



CHALMERS



Konstruktion av landgång för mindre passagerarbåt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Kevin Broman Gustavsson
Filip Johansson

INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

Konstruktion av landgång för mindre passagerarbåt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

KEVIN BROMAN GUSTAVSSON

FILIP JOHANSSON

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för mekanik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024

Konstruktion av landgång för mindre passagerarbåt
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik
KEVIN BROMAN GUSTAVSSON
FILIP JOHANSSON

© KEVIN BROMAN GUSTAVSSON & FILIP JOHANSSON, 2024

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för Mekanik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Rendering av slutkonceptet

Tryckeri/Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige 2024

Förord

Vi vill börja med att tacka folket på företaget Cstrider som gav oss möjligheten att utföra examensarbetet från första början. Det har varit en otroligt rolig och lärorik process som gett oss en inblick av hur det vi lärt oss under dessa tre år kan appliceras för att skapa något på riktigt.

Ett särskilt stort tack vill ge till Tobias Husberg, grundaren av företaget som gett oss full kontroll och frihet över arbetet och hur vi utfört det. Sen vill vi även tacka vår handledare på Cstrider, Emelia Forsgård som väglett oss under arbetets gång och hjälpt till att konkretisera vad som skall och inte skall utföras. Ännu ett tack vill vi ge till Per Forsbom som varit ett stort stöd under konceptgenereringsprocessen samt under CAD-modelleringen.

Vi vill även tacka vår examinator och handledare Robert Thomson från Chalmers som väglett oss under arbetets början och som visat stort engagemang för att vi ska lyckas med att nå vårt mål. Vi uppskattar all hjälp vi fått när vi fastnat med något, och med att identifiera vilka beräkningar som har behövts utföras. Till sist vill vi även tacka Kjell Melkersson som hjälpte oss med dimensionering av styrsystemet och varit bidragande till att examensarbetet har nått sitt mål.

Kevin Broman Gustavsson och Filip Johansson

Abstract

This project has been carried out in collaboration with the company Cstrider AB to design and develop a gangway intended for their passenger boat. This report outlines the methodology used during the project and the results achieved.

Cstrider is a company that aims to create "virtual bridges" along waterways and reduce the environmental impact of passenger transport by using smaller electric passenger boats. The focus of this report is on the construction of the gangway to be used on these boats, which must not only meet the company's requirements but also comply with various safety standards for small passenger boats.

The gangway should ensure a smooth, fast, and safe boarding and disembarking experience for passengers. The design has to take different operating conditions into account and comply with safety regulations. The design will meet technical specifications to ensure a lifespan of at least 10 years and use materials that are resistant to marine environments and prevent slipping under various weather conditions.

The methodology involved creating a detailed specification of requirements, evaluating existing concepts, and generating several new design concepts through free idea generation. Subsequently, a series of elimination methods are used to select the most suitable solutions based on functionality, safety, and manufacturability. This process filters out concepts that do not meet all requirements or are too complex to develop further. A material selection process was conducted to explore potential options that meet the requirements of both the regulations and the company. As a result of the concept generation, two concepts have been developed and modeled in CAD, which proceed to the final design process where a final concept is determined. A structural analysis of the two different concepts was performed using FEM simulations to validate the gangway's performance under expected loads and environmental conditions. The dimensioning of the motors and actuators that will control the gangway was carried out using data from the FEM simulations and mechanical calculations. Finally, a comparison of the two concepts was performed based on the results from the FEM simulations, including estimated manufacturing costs and verification of the requirement specifications to determine the final concept.

The final concept resulted in a strong yet lightweight design that is powered up and down using two electrically driven actuators. The gangway consists of a frame made of an aluminum alloy, a walkway plate placed on top of the frame, and a front ramp attached to the gangway divided into five sections that each contains a non-slip surface on the bottom. By utilizing optimal materials, the balance between weight and strength was achieved while minimizing environmental impact. As a result, the final gangway meets the requirements set by relevant standards and regulations, as well as the company itself.

Sammanfattning

Detta arbete har utförts i samarbete med företaget Cstrider AB för att designa och utveckla en landgång avsedd för deras passagerarbåt. Denna rapport redovisar den metodik som använts under arbetets gång samt de resultat som uppnåtts.

Cstrider är ett företag som arbetar för att skapa "virtuella broar" längs vattenvägar och minska miljöpåverkan från passagerartransporter genom att använda mindre eldrivna passagerarbåtar. Fokus under rapportens gång ligger på att konstruera landgången som skall användas på dessa båtar då den inte bara ska uppfylla företagets krav, utan även uppnå en mängd säkerhetsstandarder för små passagerarbåtar.

Landgången ska säkerställa en smidig, snabb och säker på- och avstigningsupplevelse av passagerare. Den ska ta hänsyn till olika driftsförhållanden och överensstämmelse med säkerhetsföreskrifterna. Konstruktionen kommer att uppfylla tekniska specifikationer för att säkerställa en livslängd på minst 10 år och använda sig av material som är resistent mot marina miljöer och som förhindrar halