare undersökas och flera stag kan tilläggas.

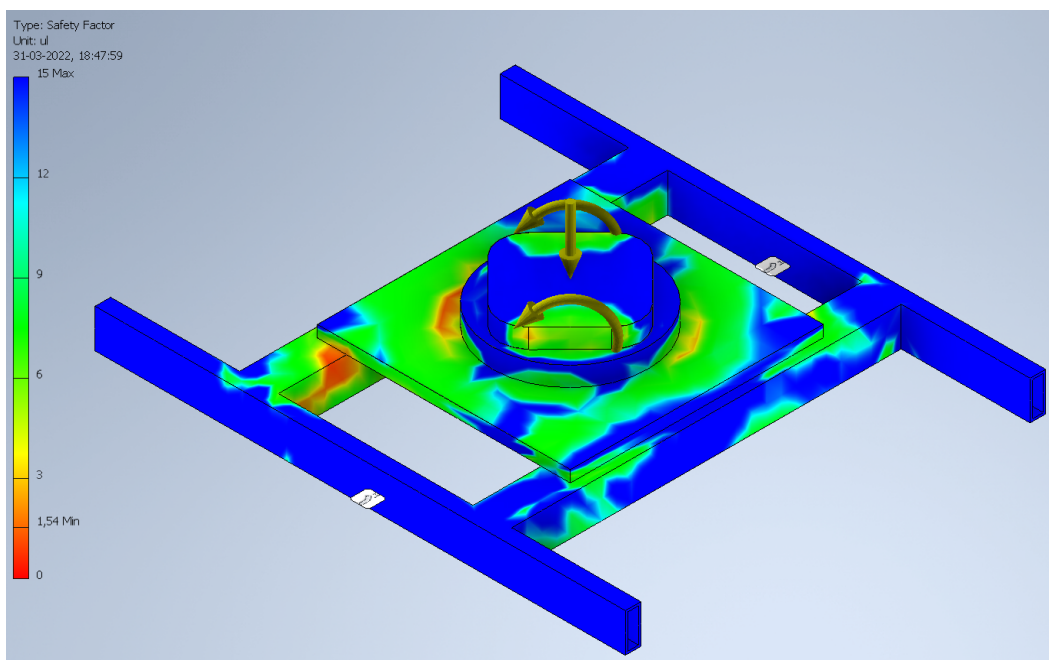
6.2.3 Kranfundament

Då vi med ett maxlyft åstadkommer ett teoretiskt vridmoment på 35 kNm och lokal tryckkraft på 35 kN (+ en faktor på 1,4 från DNV), undersöker vi vilka dimensioner och hållfasthet på material som krävs för att dels fundamentet skall hålla och dels skrovet.

Vi analyserar fundamentet skilt för sig samt med fundamentet på skrovet med de krav som ställs av DNV. Simuleringen på detta görs i två steg för att smidigare undersöka design och dimensioner på fundamentet då simuleringen för hela skrovet tar väldigt lång tid. De extra förstävningarna som tillkommer då fundamentet är fastspänt i skrovet får agera som en extra säkerhetsfaktor då Inventor ej vill ge en säkerhetsfaktor på trä.

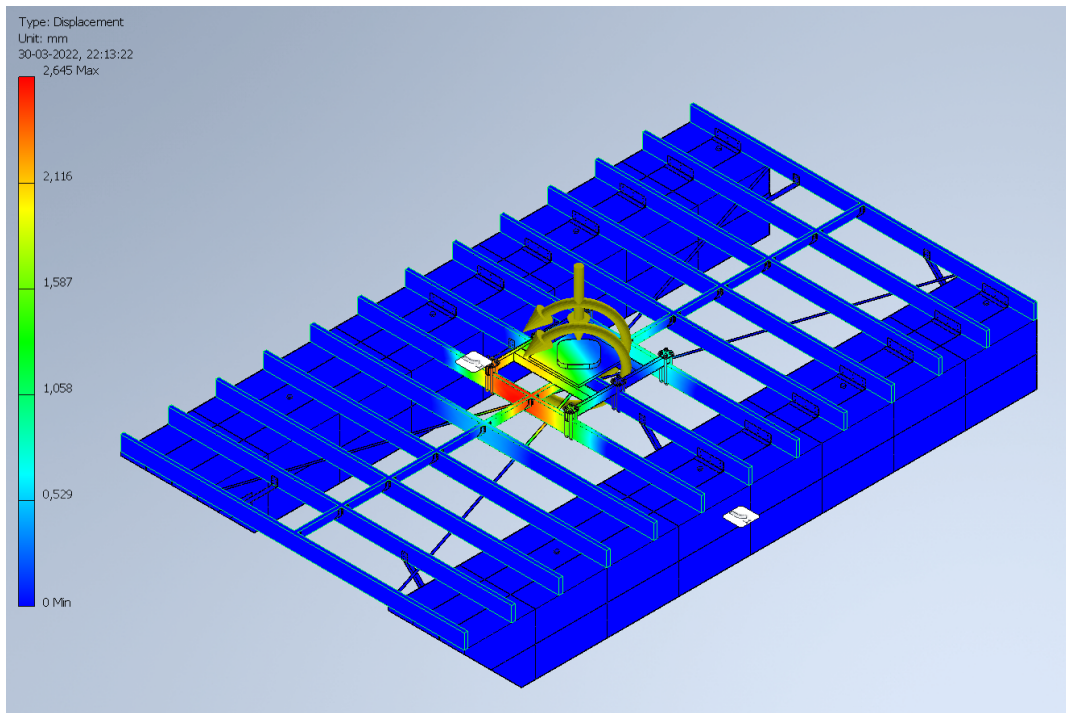
Lyft 45° åt sidan skapar de största spänningarna i fundamentet, men det klarar gränserna vid maxlyft med en säkerhetsfaktor på 1,54 på endast fundamentet och en 2,65 mm utböjning på däcksbalkarna med fundamentet på dem. Säkerhetsfaktorn talar om hur långt ifrån vi ligger från sträckgränsen på materialet. Fundamentet tillverkas i stålklass S355 J2 som har en sträckgräns på 355 MPa. En säkerhetsfaktor på 1,54 kan verka lågt men som nämnts tidigare är simuleringarna gjorda med en säkerhetsfaktor på 1,4 från DNV, så i själva verket blir teoretiska säkerheten mot sträckgränsen 40 % högre.

En tryckkraft och rent moment appliceras mitt på fundamentet som skall motsvara belastning vid max lyft, inräknat med faktorn 1,4. Detta syns nedan i figur 43 och i bilaga 9. Vi undersöker vilka dimensioner som krävs på plattan och profilerna för att det skall klara hållfasthetskraven. I andra steget är kranfundamentet med fastsättningar inspänd i modellen för skrovet och med samma kraft och vridmoment.

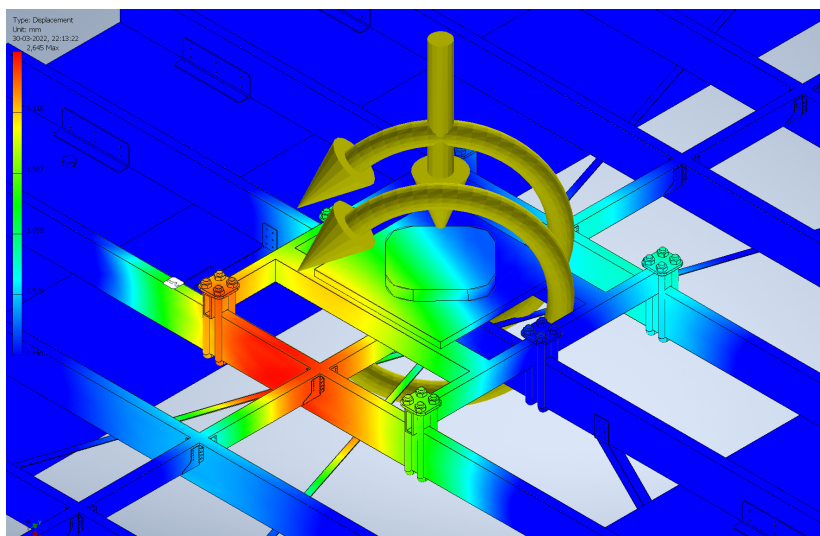


Figur 43. Stressimulering med kranfundamentet.

Nedan i figur 44 och 45 syns hur utböjningen och belastningen i däcksbalkarna ser ut med simuleringen, se hela rapporten i bilaga 10. Även i denna simulering träffade vi på lokala spänningskoncentrationer som vi inte kunde hitta varifrån de uppstår i modellen, dessa kan bero på grov elementindelning i simulationen. Även här bortser vi från dessa spänningskoncentrationer och följde färgkoden, då kan vi konstatera att spänningarna är på en acceptabel nivå.



Figur 44. Tryckkraft och rent moment med kranfundament monterat på skrov.



Figur 45. Inzoomad bild av kranfundamentsimuleringen på däckbalkarna.

7. PROPULSION

Då detta är en deplacerande, stabil flotte, och ej en planande vattenfarkost, är inte framdrivningshastigheten av största betydelse. I praktiken kan den släpas fram av en annan farkost. Vi har valt att undersöka egen framdrivning på flotten och studerar eldriftkonvertering av en konventionell utombordare med avseende på framdrivningen samt installationskostnaden.

Bestämning av framdrivningseffekten är beroende av dimensioner, undervattensdesign, displacement och hastighet. Motståndskrafterna som byggs upp mot skrovet tilltar kvadratisk med hastigheten (*EN400: Principles of Ship Performance*, n.d.). När motståndskrafterna blir lika stora som framdrivningskraften inträder jämviktstillstånd med konstant hastighet. Accelerationen upp till jämviktstillståndet anser vi är av mindre vikt, så vi har grovt undersökt vilken kraft som krävs för att uppnå ett jämviktstillstånd med en hastighet runt 5 knop som vi anser är lagom med tanke på att skrovformen inte är hydrostatiskt utformad för höga hastigheter.

7.1 Val av utrustning

Vi ser på möjligheterna kring val av elmotor, batterier och kapaciteter för att klara av en framdrivning av ca 5 knop i 1,5 timmar, som skulle resultera i en sjöresa på 7,5 sjömil. Obs! Detta är alltså på full effekt, körs det på lägre effekt kan sjöresan bli längre beroende på olika faktorer. Vi har valt en likströmsmotor framför växelström p.g.a. att det annars skulle behövas en inverter mellan batteripaket och motorn för att omforma likströmmen till växelström, vilket inte blir ekonomisk försvarbart.

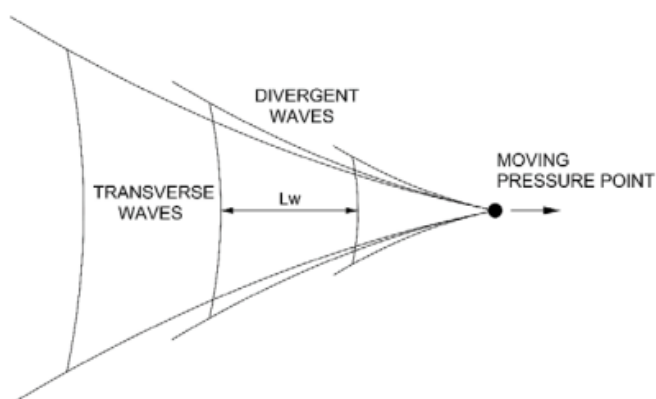
Batteripackets kapacitet dimensioneras enligt en rimlig sjöresa som vi anser är 7,5 sjömil och max spänning som krävs för att driva motorn. Vi använder en rigg och växelhus med propeller från en gammal utombordare och byter ut förbränningsmotorn till en elmotor med batteripaket placerad på flotten i en ventilerad, stänk och brandsäker låda.

7.2 Effektberäkningar

Släp motståndet vi beaktar är vind och vattenmotståndet. Beroende på vilket lastfall vi använder, hur mycket djupgående och vindyta vi har samt vindstyrka och framdrivningshastighet så skiljer sig effekterna. Vi har valt att undersöka detta mer för "bastufallet" då vi har halva djupgåendet men en stor vindyta. Vi kan konstatera att lateralarean rakt framifrån är ca. 10,2 m² och djupgåendet 0,383 m med max antal passagerare. Vi bortser här från batteripaketets massa så att vi kan använda dessa beräkningar till om flotten ska bogseras eller ha en vanlig utombordare.

7.2.1 Våglängd

Då ett skrov färdas framåt i vatten genererar det sitt eget vågsystem där två sorters vågor uppstår; "transversella" och "divergerande", se figur 46 nedan.

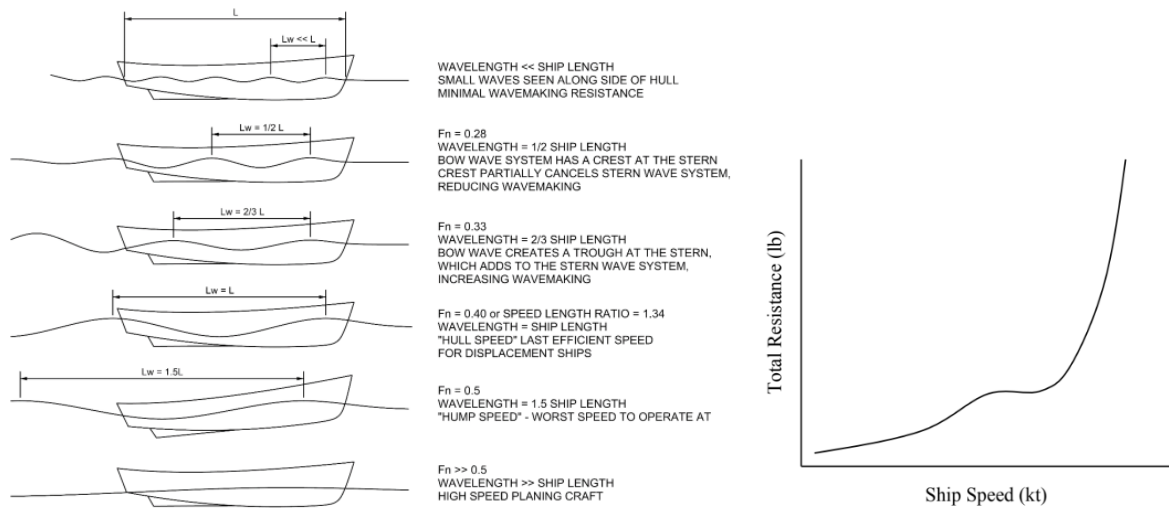


Figur 46. Illustrering på vågsystemet skrovet skapar (EN400: Principles of Ship Performance, n.d.).

Dessa vågor har ett direkt samband för motståndet som skrovet känner av från vattnet. När farkostens hastigheten ökar kommer längden och höjden på vågorna att öka vilket betyder att även effekten för att producera vågorna ökar. Detta är ofta en begränsande faktor för hastigheten på deplacerande farkoster. Med lägre hastighet kommer de transversella vågorna ha en kort våglängd vilket resulterar i en låg vågbildningsmotstånd. När hastigheten ökar, ökar även våglängden, se figur 47 nedan.

Då skrovet når Froudes tal ca 0,4 kommer våglängden att vara ungefär lika med skrovlängden ($L_w \approx L_{WL}$), det är den största effektiva hastigheten för ett deplacerande skrov. Därefter inträffar ett fenomen där vågorna bildar en konstant uppförsbacke farkosten färdas i (Froudes

tal är ca 0,5, våglängden är ca 1,5 gånger skrovlängden). Detta resulterar i en massiv bromsande kraft som kräver mångdubbelt mer effekt för att övervinna vågen och komma upp i plan (Froudes tal >0,5). Detta fenomen kan vi lättare se nedan i figur 48, där vi ser en typisk motståndskurva för ett skrov mot hastighet.



Figur 47 & 48. Till vänster ses hur vågorna ser ut mot skrovlängden, till höger ser vi en typisk motståndskurva mot hastighet (EN400: Principles of Ship Performance, n.d.).

7.2.2 Vindmotstånd

Trycket som vinden skapar mot flotten räknar vi teoretiskt fram enligt:

$$F_{vind} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{luft} \cdot v_{rel}^2 \cdot A \quad [N]$$

Effekten som skapas av detta lufttryck beräknas enligt:

$$P_{vind} = F_{vind} \cdot v_{rel} \quad [W]$$

Där “ v_{rel} ” är den relativa lufthastigheten som farkosten känner av.

7.2.3 Vattenmotstånd

Kraften som vattnet skapar mot projicerade undervattensarean på pontonerna räknar vi teoretiskt fram enligt (*Drag Coefficient*, n.d.):

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_{vatten} \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A \quad [N]$$

Effekten som skapas av detta bromsande tryck kan beräknas enligt:

$$P_{vatten} = F_{vatten} \cdot v \quad [W]$$

7.2.4 Totalmotstånd

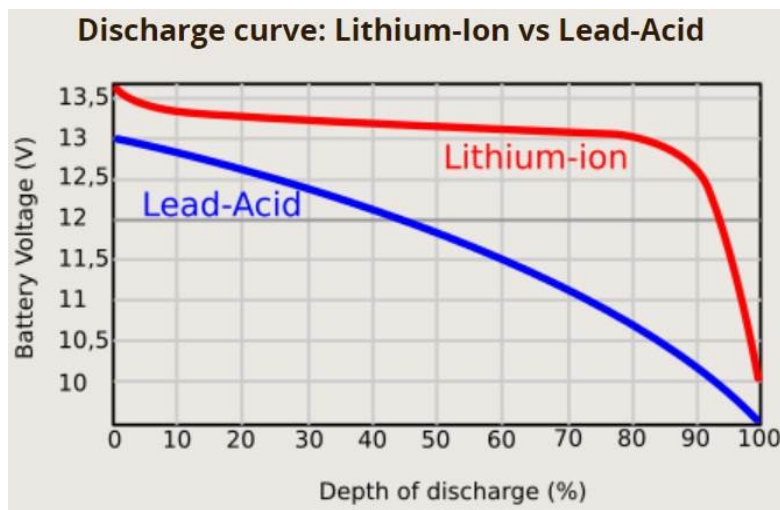
Totala effekten från vattnet och luften kan beräknas enligt:

$$P_{tot} = P_{luft} + P_{vatten} = [W]$$

Detta resulterar i ett effektbehov på 14 kW vid 5 knop. Beräkningarna i sin helhet kan tas del av i bilaga 11.

7.2.5 Eldrift

Eldriften kräver en del beräkningar. Drifftiden beräknas när totala spänningen och kapaciteten är känd. Beräkningarna i sin helhet syns i bilaga 11. Nedan går igenom hur beräkningarna genomförts då det krävs både serie- och parallellkoppling för att få ut önskad drifftid av totalt 20 batterier. Batterierna seriekopplas för att uppnå erforderlig spänning. Max spänning används p.g.a. en mindre kapacitetåtgång samt kan klenare kablar användas då strömmen sjunker. Till batterier har vi valt litium-jon-batterier på 12,8 V & 125 Ah enhetsvis då spänningen på vanliga blybatterier blir ogynnsam mycket snabbare än på li-jon-batterier som vi kan se i figur 49 nedan enligt Peukerts lag (Abdi et al., 2017).



Figur 49. Illustrering av spänningen för bly och li-jon-batterier mot urladdningsstadiet (The Pilot Group, 2021).

Totala spänningen kan beräknas enligt:

$$U_{tot} = U_{batteri} \cdot Antal_{seriekopplade} \quad [V]$$

Totala effektkapaciteten kan beräknas enligt:

$$\text{Effektkapacitet} = Ah_{\text{batteri}} \cdot \text{Antal}_{\text{parallellkopplingar}} \cdot U_{\text{tot}} \quad [\text{kWh}]$$

Drifftiden kan beräknas enligt (*The Engineering ToolBox*, n.d.-a):

$$\text{Drifftid} = \frac{\text{Effektkapacitet} [\text{kWh}]}{\text{Motoreffekt} [\text{kW}]} \quad [\text{h}]$$

7.3 Resultat

Drevförsluter är beroende av bl.a. utväxlingsförhållande och varvtal. Vi uppskattar det till 10% (Kuznetsov, n.d.). Ytterligare, med ett uppskattat propeller-slip på 20 % (Andersson, 2014), får vi en mekanisk verkningsgrad efter motorn enligt:

$$\eta_{\text{mek}} = \eta_{\text{växel}} \cdot \eta_{\text{prop}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot = \underline{72 \%}$$

Med en uteffekt på 20 kW från elmotorn skall vi få en överförd effekt till vattnet enligt:

$$P_{\text{prop}} = \eta_{\text{mek}} \cdot P_{\text{el}} = 0,72 \cdot 20 \text{ kW} = \underline{14,4 \text{ kW}}$$

Enligt elmotortillverkaren skall motorverkningsgraden ligga över 90 % (*BLDC Motor 20kW*, 2017). Verkningsgraden ökar med ett högre effektuttag. Vi uppskattar motorverkningsgraden till 95 % då vi utgår från en nära full effekt. Enligt motortillverkaren krävs även en kylvatteneffekt på ca 5 % av inmatad effekt. Den teoretiska framdrivningshastighet vi får med 14,4 kW överförd till vattnet, enligt det vi valt att beakta, blir ca 5 knop. För att slutligen se vilken ineffekt som krävs till motorn beräknar vi enligt (*The Engineering ToolBox*, n.d.-b):

$$P_{\text{in}} = \frac{P_{\text{ut}}}{\eta_{\text{el}}} \cdot P_{\text{kyl}} = \frac{20 \text{ kW}}{0,95} \cdot 1,05 \approx \underline{22 \text{ kW}}$$

En stor del av de li-jon-batterier vi kollat på har vissa begränsningar för parallell-/seriekoppling enligt återförsäljarna. Vi har bortsett från dessa begränsningar i vår undersökning för att få en uppskattning vad ett batteripaket kan kosta.

8. EKONOMI

Här tar vi en närmare titt på den ekonomiska delen av projektet. Vi beaktar endast teoretisk materialåtgång. En marginal på åtminstone 15 % bör tilläggas pga materialsvinn. Här har även en del antaganden tagits samt vissa grova uppskattningar som gör att denna kalkyl endast bör ses som riktgivande. Dessutom var tanken att det ska gå att konstruera allt själv, så inget arbete beaktas i kalkylen.

8.1 Skrov

Vi valde att undersöka pontoner i aluminium, vilket ej är det billigaste materialet, men det är starkt och lätt. Om priset är största prioritet anser vi lönar det sig att anskaffa färdiga pontoner i plast eller konstruera dem av stål. Skrovet blev ganska dyrt med dagens priser, se bilaga 12. Dock blev skrovets totala slutsumma inte så stor som vi trodde det skulle bli under arbetets gång, däremot blev durkplåten betydligt dyrare än vad vi hade tänkt oss.

8.2 Kran

Kostnadskalkylen över kranapplikationens tillbehör såsom kranfundament, U-klämmor, batteri, hydraulikpump och hydraulolja är på alla sätt lätt överkomlig då den landade på under 2 000 €. Som vi kan se i bilaga 12 utgör kranens pris på 11 000 € största delen av slutsumman, då vi använt priset på en ny kran.

8.3 Bastu

Detta var både den svåraste samt lättaste delen att laga en kalkyl på. Allt byggmaterial finns prissatt på internet på otaliga byggvaruhus hemsidor, dock kan det vara en ide att fråga efter en offert för att få mängdrabatt. Vi tyckte det var svårt att uppskatta materialåtgång så här har grova antaganden tillämpats. Kalkylen kan vi ta del av i bilaga 13. Slutsumman på ca 7 500 € tycker vi blev rimlig med tanke på att bastun skall rymma 12 pers samt taket skall hålla för dem likväl.

8.4 Propulsion

Här var tanken att konvertera en konventionell utombordare, som blivit överlopps, till elektrisk batteridrift. Det finns elmotorer med alla dess olika effekter att få tag på, men tyvärr är de flesta över 5 kW växelström. Växelström skulle i sig inte vara ett problem men pga att batterierna levererar likspänning behövs i så fall en inverter mellan batterierna och elmotorn. I detta fall anser vi det inte är ekonomiskt försvarbart att kolla på växelströmsmotorer då inverters pris rentav blir dyrare än elmotorn. Som tur var kom vi över en vattenkyld 20 kW elmotor på 72-120 VDC som var rimligt prissatt till 2 500 €, se bilaga 12.

20 kW är en ganska liten effekt med tanke på storleken av flotten, men idén var att kunna ta sig fram i rimlig marschfart med en nytänkande framdrivning av förnyelsebar energi istället för konventionell drift med fossilt bränsle.

Vanliga blybatterier skulle ha varit kostnadseffektivare men med tanke på att vi endast får ut ca 50 % av kapaciteten före spänningen blir ogynnsam (Rebelcell, 2020), skulle batteripackets vikt ha legat kring 1,5 ton för att klara av samma drifttid som li-jon-batterier. Li-jon-batterier har en fördel att de är mycket lättare samt att de kan ge upp till nästan full kapacitet tills de är urladdade. De tål även fler och djupare urladdningscykler. Dock är priset en väldigt stor nackdel som är över 5 gånger dyrare för de batterier vi valt, batterierna kostar 840 €/st. Detta resulterar i att li-jon-batterierna plus elmotorn, 19 500 €, skulle bli ca 2 gånger dyrare än skrovet, 10 500 €, eller motsvarande pris som skrovet och bastun ihop på 18 000 €, se bilaga 12.

8.5 Tillbehör

Här har kostnaden för de vanligaste tillbehören som bör finnas ombord kalkylerats, se bilaga 13. Dock förekommer det en viss del utrustning som ej beaktats då slutarbetets syfte ej var att besiktiga en farkost.

SLUTSATS

Ursprungliga idén för detta slutarbete var “bastuflotten”. Vår projektledare kom sedan med idén att vidareutveckla detta till en multifunktionell flotte som kan användas i arbetssyfte. Det tyckte vi lät intressant och hakade på idén. Vi valde då att göra konstruktionen under däck samma för de båda fallen och välja syfte med farkosten genom att byta ut däcket.

En stor del av arbetet har gått till Inventor. Både till 3D-ritning av delar, hydrostatiska undersökningar och stressanalyser. I efterhand tycker vi det skulle vara smartare att lära sig något program som är mera lämpat för hydrostat- och stabilitetsberäkningar, t.ex. Rhinoceros eller liknande, då just den biten är väldigt osmidig med Inventor. Tiden det skulle tagit att lära sig ett nytt program tror vi tjänas in ganska snabbt när undersökningen väl kommit igång.

På eldriftundersökningen gjordes en grov överslagsberäkning på utrustning och prisbild. Det var intressant att undersöka men prisbilden tycker vi inte är försvarbar på något sätt i dagsläget. Eventuellt kan någon form av hybriddrift eller annat alternativt bränsle undersökas. Det finns även här lite osäkerheter kring design av batteripacket. Det är något som kan forskas vidare på.

För vidare undersökning av farkosten skulle förslagsvis även detta kunna studeras:

- “Trä-området” ligger utanför våra studier. Det finns viss osäkerhet kring livslängden och hållfastheten. Kan skrovet byggas upp på ett annat sätt med annat material?
- Aluminium är dyrt. Alternativt skrovmaterial kunde även undersökas här. För stål krävs mera material för samma flytbarhet men blir prisbilden ändå bättre? Beaktning av bl.a. anodisering och rostskydd lär behövas istället.
- Alternativ skrovform. Om arbetsflotten är det intressanta, och en noggrannare kännedom om lyft- och lastspecifikationer finns, kan däcket och dess underliggande stöd förbättras för minskning av spännvidden och utböjningen.

Detta examensarbete har gett oss fördjupad kunskap inom projektering av vattenfarkoster under 24 meter med fördjupning i DNV regelverk och CAD-program, som vi tror kan gynna vårt kommande arbetsliv. Vi har bara ett urplock från regelverket men vi inser ändå hur stor process det är att få en klassad farkost. Det är mycket detaljer vi annars ej skulle tänkt på.

SPECIFIKATION

MARIN KONSTRUKTION

Allmänt

Denna farkost är en förprojektering av en multifunktionell katamaranflotte som är tänkt att kunna användas till bastuflotte eller arbetsbåt. Det är en låghastighetsfarkost av egen framdrivning med eldrift och är tänkt att kunna ta max 12 st passagerare.

Huvuddimensioner, dödvikt och lättvikt

- Total längd: 7,5 m
- Längd i konstruktionsvattenlinje: 7,319 m
- Bredd: 4,5 m
- Djupgående: 0,569 m (pontoner)
- Fribord till toppen på däcksbalk: 0,426 m
- Max hastighet utan vindmotstånd vid 20 kW: ≈ 7 knop
- Lättvikt_{arbets}: 2,494 ton
- Lättvikt_{bastu}: 4,147 ton
- Dödvikt_{arbets}: 5,51 ton
- Dödvikt_{bastu}: 3,857 ton
- Max displacement vid konstruktionsvattenlinjen: 8 ton

Mera mått kan tas del av i bilaga 4 och 5.

KÄLLFÖRTECKNING/REFERENCE LIST

- Abdi, H., Rasouli Nezhad, R., & Salehimaleh, M. (2017). Fuel Cells. In *Distributed Generation Systems* (pp. 221–300). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804208-3.00005-4>
- ÅFS. (2017). *Landskapslag Infrastruktur och trafik mm.*
https://www.regeringen.ax/sites/www.regeringen.ax/files/law/code/n_s773-920.pdf
- Andersson, T. (2014). *Maskinlära för sjöpersonal*. TA-driftteknik.
- Bexedek, Z. (1974). *STABILITY OF CATAMARANS.*
<https://paperpile.com/app/p/9ec75335-8595-0eb6-aaa7-2b0e2f0a7dae>
- BLDC Motor 20kW.* (2017, February 16). Electro Mobile.
<https://www.electro-mobile.se/produkt/bldc-motor-20kw/>
- Det Norske Veritas.* (n.d.). Retrieved March 11, 2022, from
https://sv.wikipedia.org/wiki/Det_Norske_Veritas
- Dnvgi As. (7.2016). *DNVGL-ST-0342.pdf.*
<https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/ST/2016-07/DNVGL-ST-0342.pdf>
- Drag Coefficient.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from
https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html
- EN400: Principles of Ship Performance.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from
<https://www.usna.edu/NAOE/academics/en400.php>
- Finlex. (2009). *FINLEX® - Uppdaterad lagstiftning: Lag om fartygs tekniska säkerhet och säker drift... 1686/2009.* <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2009/20091686>
- Finlex. (2019). *FINLEX® - Uppdaterad lagstiftning: Sjötrafiklag 782/2019.*
<https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2019/20190782>
- Finnfoam Oy. (n.d.). *Finnfoam XPS -eriste.* FI multidomain. Retrieved February 13, 2022, from
<https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt>
- Föreningen Sveriges Skogsindustrier. (2020). *TräGuiden.* <https://www.traguiden.se/>

Harrington, J., Collette, M., & Sensharma, P. (2.2010). *SSC_SR_1460_Final_Report.pdf*.
http://www.shipstructure.org/proj/yabbfiles/Attachments/SR_1460_Final_Report.pdf

Harvia Oy. (2018). *Harvia yleisesite.pdf*.
<https://www.netrauta.fi/attachments/products/harvia/puulammitteiset/yleisesite.pdf>

IMO. (n.d.). *Safety and environmental standards on passenger ships*. Retrieved January 20, 2022,
from <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/passengership-default.aspx>

Kuznetsov, A. (n.d.). *Boating performance*. Retrieved March 31, 2022, from
<http://www.killcaremarina.com.au/commonly-asked/60-boating-performance>

Rakentaja. (2012). *Saunatilan suunnittelu*.
https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9541/saunatilan_suunnittelu.htm

Ranta-Aho, I. (2021). *Saunalautta – onko kyseessä rakennus vai vene? Lue vinkit kelluvan saunan rakentamiseen ja tarvittaviin lupiin*. Meillä kotona.
<https://www.meillakotona.fi/artikkelit/saunalautta-onko-kyseessa-rakennus-vai-vene>

Rebelcell. (2020, November 20). *Discharge and battery capacity*. Rebelcell.
<https://www.rebel-cell.com/knowledge-base/the-discharge-and-capacity-of-batteries/>

The Engineering ToolBox. (n.d.-a). Retrieved April 20, 2022, from
<https://www.engineeringtoolbox.com/index.html>

The Engineering ToolBox. (n.d.-b). Retrieved April 20, 2022, from
<https://www.engineeringtoolbox.com/index.html>

The Pilot Group. (2021, May 18). *Lithium ion battery vs lead acid battery*. The Pilot Group.
<https://www.thepilotgroup.co.uk/lithium-ion-battery-vs-lead-acid-battery/>

Traficom. (2021a). *Saunalautat*. Traficom. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/veneily/saunalautat>

Traficom. (2021b, June 29). *Hysesbåtar*. Traficom.
<https://www.traficom.fi/sv/transport/batliv/hysesbatar>

UPM Plywood. (n.d.). *WISA®-Kate Plus*. WISA®-Kate Plus | WISA PLYWOOD. Retrieved
February 13, 2022, from

<https://www.wisaplywood.com/fi/products/product-catalogue/wisa-kate-plus/>

Ympäristöministeriö. (2019). *Konstruktioners hållfasthet och stabilitet*.

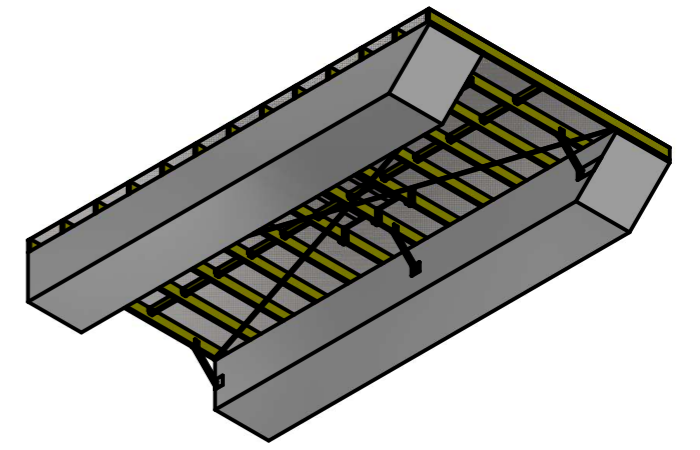
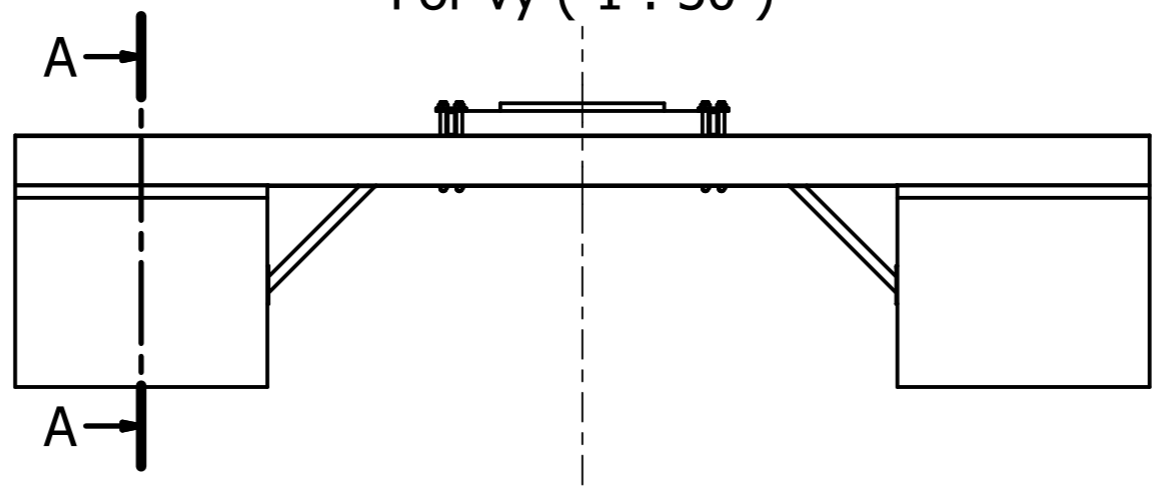
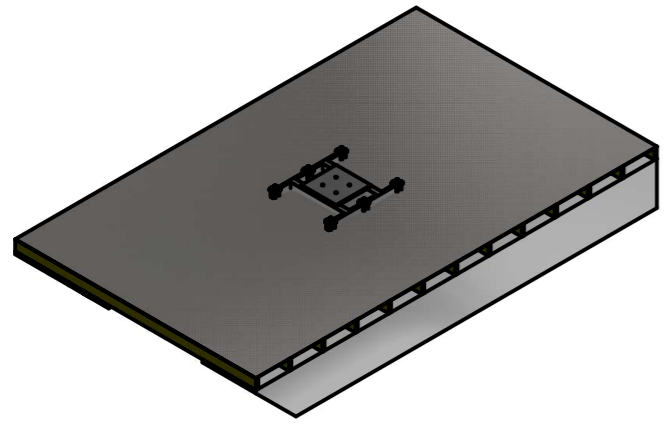
BILAGOR/APPENDICES

Bilaga 2

GZ meas				GZ calc									
Ss [°]	Trim [°]	GZ [m]	M _R	WL koord.	dm	Fribord	∇ CAD	TCBx	VCBy	Ss	fi rad	GZ	Mr
0	0	-0.22	-1.13	0.37	0.37	0.650	5.1319	0	0.1867	0	0	0.00	0
0.15	1.25	0.00	0.00	-	0.565	0.451	5.1560	0.7601	0.2208	5	0.09	0.58	3.01
5	1.20	0.58	2.98	-	0.679	0.331	5.1940	1.2121	0.274	8	0.14	0.93	4.84
10	1.00	1.16	5.96	0.27	0.843	0.142	5.1702	1.7763	0.3739	15	0.26	1.24	6.41
20	3.00	1.02	5.26	-0.05	0.91	0.014	5.1310	1.7842	0.3738	25	0.44	0.84	4.32
30	6.00	0.61	3.11	-0.4	0.963	-0.127	5.1413	1.7875	0.3765	35	0.61	0.41	2.12
40	6.00	0.18	0.90	-0.84	0.997	-0.276	5.1374	1.7904	0.3786	45	0.79	-0.03	-0.15
45	6.00	-0.04	-0.22	-145	1.01	-0.425	5.1423	1.7924	0.3815	55	0.96	-0.47	-2.42

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

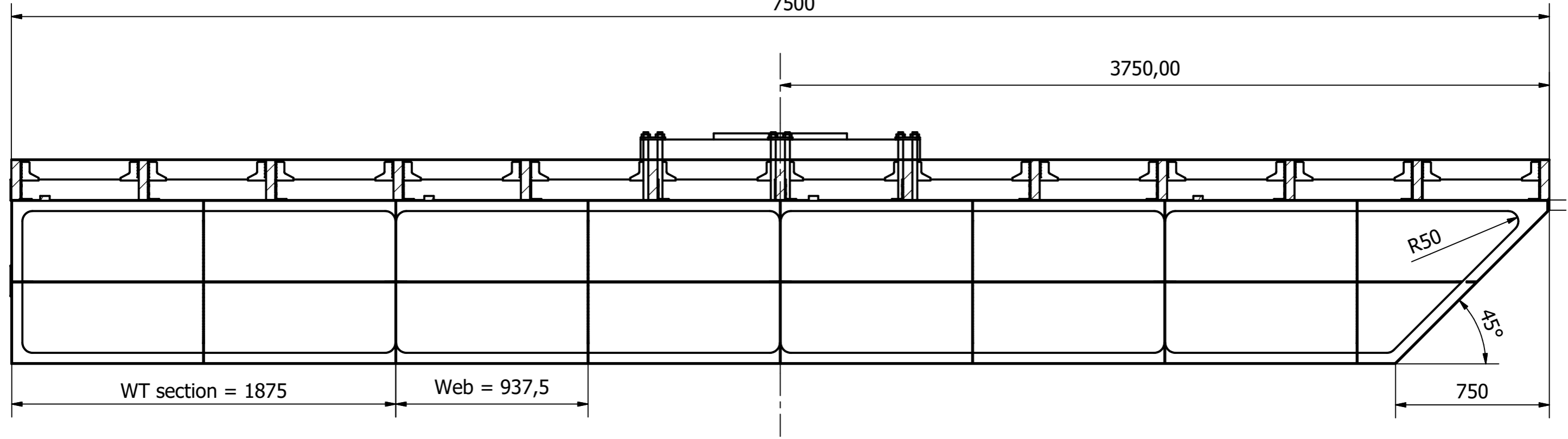
För vy (1 : 30)



A-A (1 : 20)

7500

3750,00



WT section = 1875

Web = 937,5

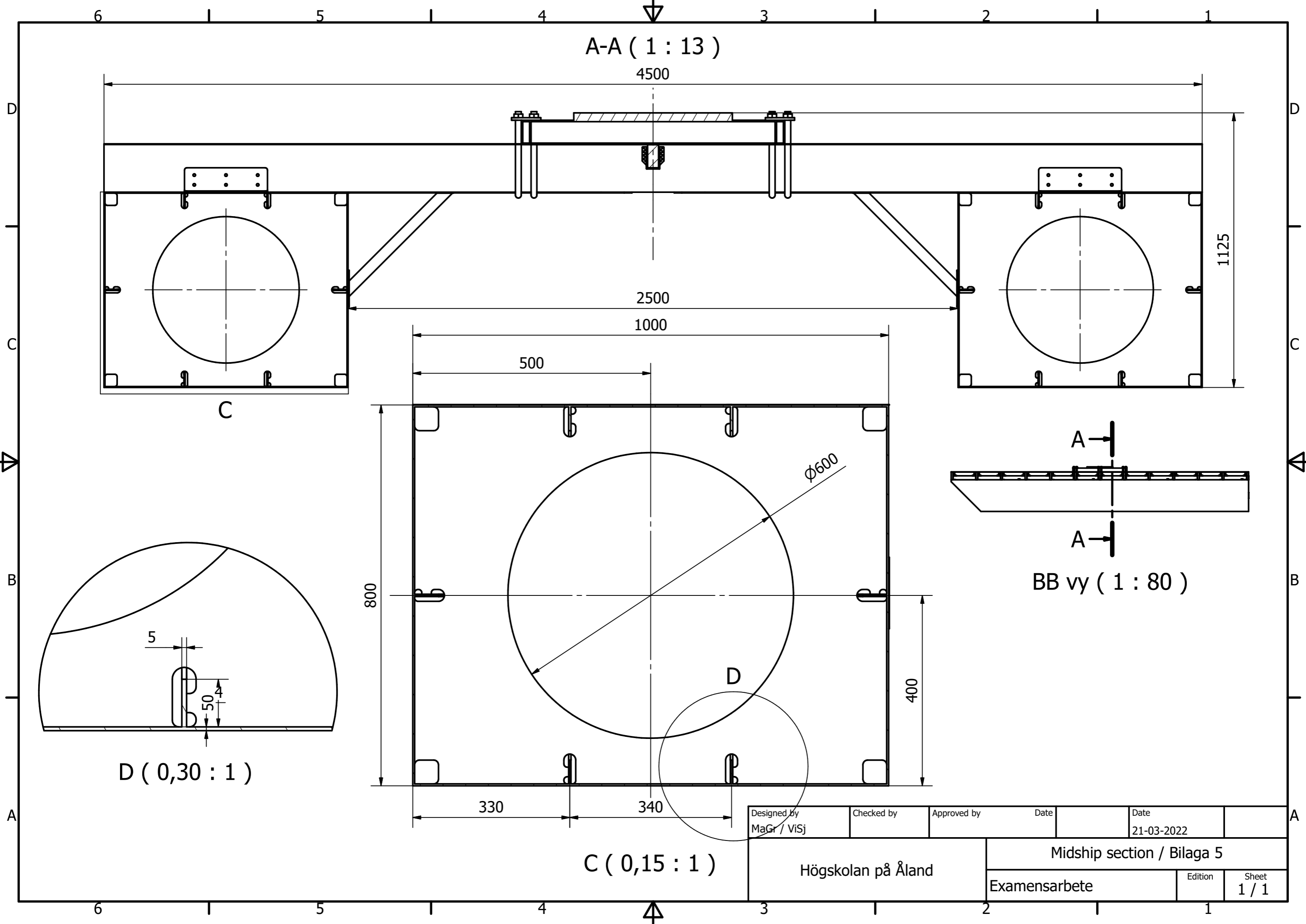
R50
45°

750

50

Designed by MaGr / ViSj	Checked by	Approved by	Date	Date 21-03-2022	
Högskolan på Åland			Longi. ponton section / Bilaga 4		
			Examensarbete	Edition	Sheet 1 / 1

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1



A-A (1 : 13)

4500

1125

2500

1000

500

Ø600

800

400

330

340

C (0,15 : 1)

D (0,30 : 1)

5

50

4

BB vy (1 : 80)

Designed by MaGr / ViSj	Checked by	Approved by	Date	Date 21-03-2022
Högskolan på Åland			Midship section / Bilaga 5	
Examensarbete			Edition	Sheet 1 / 1

Stress Analysis Report

Bilaga 6



Analyzed File:	
Autodesk Inventor Version:	2020 (Build 240168000, 168)
Creation Date:	21-04-2022, 15:05
Study Author:	mathi
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author mathi

Project

Designer	mathi
Cost	0,00 €
Date Created	21-04-2022

Status

Design Status WorkInProgress

Physical

Mass	453,952 kg
Area	68690600 mm ²
Volume	149165000 mm ³
Center of Gravity	x=98,2437 mm y=-0,00000000166473 mm z=-412,637 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

Static Analysis:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	21-04-2022, 14:58
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,2
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

Material(s)

--	--

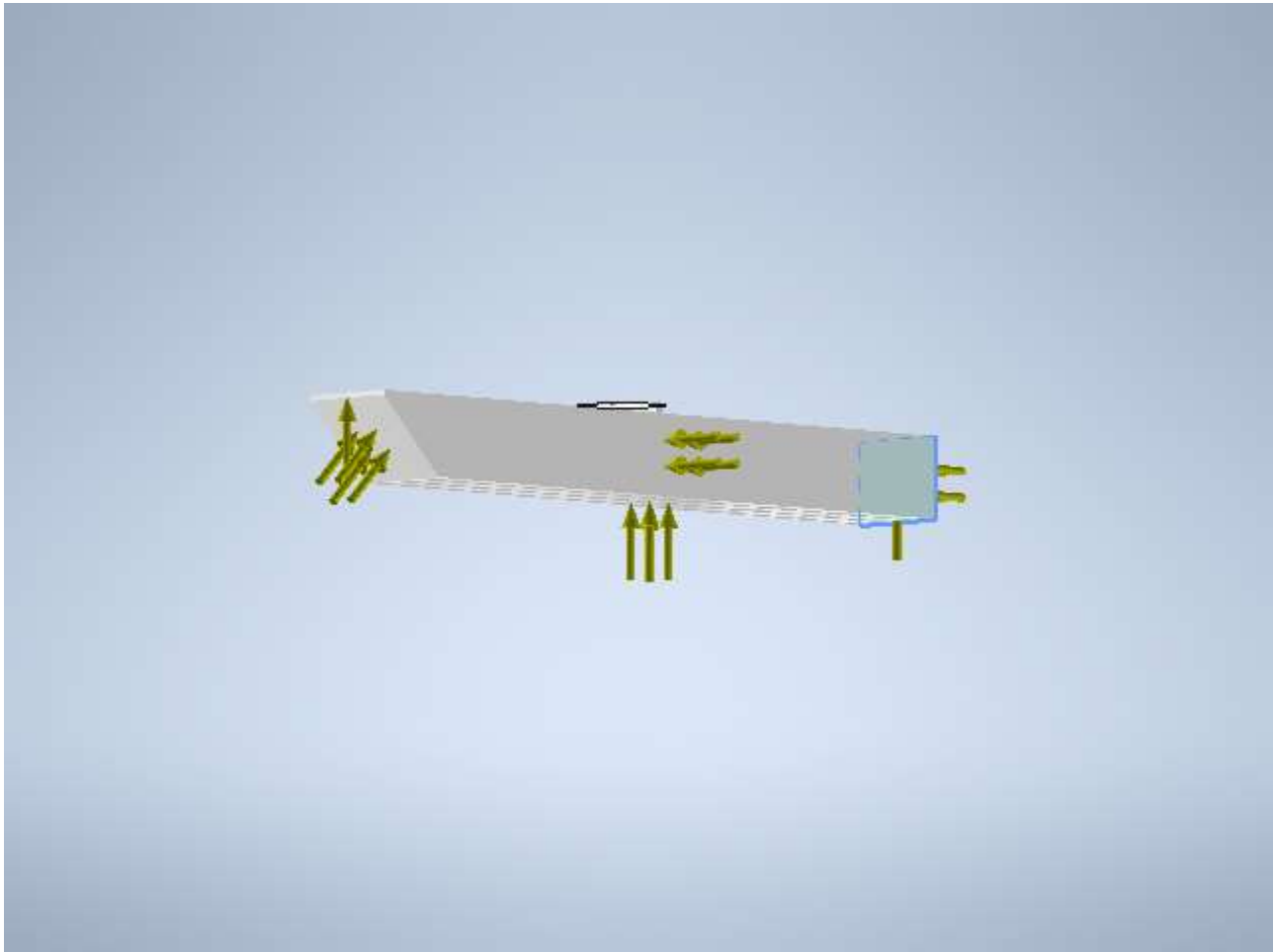
Name	Steel AISI 9262 271 QT	
General	Mass Density	7,865 g/cm ³
	Yield Strength	786 MPa
	Ultimate Tensile Strength	999 MPa
Stress	Young's Modulus	207 GPa
	Poisson's Ratio	0,33 ul
	Shear Modulus	77,8195 GPa
Part Name(s)	Ponton stress fäste.ipt	
Name	Aluminium EN AW-6082	
General	Mass Density	2,7 g/cm ³
	Yield Strength	240 MPa
	Ultimate Tensile Strength	280 MPa
Stress	Young's Modulus	70 GPa
	Poisson's Ratio	0,33 ul
	Shear Modulus	26,3158 GPa
Part Name(s)	WT Pontoon.ipt	

Operating conditions

Force:1

Load Type	Force
Magnitude	26700,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	26700,000 N

Selected Face(s)

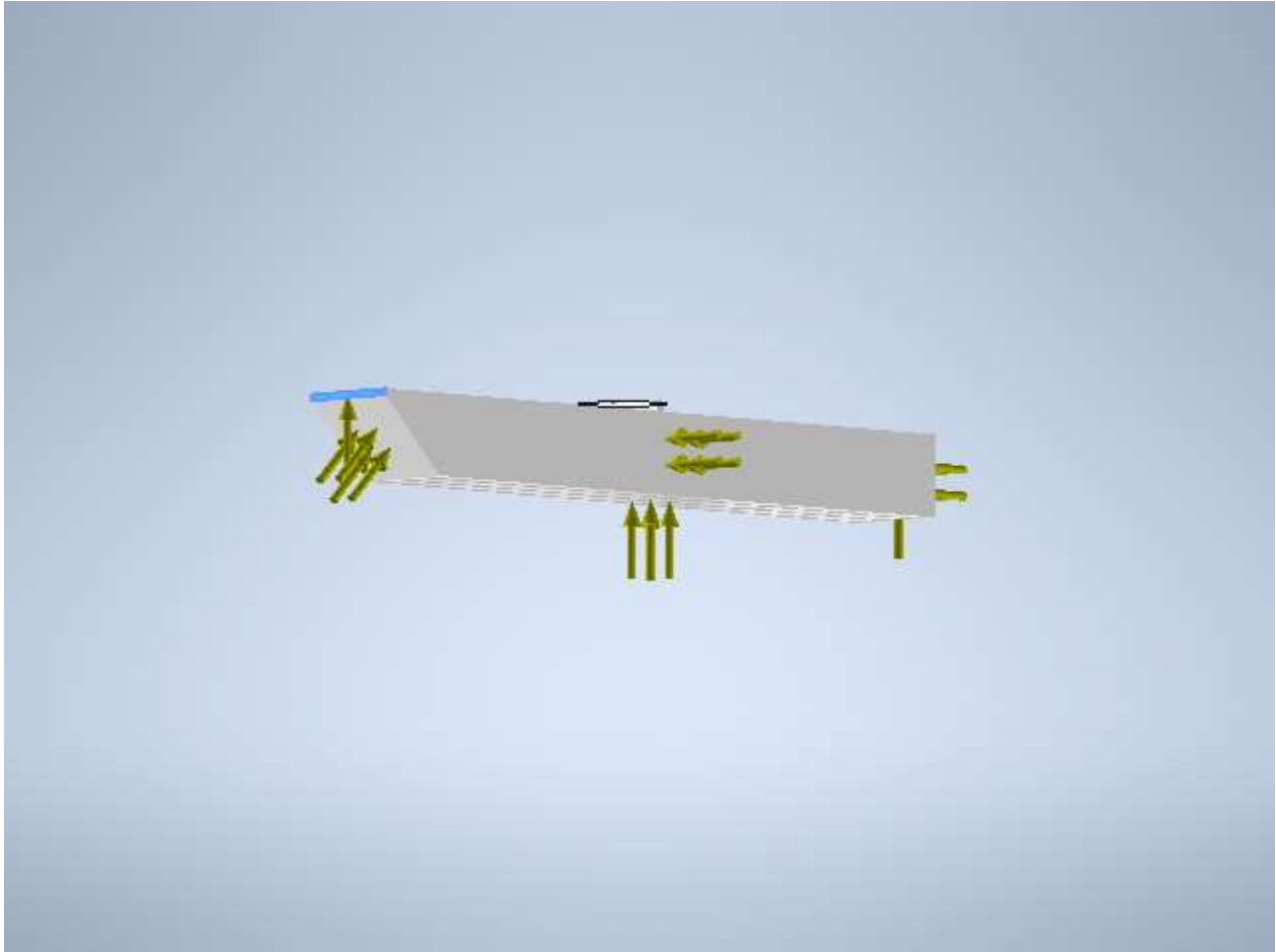


Force:2

Load Type	Force

Magnitude	26700,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	26700,000 N

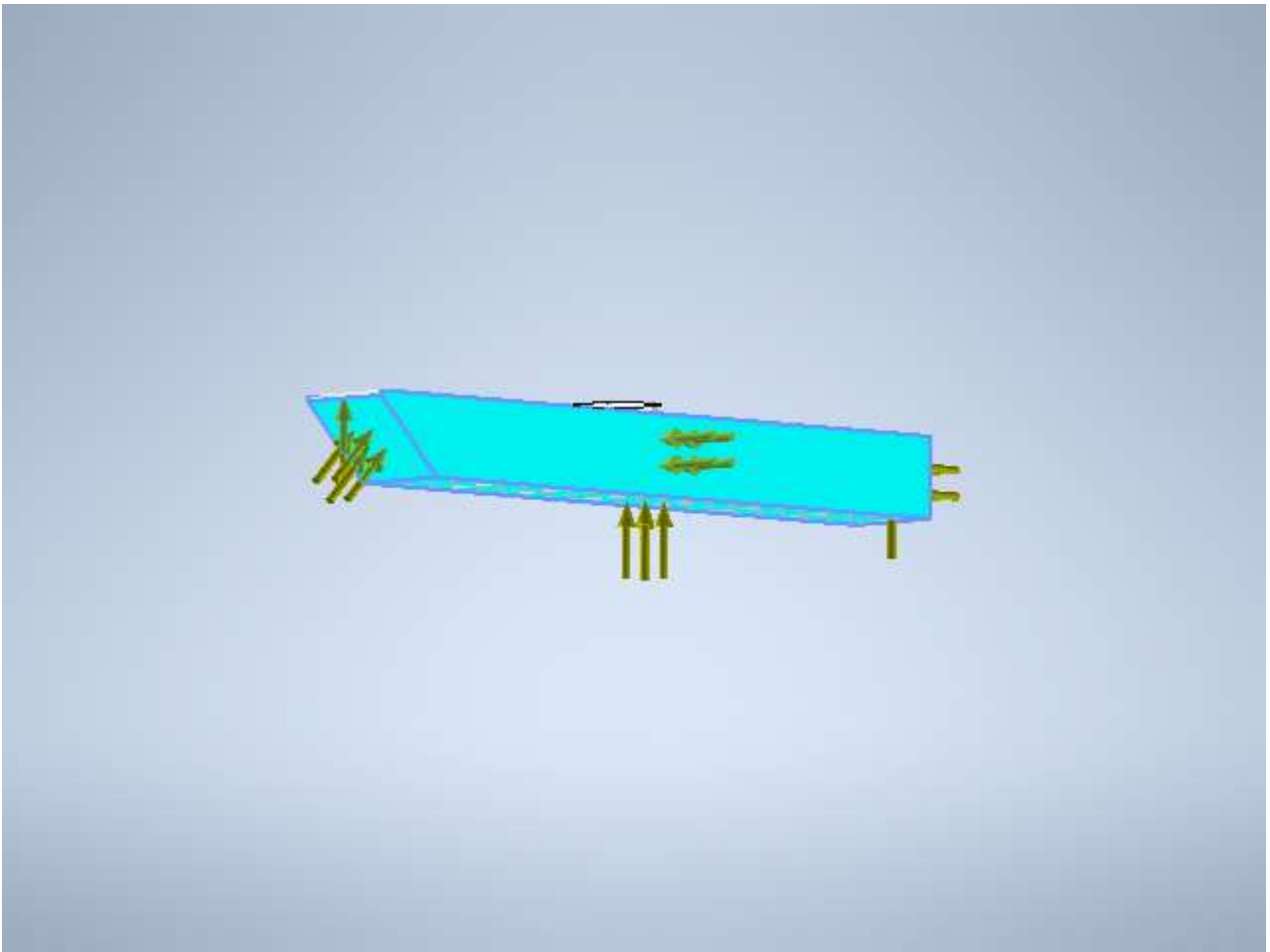
Selected Face(s)



Pressure:1

Load Type	Pressure
Magnitude	0,010 MPa

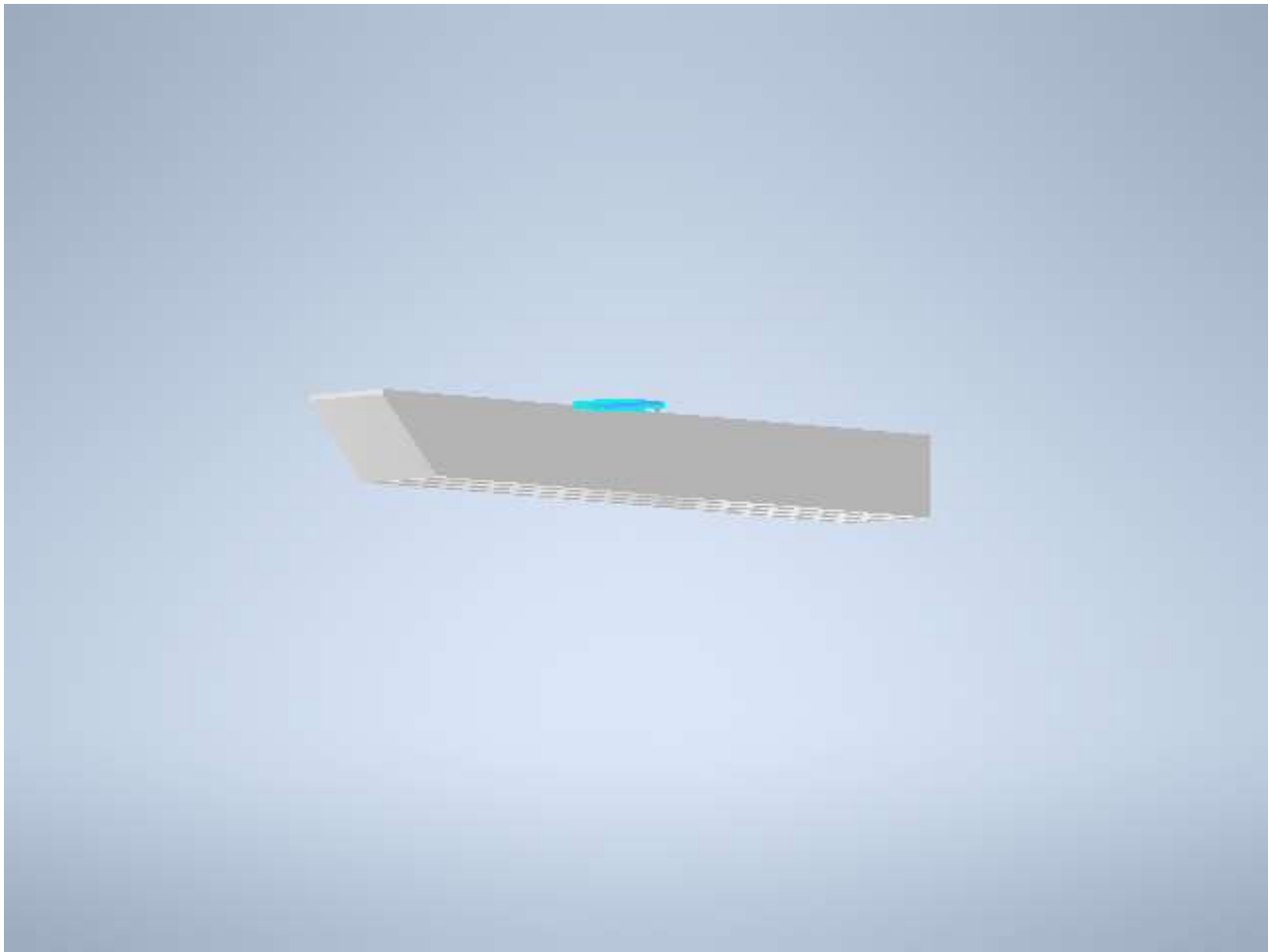
Selected Face(s)



☐ **Fixed Constraint:1**

Constraint Type Fixed Constraint

☐ **Selected Face(s)**



Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	128401 N	500 N	62,7459 N m	0 N m
		0 N		-62,7459 N m
		-128400 N		0 N m

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	149165000 mm ³	
Mass	453,952 kg	
Von Mises Stress	0,0565358 MPa	131,613 MPa
1st Principal Stress	-29,2496 MPa	58,6015 MPa
3rd Principal Stress	-138,816 MPa	11,8361 MPa
Displacement	0 mm	7,83475 mm
Safety Factor	2,80212 ul	15 ul

Figures

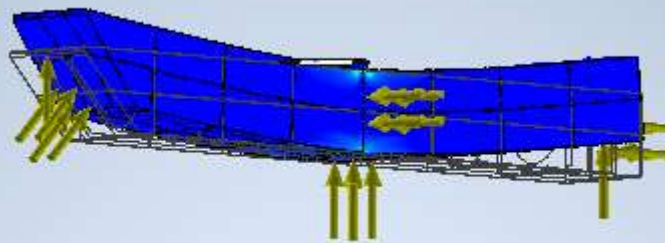
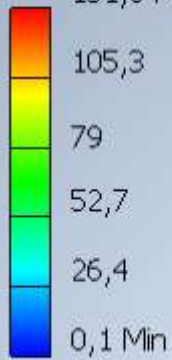
Von Mises Stress

Type: Von Mises Stress

Unit: MPa

21-04-2022, 15:05:07

131,6 Max



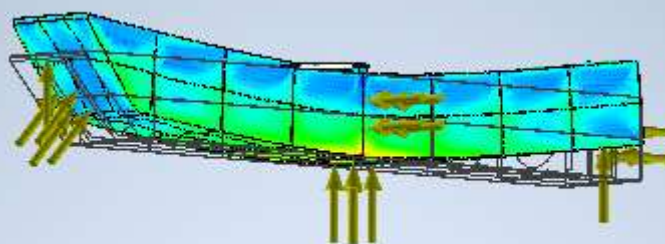
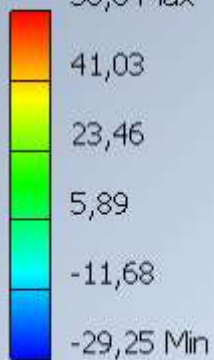
1st Principal Stress

Type: 1st Principal Stress

Unit: MPa

21-04-2022, 15:05:08

58,6 Max

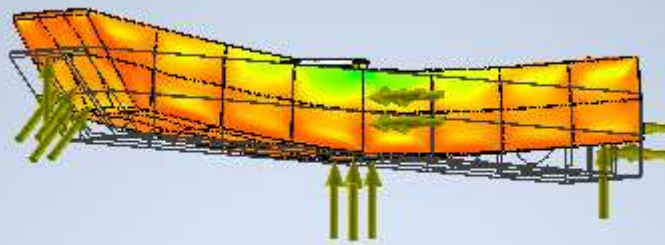


3rd Principal Stress

Type: 3rd Principal Stress

Unit: MPa

21-04-2022, 15:05:08

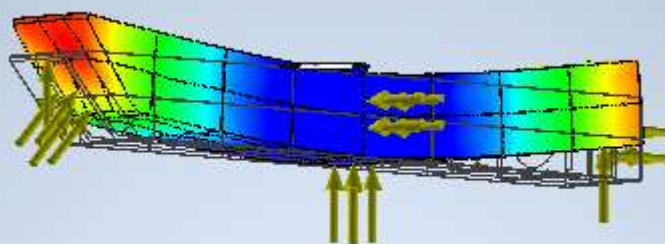
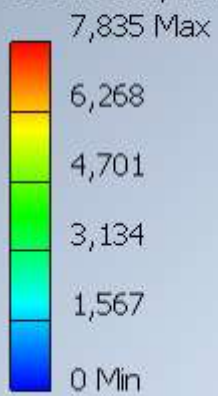


▣ Displacement

Type: Displacement

Unit: mm

21-04-2022, 15:05:09

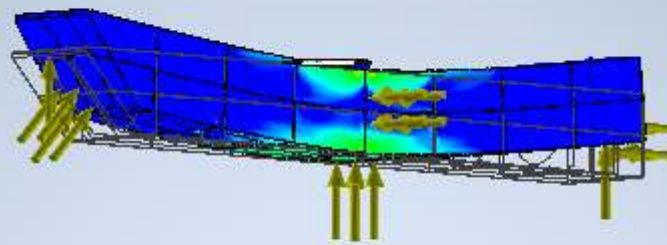
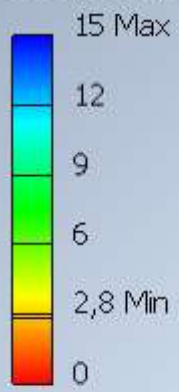


▣ Safety Factor

Type: Safety Factor

Unit: ul

21-04-2022, 15:05:09





Analyzed File:	FullWTAssembly.iam
Autodesk Inventor Version:	2020 (Build 240168000, 168)
Creation Date:	30-03-2022, 19:34
Study Author:	mathi
Summary:	

☐ Project Info (iProperties)

☐ Summary

Author mathi

☐ Project

Part Number	FullWTAssembly
Designer	mathi
Cost	0,00 €
Date Created	12-03-2022

☐ Status

Design Status WorkInProgress

☐ Physical

Mass	1528,88 kg
Area	177557000 mm ²
Volume	867469000 mm ³
Center of Gravity	x=0,00000000995105 mm y=3808,15 mm z=-111,413 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ Static Analysis:2

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	30-03-2022, 19:26
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ Material(s)

	Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt WT Pontoon.ipt WT Pontoon.ipt Stöd 45.ipt Stöd 45.ipt Stöd 45 för.ipt Stöd 45 för_MIR.ipt Stöd 45 akt.ipt Stöd 45 akt_MIR.ipt	
Name	Steel ASTM A572	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	344,756 MPa
	Ultimate Tensile Strength	448,2 MPa
Stress	Young's Modulus	199,959 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	76,9073 GPa
Part Name(s)	Kran fundament1.ipt	

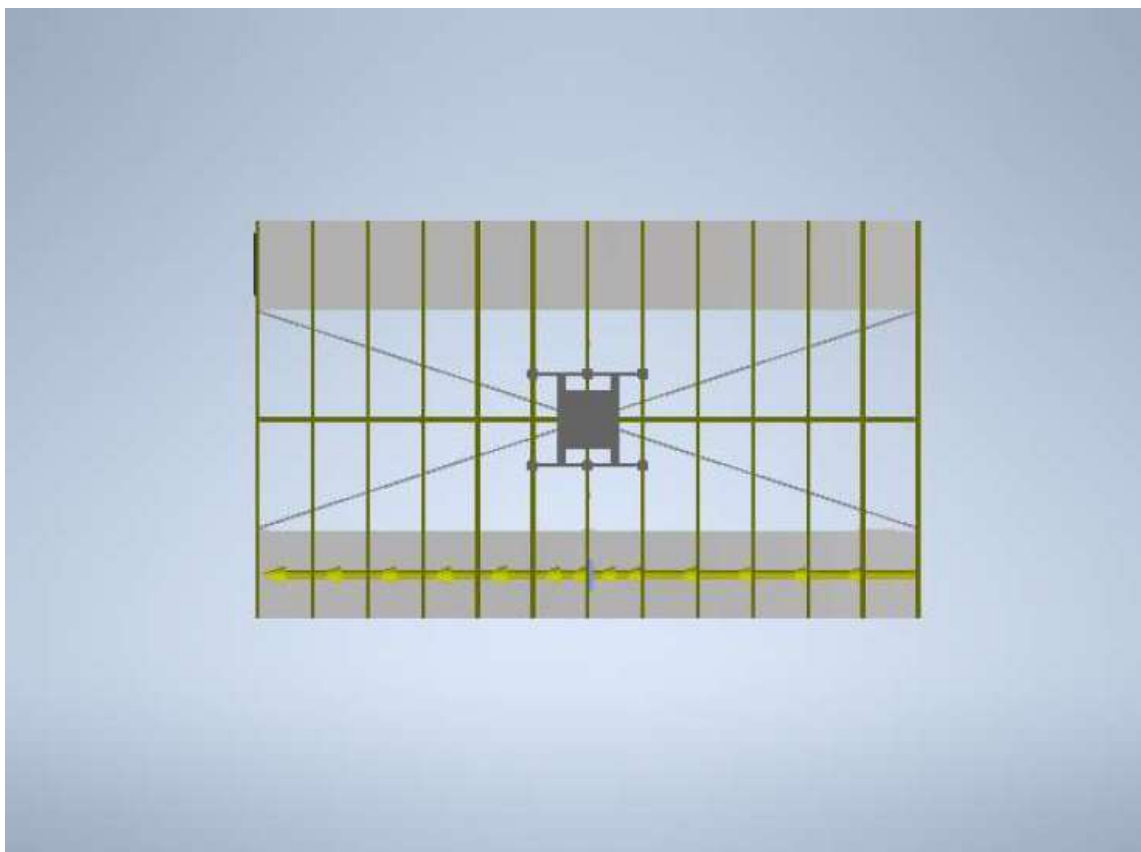
Operating conditions

Force:2

Load Type	Force
Magnitude	1000,000 N
Vector X	-0,000 N
Vector Y	1000,000 N
Vector Z	0,000 N

x 13

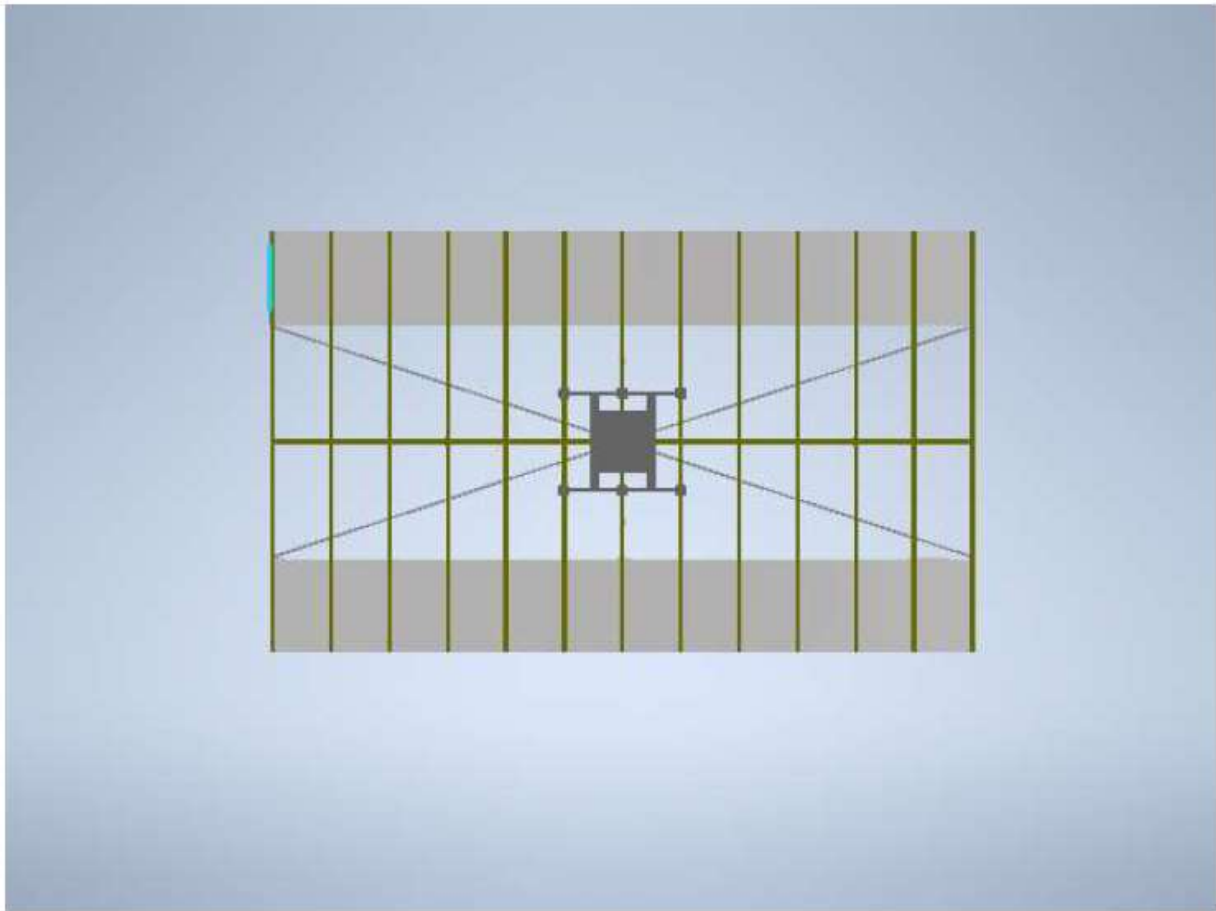
Selected Face(s)



☐ **Fixed Constraint:2**

Constraint Type Fixed Constraint

☐ **Selected Face(s)**



☐ **Results**

☐ **Reaction Force and Moment on Constraints**

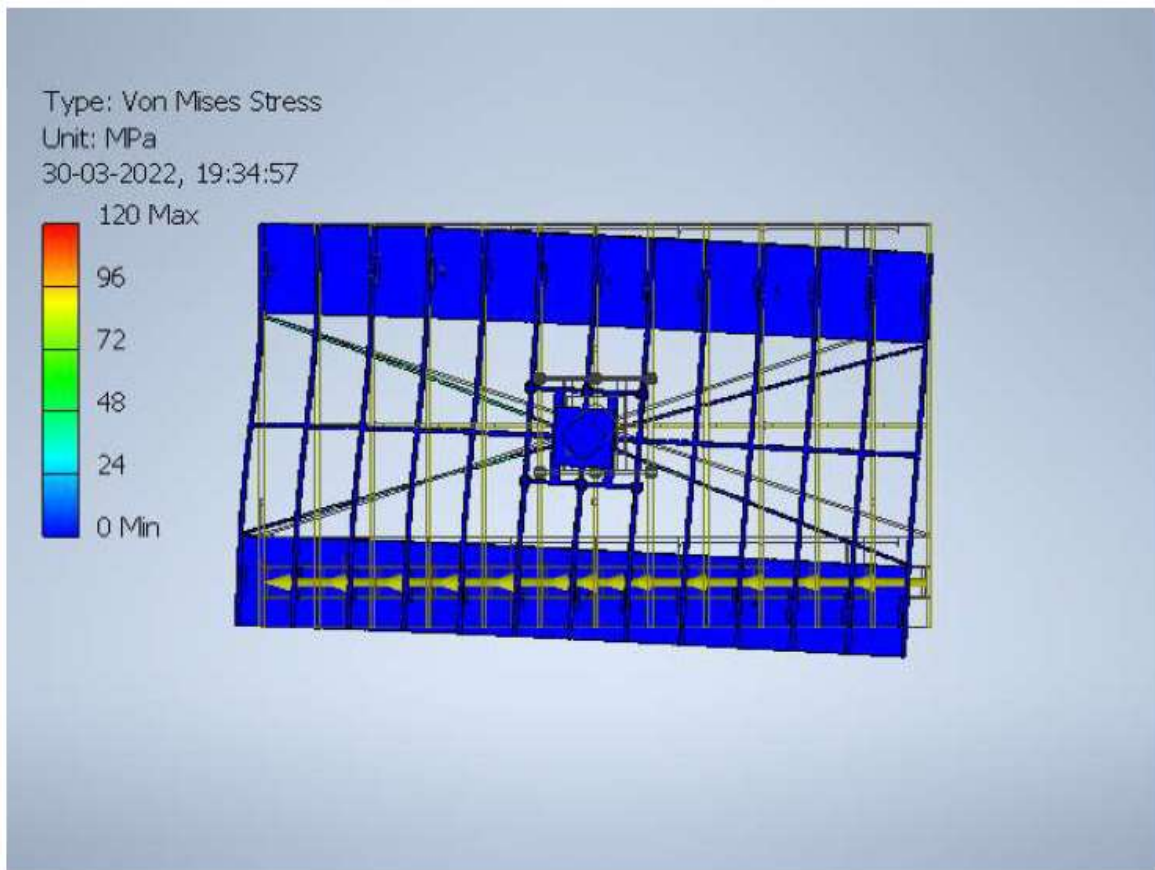
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:2	12689,5 N	-491,653 N	46364,7 N m	5751,54 N m
		-12647,7 N		142,733 N m
		903,944 N		46006,3 N m

☐ **Result Summary**

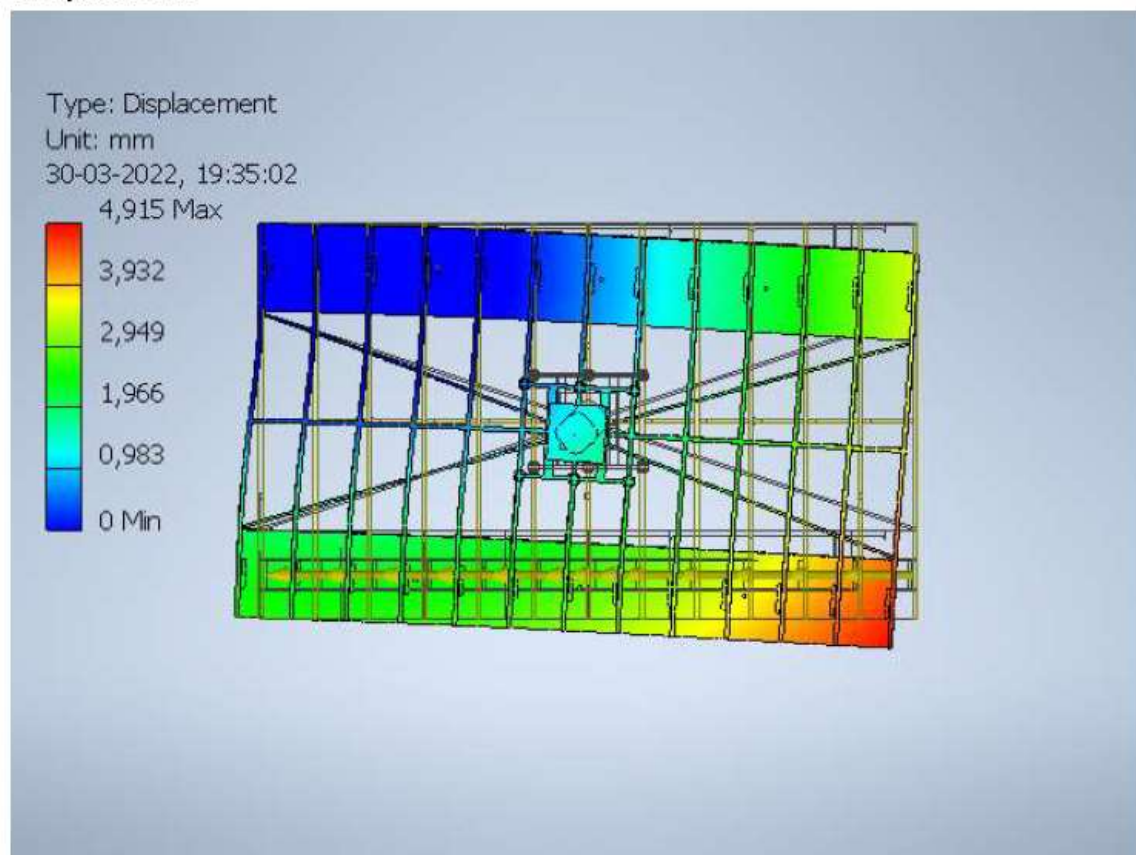
Name	Minimum	Maximum
Volume	867469000 mm ³	
Mass	1528,88 kg	
Von Mises Stress	0,00211246 MPa	119,977 MPa
1st Principal Stress	-21,1799 MPa	127,448 MPa
3rd Principal Stress	-118,366 MPa	15,7299 MPa
Displacement	0 mm	4,91528 mm
Safety Factor	0,00000374693 ul	15 ul

Figures

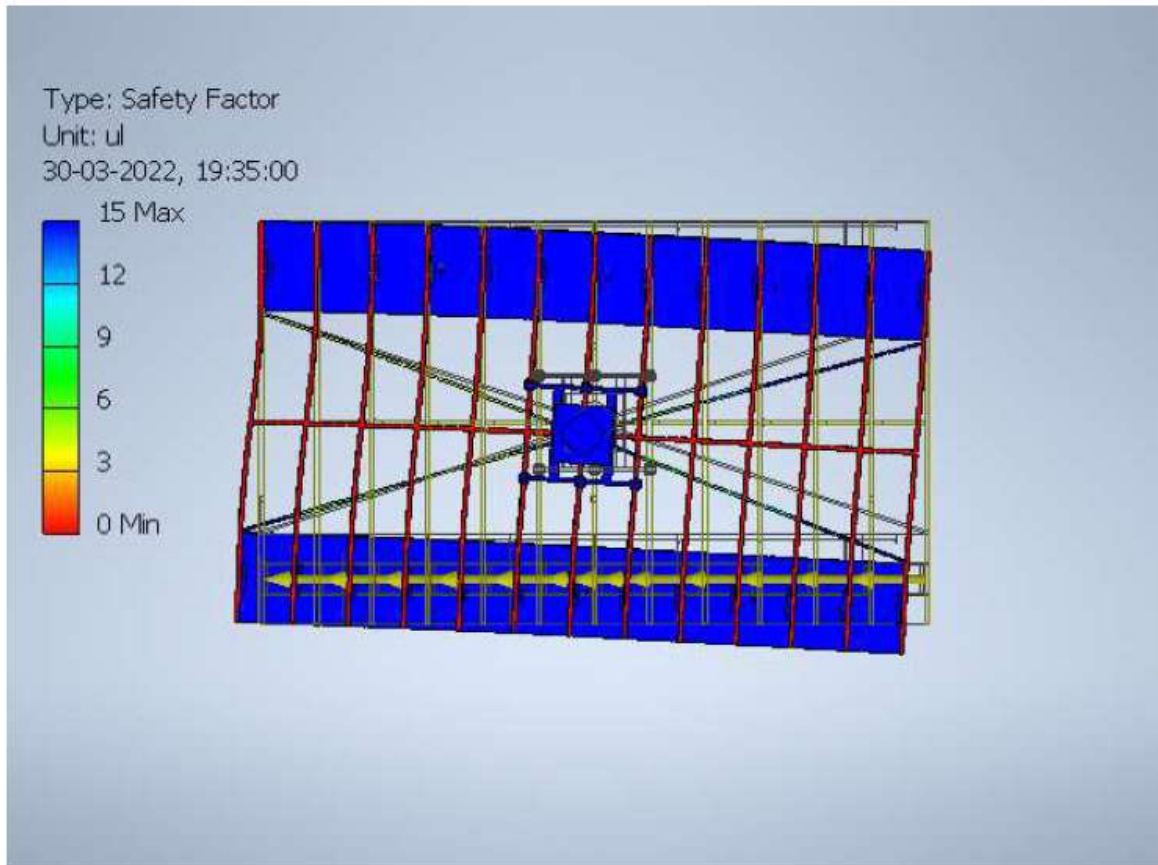
Von Mises Stress



Displacement



☐ **Safety Factor**



C:\Users\mathi\Desktop\Slut stuff\Inventor 2020\FullWTAssembly.iam



Analyzed File:	FullWTAssembly.iam
Autodesk Inventor Version:	2020 (Build 240168000, 168)
Creation Date:	30-03-2022, 21:24
Study Author:	mathi
Summary:	

☐ **Project Info (iProperties)**

☐ **Summary**

Author mathi

☐ **Project**

Part Number	FullWTAssembly
Designer	mathi
Cost	0,00 €
Date Created	12-03-2022

☐ **Status**

Design Status WorkInProgress

☐ **Physical**

Mass	1661,6 kg
Area	178987000 mm ²
Volume	884344000 mm ³
Center of Gravity	x=0,00000000915714 mm y=3803,51 mm z=-84,9413 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ **Static Analysis:1**

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	30-03-2022, 21:16
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ **Material(s)**

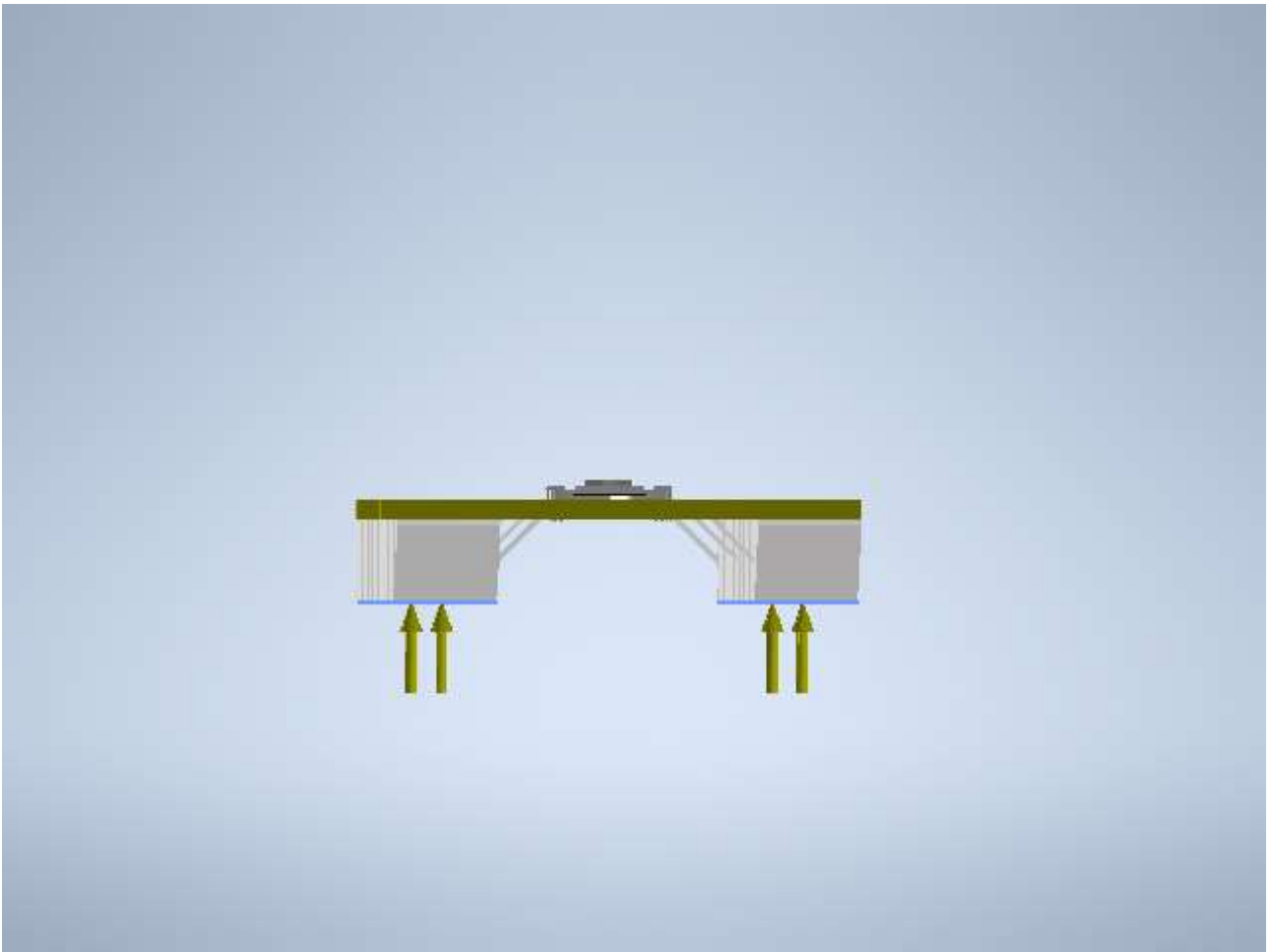
	Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt WT Pontoon.ipt WT Pontoon.ipt Stöd 45.ipt Stöd 45.ipt Stöd 45 för.ipt Stöd 45 för_MIR.ipt Stöd 45 akt.ipt Stöd 45 akt_MIR.ipt	
Name	Steel ASTM A572	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	344,756 MPa
	Ultimate Tensile Strength	448,2 MPa
Stress	Young's Modulus	199,959 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	76,9073 GPa
Part Name(s)	Kran fundament1.ipt	
Name	Steel AISI 9262 271 QT	
General	Mass Density	7,865 g/cm ³
	Yield Strength	786 MPa
	Ultimate Tensile Strength	999 MPa
Stress	Young's Modulus	207 GPa
	Poisson's Ratio	0,33 ul
	Shear Modulus	77,8195 GPa
Part Name(s)	Decksstrimma.ipt	

☐ Operating conditions

☐ Pressure:1

Load Type	Pressure
Magnitude	0,006 MPa

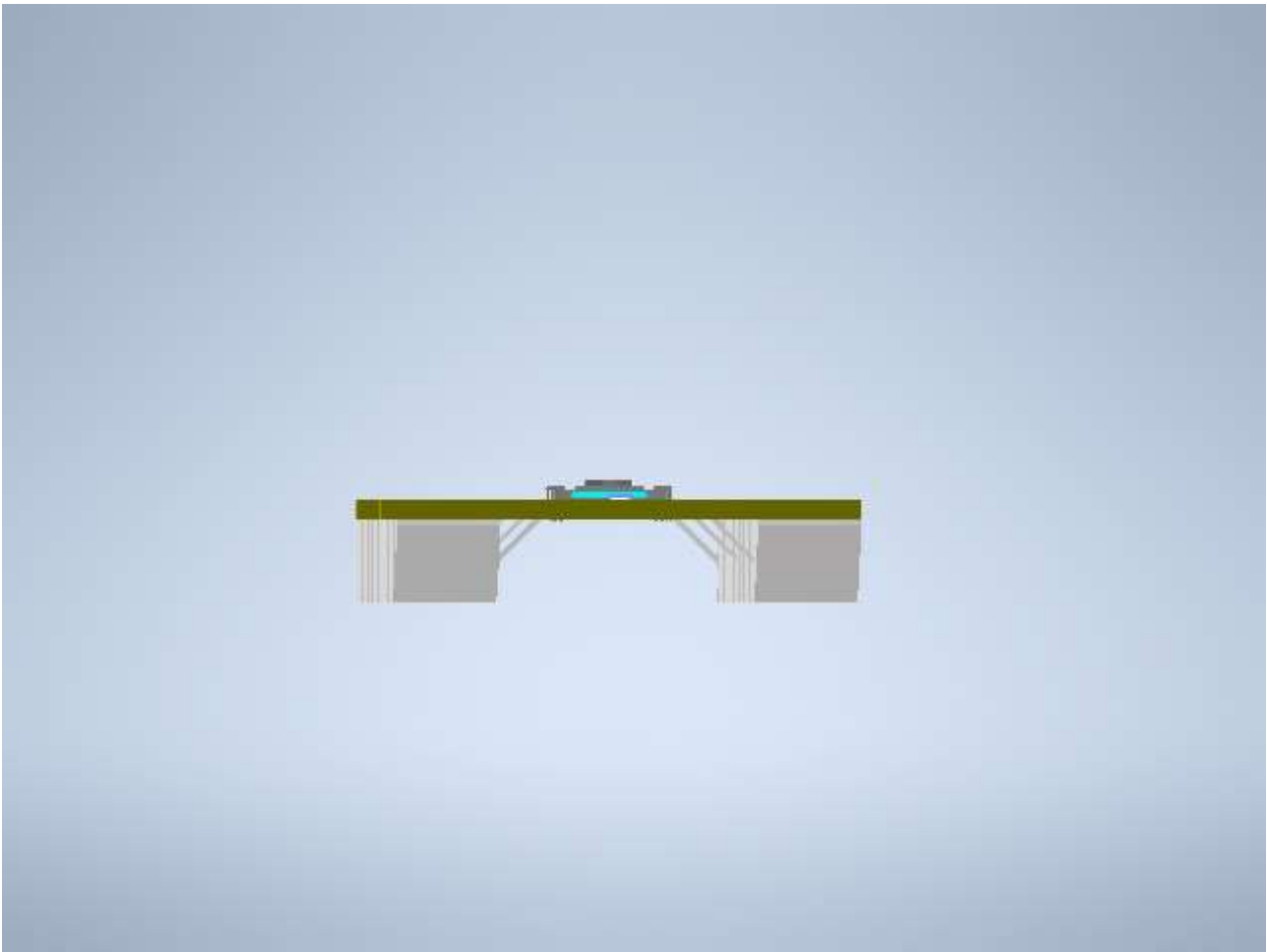
☐ Selected Face(s)



☐ **Fixed Constraint:2**

Constraint Type Fixed Constraint

☐ **Selected Face(s)**



☐ Results

☐ Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:2	75735 N	0 N	30560,5 N m	-30508,4 N m
		0 N		0 N m
		-75735 N		1782,8 N m

☐ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	884344000 mm ³	
Mass	1661,6 kg	
Von Mises Stress	0,00991631 MPa	471,58 MPa
1st Principal Stress	-76,4259 MPa	477,178 MPa
3rd Principal Stress	-424,008 MPa	128,005 MPa
Displacement	0 mm	16,1716 mm
Safety Factor	0,000000472649 ul	15 ul

☐ Figures

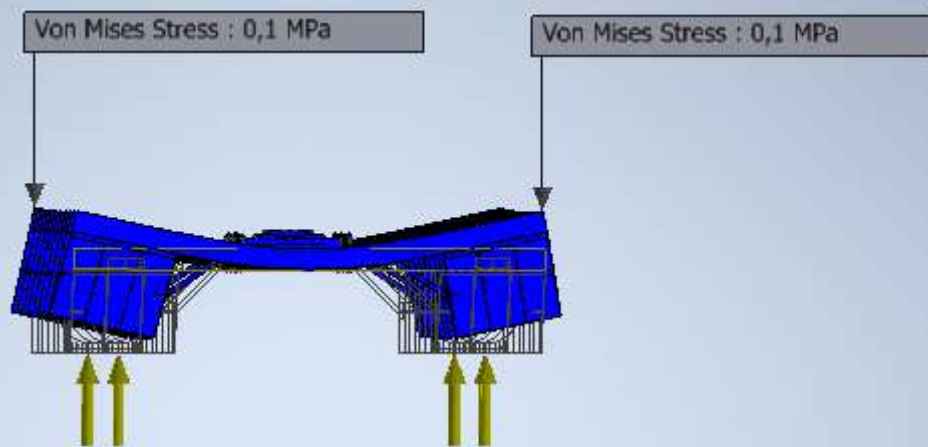
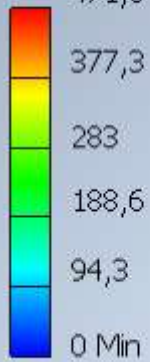
☐ Von Mises Stress

Type: Von Mises Stress

Unit: MPa

30-03-2022, 21:24:56

471,6 Max



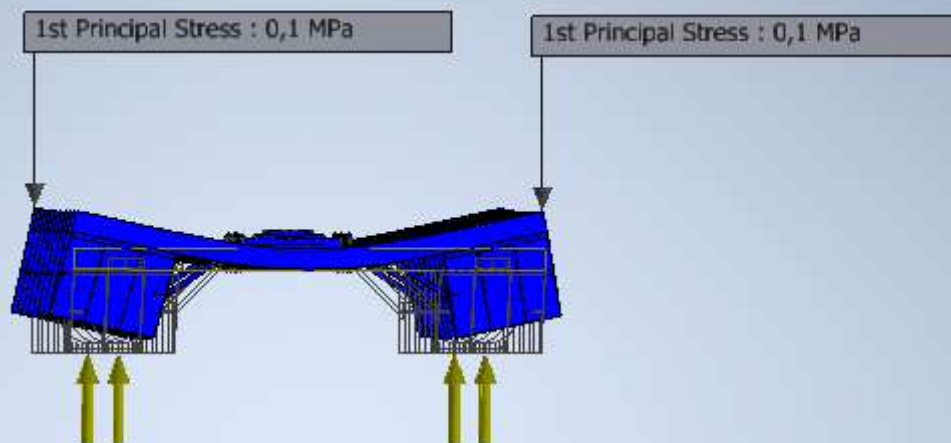
1st Principal Stress

Type: 1st Principal Stress

Unit: MPa

30-03-2022, 21:24:58

477,2 Max

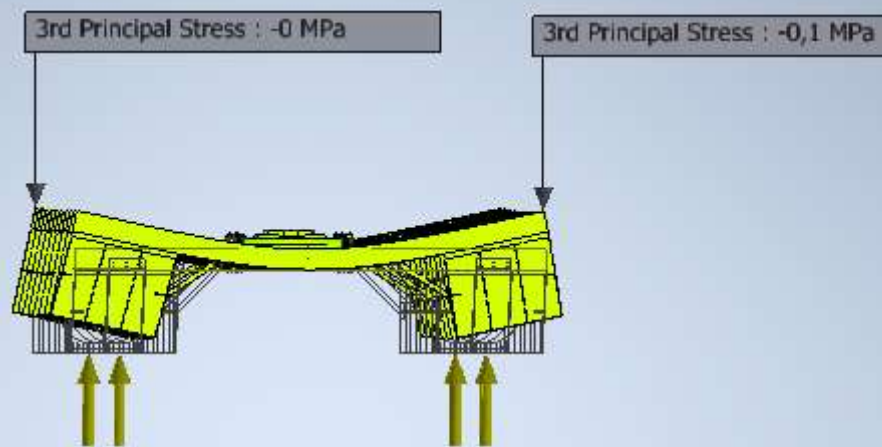
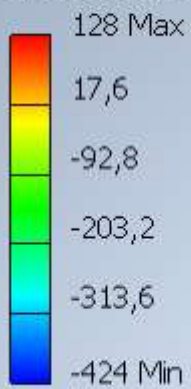


3rd Principal Stress

Type: 3rd Principal Stress

Unit: MPa

30-03-2022, 21:25:01

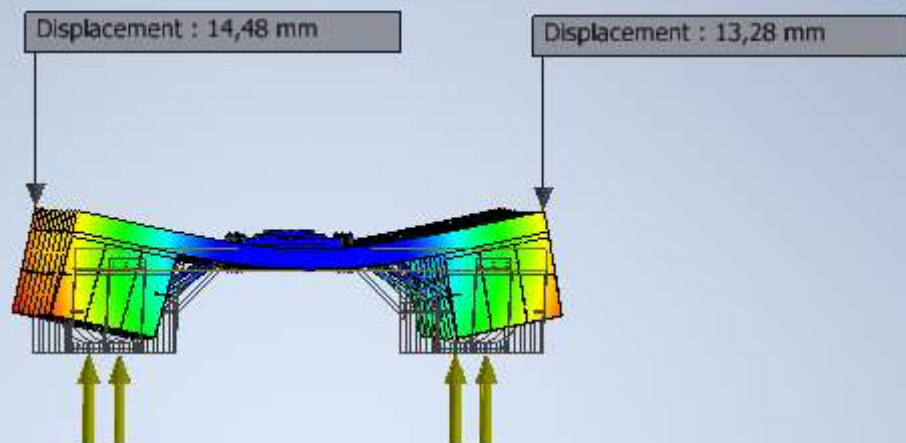
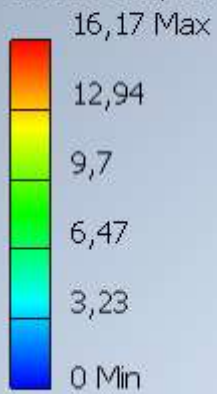


▣ Displacement

Type: Displacement

Unit: mm

30-03-2022, 21:25:06



▣ Safety Factor

Type: Safety Factor

Unit: ul

30-03-2022, 21:25:04

15 Max

12

9

6

3

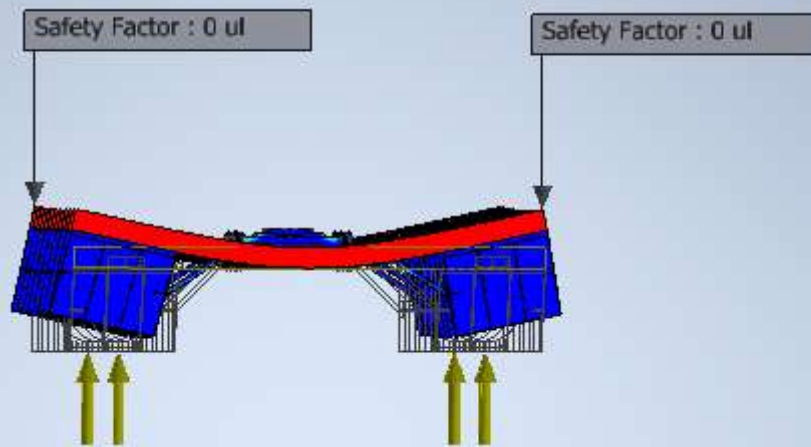
0 Min



0 Min

Safety Factor : 0 ul

Safety Factor : 0 ul



C:\Users\mathi\Desktop\Slut stuff\Inventor 2020\FullWTAssembly.iam

Stress Analysis Report

Bilaga 9



Analyzed File:	Kran fundament1.ipt
Autodesk Inventor Version:	2020 (Build 240168000, 168)
Creation Date:	31-03-2022, 11:54
Study Author:	mathi
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author mathi

Project

Part Number	Kran fundament1
Designer	mathi
Cost	0,00 €
Date Created	08-03-2022

Status

Design Status WorkInProgress

Physical

Material	Steel ASTM A572
Density	7,85 g/cm ³
Mass	250,136 kg
Area	3749390 mm ²
Volume	31864500 mm ³
Center of Gravity	x=0,000000000141023 mm y=0 mm z=117,173 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

Static Analysis:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	31-03-2022, 11:51
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Material(s)

--	--

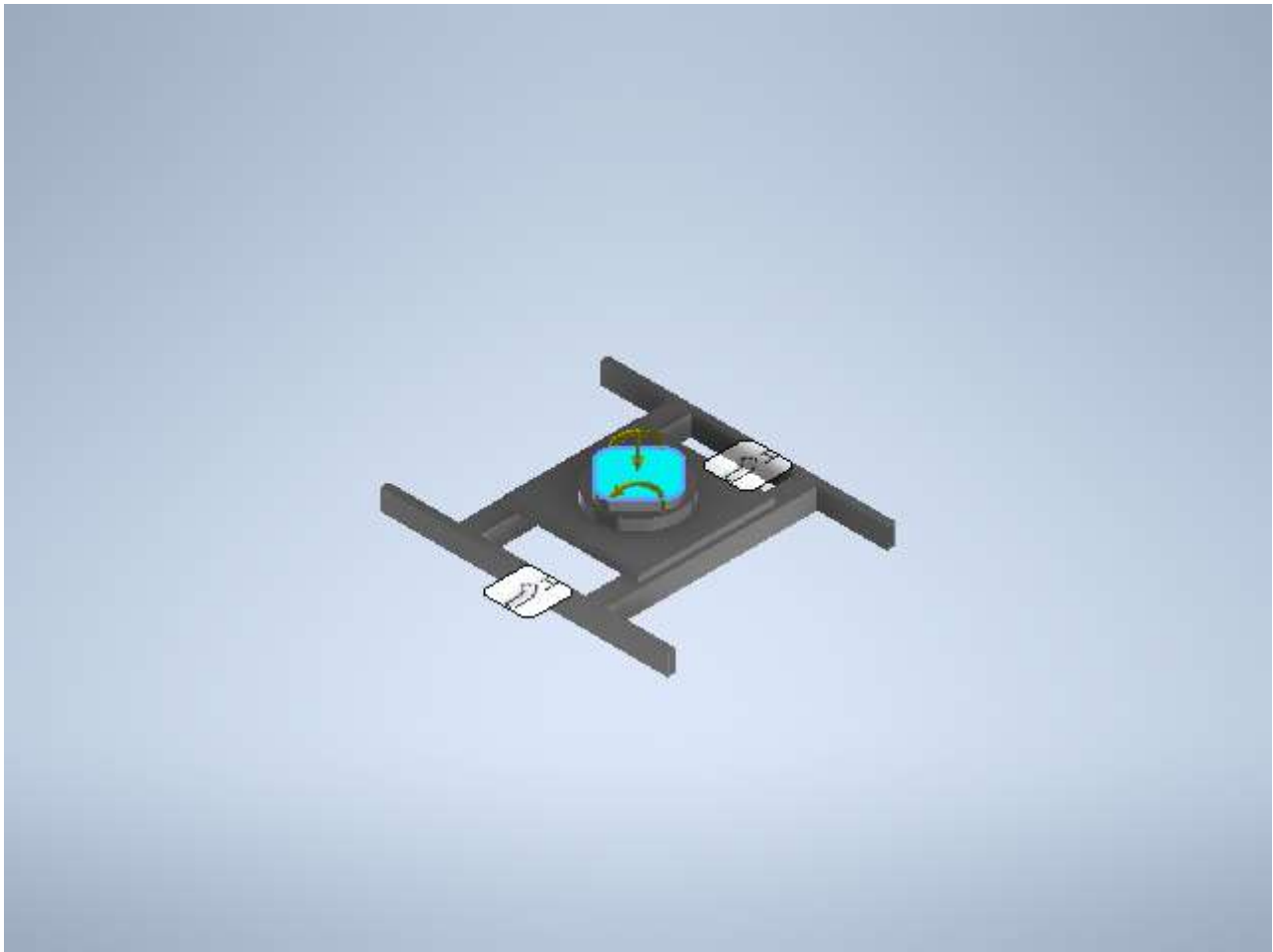
Name	Steel ASTM A572	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	344,756 MPa
	Ultimate Tensile Strength	448,2 MPa
Stress	Young's Modulus	199,959 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	76,9073 GPa
Part Name(s)	Kran fundament1.ipt	

Operating conditions

Force:1

Load Type	Force
Magnitude	49000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-49000,000 N

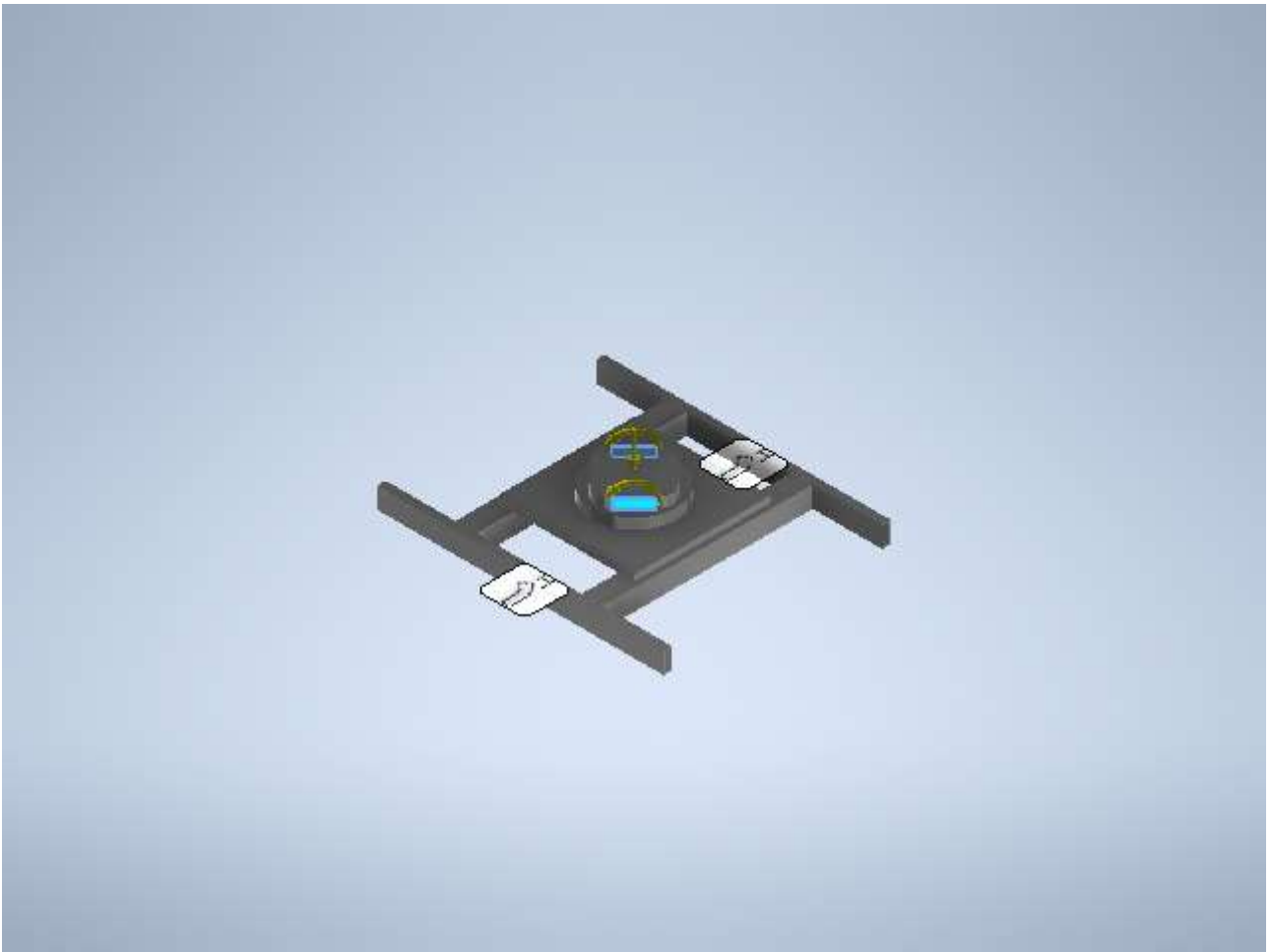
Selected Face(s)



Moment:1

Load Type	Moment
Magnitude	49000000,000 N mm
Vector X	-34648232,278 N mm
Vector Y	-34648232,278 N mm
Vector Z	0,000 N mm

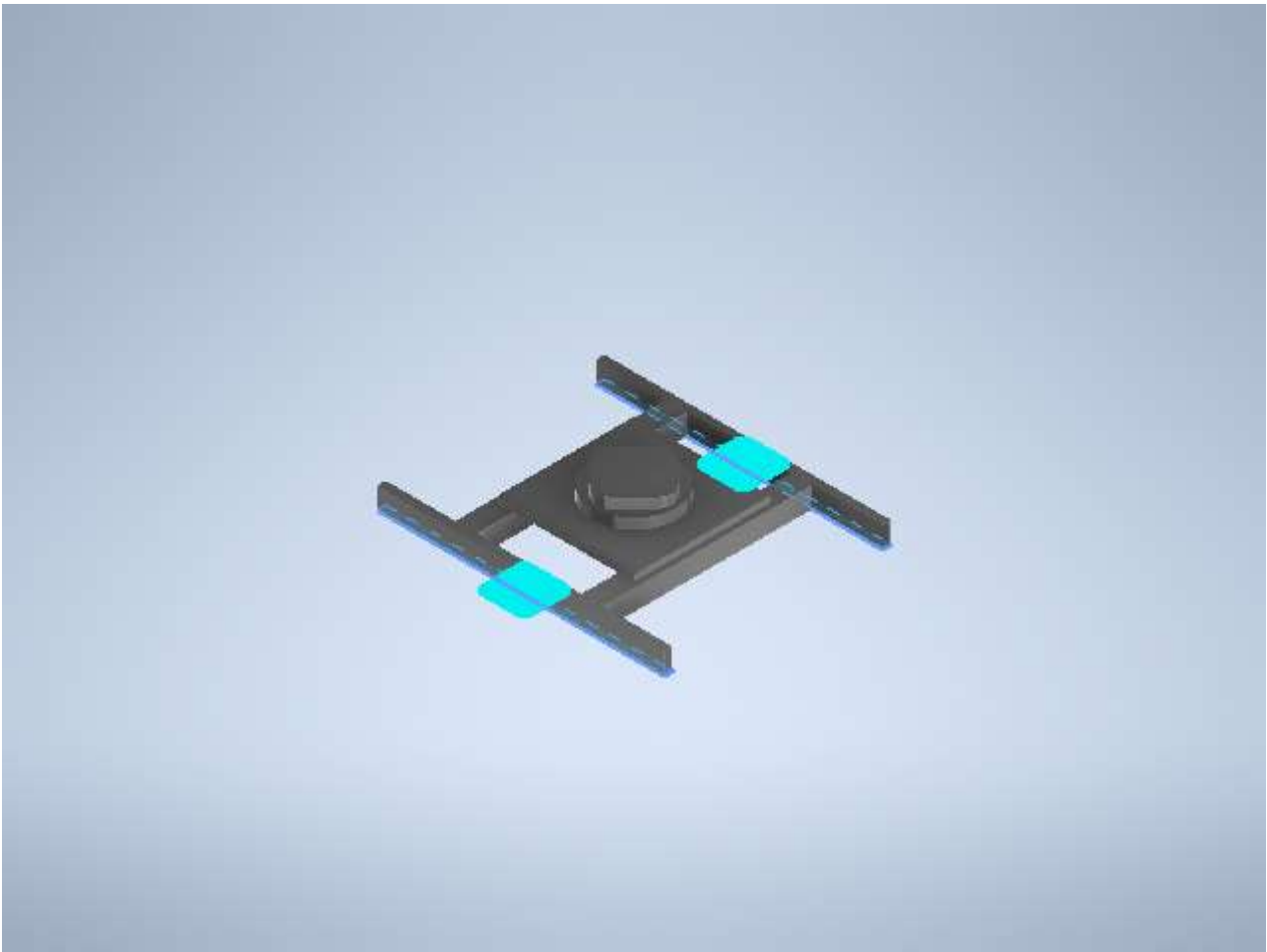
Selected Face(s)



☐ **Fixed Constraint:1**

Constraint Type Fixed Constraint

☐ **Selected Face(s)**



☐ Results

☐ Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	49000 N	0 N	48911,4 N m	34619,4 N m
		0 N		34551,8 N m
		49000 N		0 N m

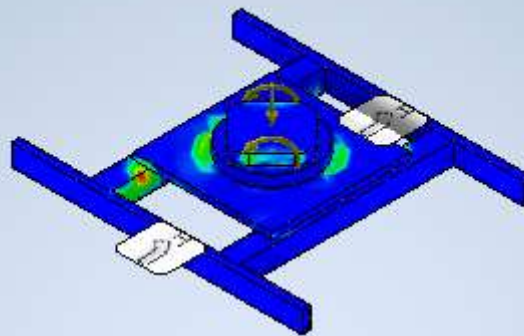
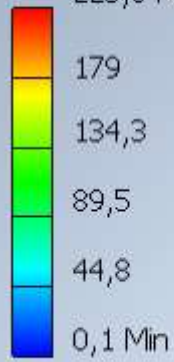
☐ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	31864500 mm ³	
Mass	250,136 kg	
Von Mises Stress	0,0599936 MPa	223,783 MPa
1st Principal Stress	-81,2522 MPa	199,52 MPa
3rd Principal Stress	-279,265 MPa	59,7367 MPa
Displacement	0 mm	0,760725 mm
Safety Factor	1,54058 ul	15 ul

☐ Figures

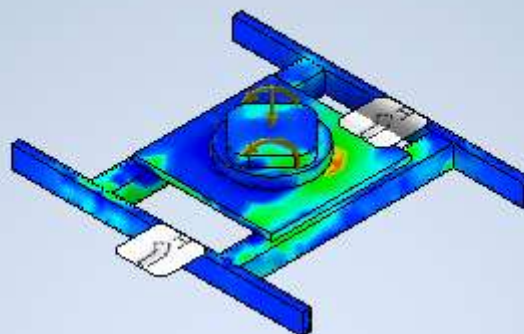
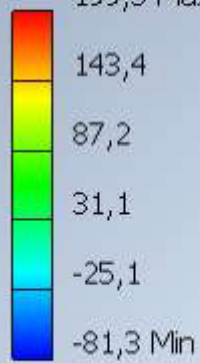
☐ Von Mises Stress

Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
31-03-2022, 11:54:36
223,8 Max



1st Principal Stress

Type: 1st Principal Stress
Unit: MPa
31-03-2022, 11:54:36
199,5 Max

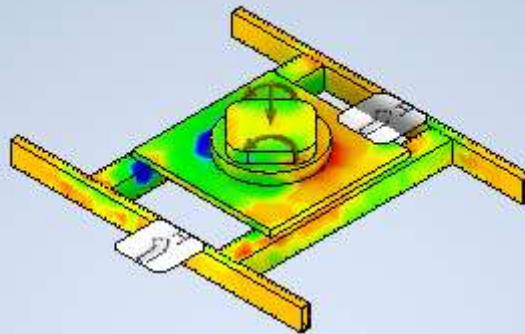


3rd Principal Stress

Type: 3rd Principal Stress

Unit: MPa

31-03-2022, 11:54:37

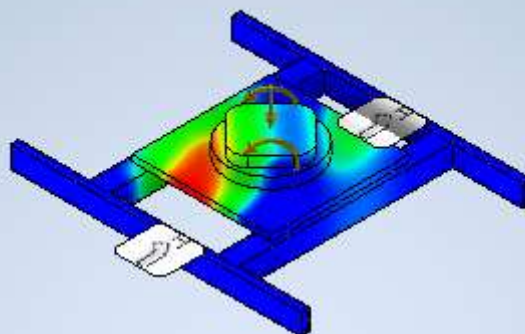
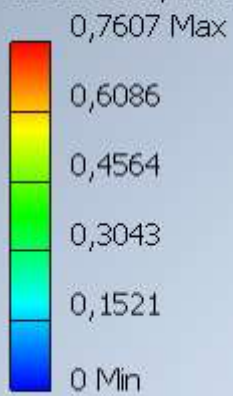


▣ Displacement

Type: Displacement

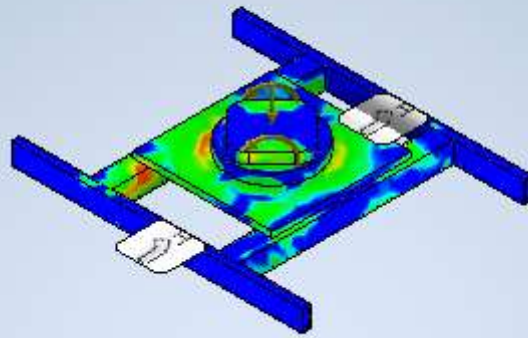
Unit: mm

31-03-2022, 11:54:37



▣ Safety Factor

Type: Safety Factor
Unit: ul
31-03-2022, 11:54:37



C:\Users\mathi\Desktop\Slut stuff\Inventor 2020\Kran fundament1.ipt

Analyzed File:	FullWTAssembly.iam
Autodesk Inventor Version:	2020 (Build 240168000, 168)
Creation Date:	30-03-2022, 22:22
Study Author:	mathi
Summary:	

☐ **Project Info (iProperties)**

☐ **Summary**

Author mathi

☐ **Project**

Part Number	FullWTAssembly
Designer	mathi
Cost	0,00 €
Date Created	12-03-2022

☐ **Status**

Design Status WorkInProgress

☐ **Physical**

Mass	1528,88 kg
Area	177557000 mm ²
Volume	867469000 mm ³
Center of Gravity	x=0,00000000995105 mm y=3808,15 mm z=-111,413 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ **Static Analysis:1**

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	30-03-2022, 22:09
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ **Material(s)**

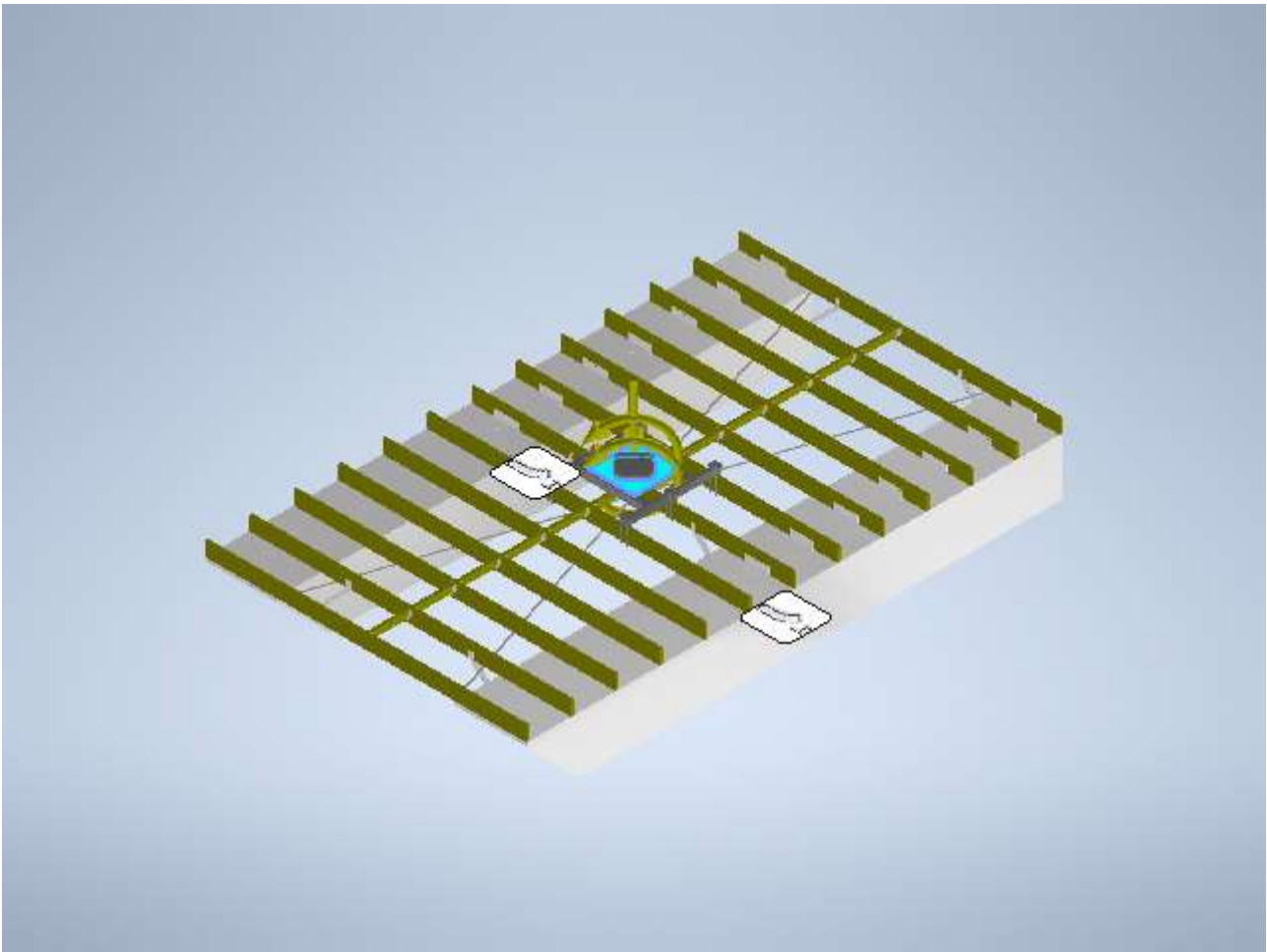
	Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt Balk fäste platta.ipt WT Pontoon.ipt WT Pontoon.ipt Stöd 45.ipt Stöd 45.ipt Stöd 45 för.ipt Stöd 45 för_MIR.ipt Stöd 45 akt.ipt Stöd 45 akt_MIR.ipt	
Name	Steel ASTM A572	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	344,756 MPa
	Ultimate Tensile Strength	448,2 MPa
Stress	Young's Modulus	199,959 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	76,9073 GPa
Part Name(s)	Kran fundament1.ipt	

☐ Operating conditions

☐ Force:1

Load Type	Force
Magnitude	49000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-49000,000 N

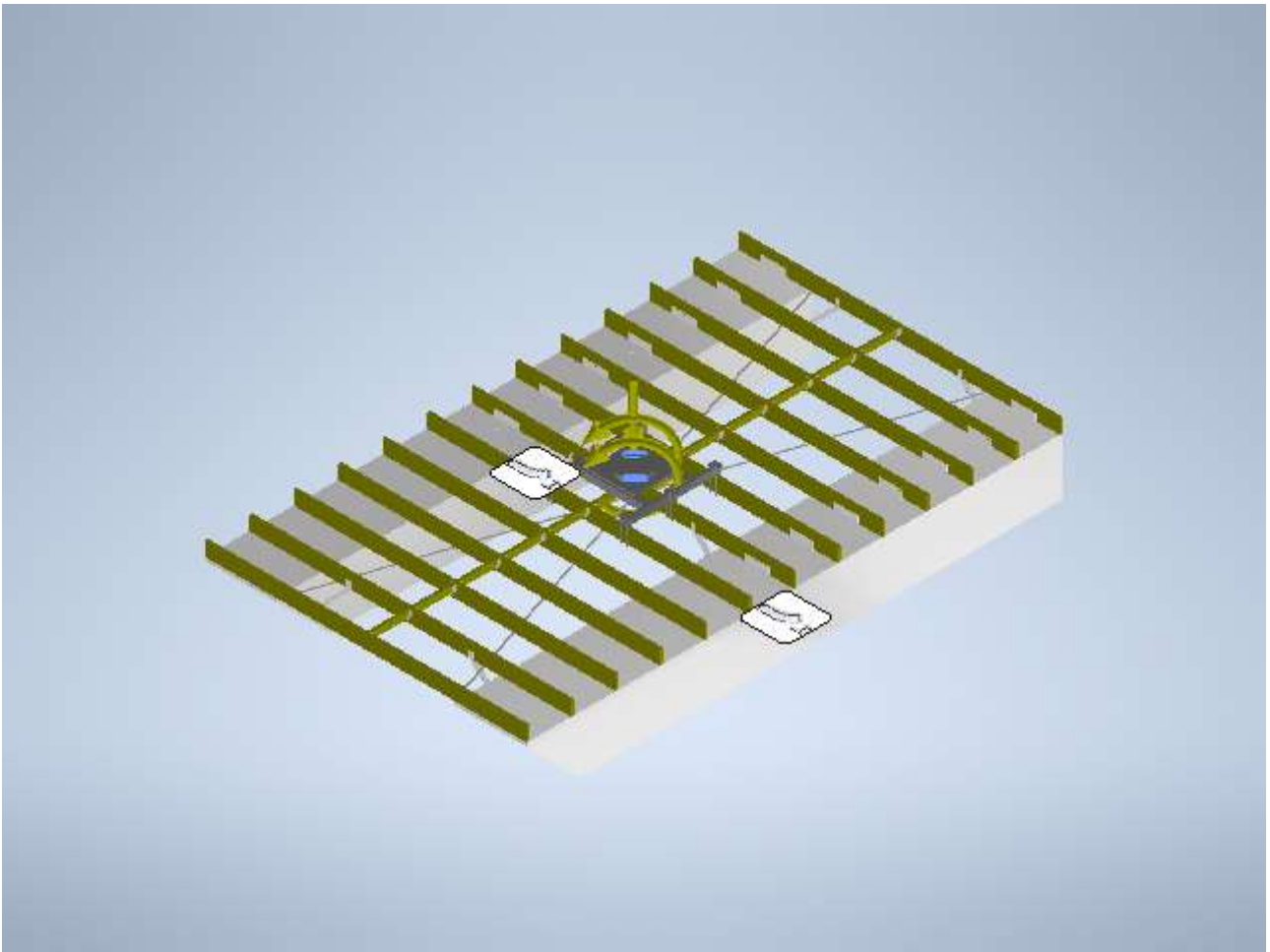
☐ Selected Face(s)



☐ **Moment:3**

Load Type	Moment
Magnitude	49000000,000 N mm
Vector X	34648232,278 N mm
Vector Y	-34648232,278 N mm
Vector Z	0,000 N mm

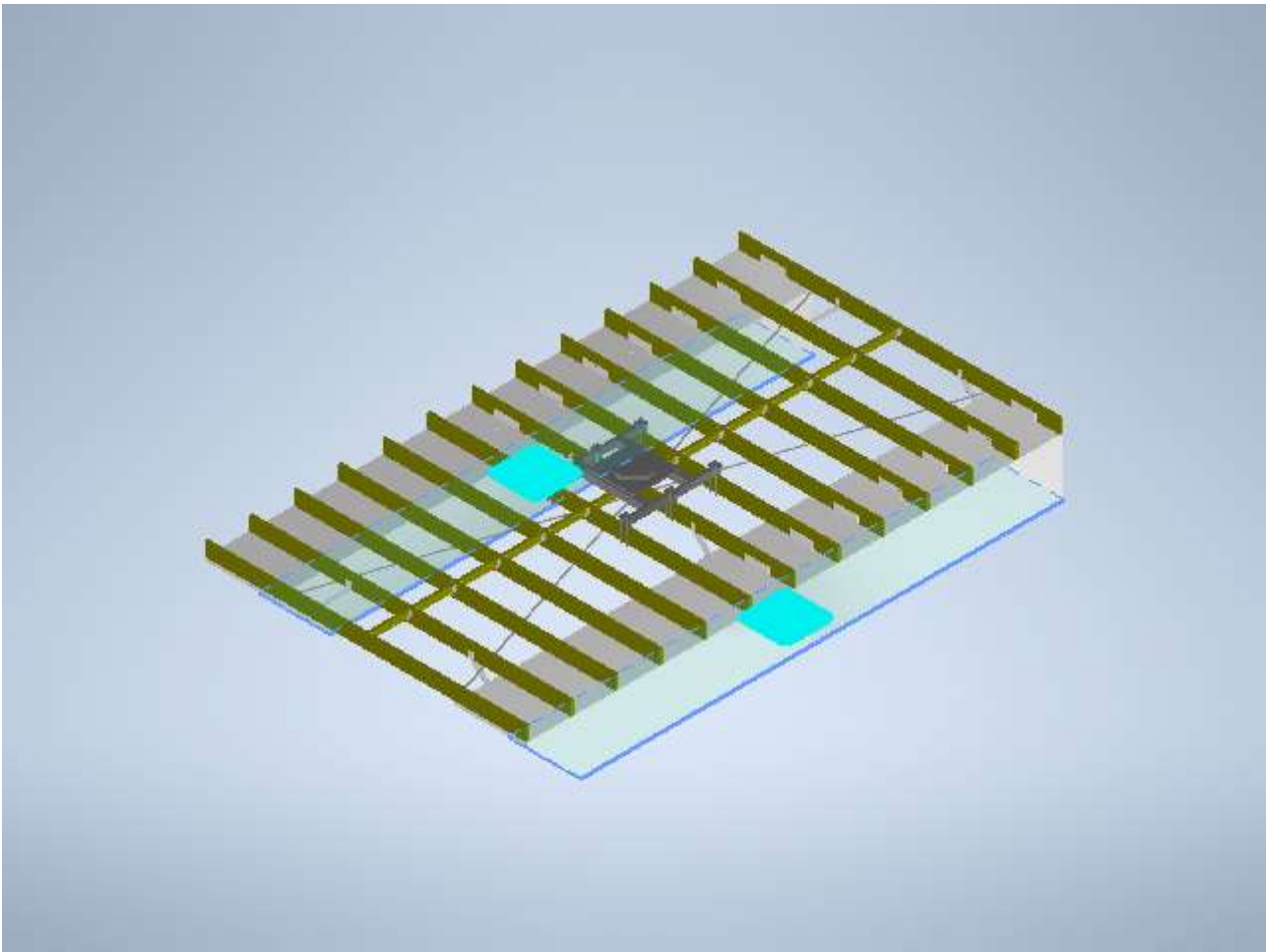
☐ **Selected Face(s)**



☐ **Fixed Constraint:1**

Constraint Type Fixed Constraint

☐ **Selected Face(s)**



Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	48999,8 N	0 N	67325,3 N m	-56035,8 N m
		0 N		37313,3 N m
		48999,8 N		637,942 N m

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	867469000 mm ³	
Mass	1528,88 kg	
Von Mises Stress	0,000302989 MPa	359,257 MPa
1st Principal Stress	-136,747 MPa	485,841 MPa
3rd Principal Stress	-476,699 MPa	124,806 MPa
Displacement	0 mm	2,64487 mm
Safety Factor	0,000000902627 ul	15 ul

Figures

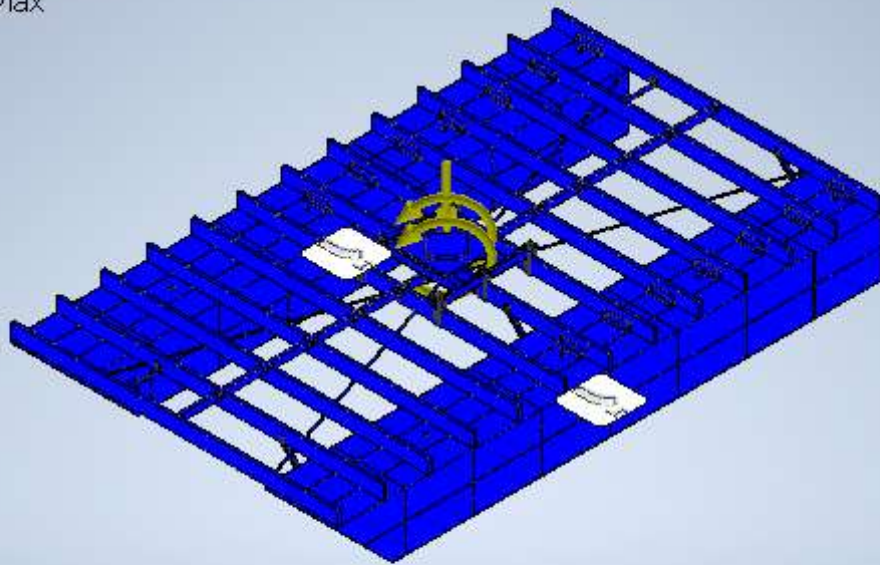
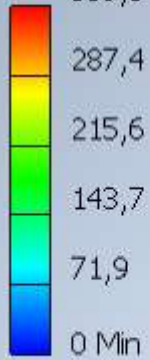
Von Mises Stress

Type: Von Mises Stress

Unit: MPa

30-03-2022, 22:22:27

359,3 Max



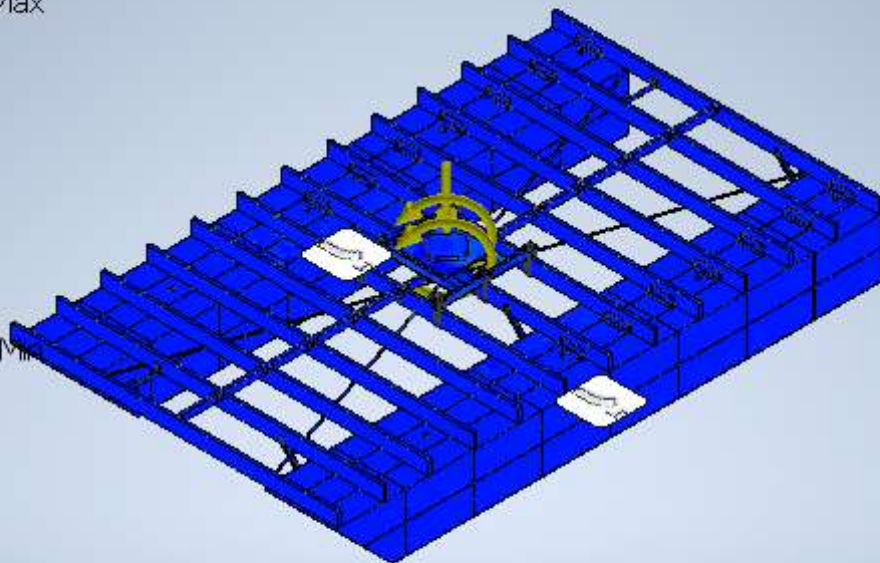
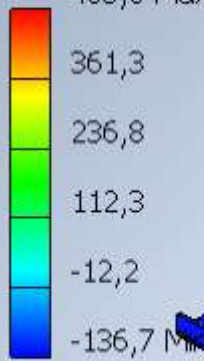
1st Principal Stress

Type: 1st Principal Stress

Unit: MPa

30-03-2022, 22:22:29

485,8 Max



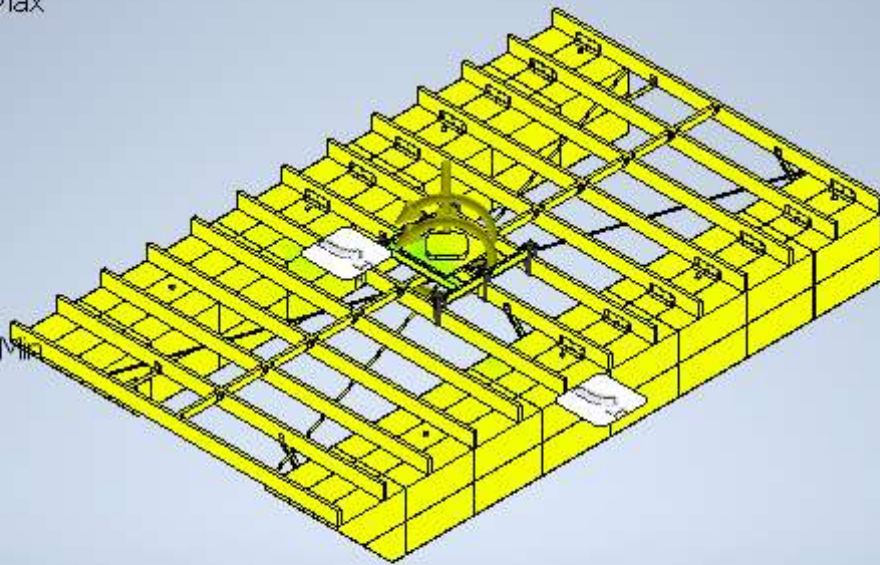
3rd Principal Stress

Type: 3rd Principal Stress

Unit: MPa

30-03-2022, 22:22:32

124,8 Max



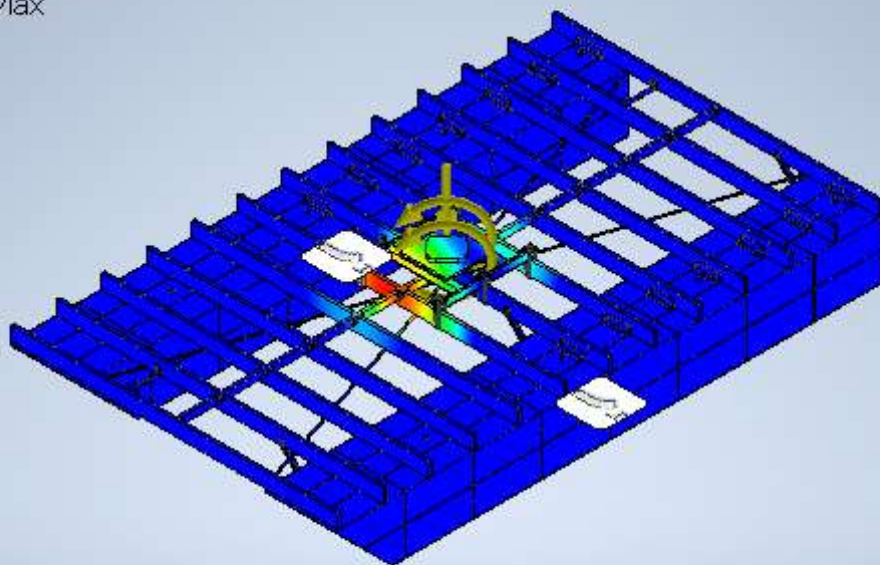
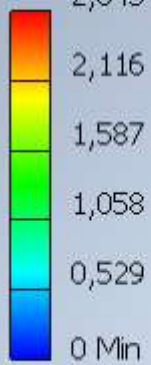
▣ Displacement

Type: Displacement

Unit: mm

30-03-2022, 22:22:36

2,645 Max



▣ Safety Factor

Type: Safety Factor

Unit: ul

30-03-2022, 22:22:34

15 Max

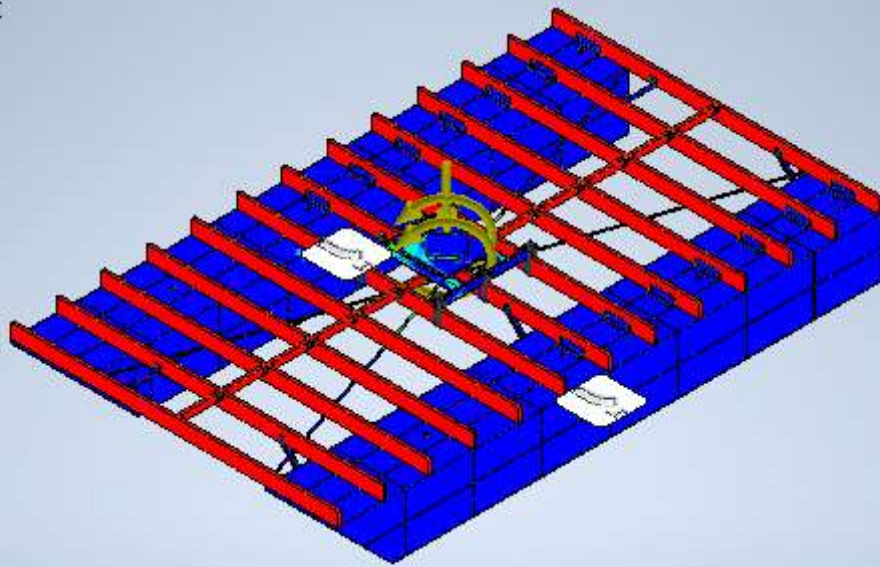
12

9

6

3

0 Min



C:\Users\mathi\Desktop\Slut stuff\Inventor 2020\FullWTAssembly.iam

Bilaga 11

Framdrift Li-ion			Kran			Vattenmotstånd			Vindmotstånd		
P_{in}	22	kW	P	2.2	kW	v	5	knop	A_{bastu}	10.2	m^2
U	12.8	V	U	12.8	V	v	2.57	m/s	$v_{båt}$	2.57	m/s
Kapacitet	1.6	kWh/st	Kapacitet	1.28	kWh/st	ρ_{vatten}	1005	kg/m^3	Vind	8	m/s
Batt (10 serie)	20	st	Batterier	4	st	A_s	0.766	m^2	ρ_{luft}	1.22	kg/m^3
$Vikt_{batt}$	15	kg/st	$Vikt_{batt}$	12.3	kg/st	C_d	1.05		P_{vind}	68.2	N/m^2
$Pris_{batt}$	840	€/st	$Pris_{batt}$	680	€/st	F_d	3	kN	P_{vind}	7.3	kW
U_{tot}	128	V	U_{tot}	25.6	V	p_{vatten}	3.48	kN/m^2	F_{vind}	695.2	N
$Kapacitet_{tot}$	32.00	kWh	$Kapacitet_{tot}$	5.12	kWh	P_{vatten}	6.86	kW	P_{vind}	7.3	kW
						L	7.5	m			
$Drifftid_{min}$	1.5	h	$Drifftid_{min}$	2.3	h	V	2.57	m/s			
$Pris_{tot}$	16800	€	$Pris_{tot}$	2720	€	g	9.81	m/s^2			
$Vikt_{tot}$	300	kg	$Vikt_{tot}$	49.2	kg	F_n	0.300				
Utrymme	1.05	m^2	Utrymme	0.21	m^2	L_w	4.23	m			

Bilaga 13

	Takbalk	C24 45x195		27,9		K-Rauta		8,4 €	233,0 €
	Väggregel	C14 45x95		114,0		K-Rauta		3,6 €	413,4 €
	Yttertak	Wisa-kate skiva 15x2700x1200			15,51	K-Rauta		22,2 €	344,2 €
	Yttertak	Takfilt PintaUltra			16	K-Rauta		11,0 €	176,0 €
	Isolering tak	Finfoam FF-PIR 100x600x2500			13,7	K-Rauta	60,3 €	40,2 €	548,8 €
	Isolering vägg	Finfoam FF-PIR 50x600x2500			22,1	K-Rauta	34,2 €	22,8 €	503,9 €
	Innerpanel+tak	Bastupanel			32	K-Rauta		24,1 €	771,8 €
	Ytterpanel	Ytterpanel dubbelfas			38,9	K-Rauta		30,81 €	1 198,7 €
Bastu	Trappa	Tryckimpregnerat 48x198		11,0		K-Rauta		7,8 €	85,6 €
	Räcke	Glas+stolp	13			K-Rauta	109,9 €		122,9 €
	Bord+bänkar	Trall impregnerat			6,18	K-Rauta		23,2 €	143,1 €
	Grill	Gasgrill	1			K-Rauta	449,0 €		449,0 €
	Trall	Trall impregnerat			16,21	K-Rauta		23,2 €	375,4 €
	Fönster	Polykarbonat skiva	1			K-Rauta	115,0 €		115,0 €
	Dörr	Ytte + bastu	2			K-Rauta	105,0 €		210,0 €
	Bastulavar	Bastulav virke asp			5,47	K-Rauta		92,2 €	504,6 €
	Bastuugn	Harvia Linear 22	1			Lakkapää Oy	513,1 €		513,1 €
	Skorsten	Skoratenspaket 115mm		4		K-Rauta	637,0 €		637,0 €
									7 345,5 €
	Brandsläckare	Pulver 6kg	1			Motonet	34,9		34,9 €
	Ankare	Ankare 20kg	1			Motonet	119,0		119,0 €
	Ankare	Lina	1			Motonet	119,0		119,0 €
Tillbehör	Tömningsredskap	Bilgepump	1			Motonet	34,9		34,9 €
	Flytvästar	Flytväst 40-90kg+	12			Motonet	34,9		418,8 €
	Lantämor	Grön, röd, vit	3			Motonet	14,9		44,7 €
	Badstäge	Badstäge	1			Motonet	69,9		69,9 €
									841,2 €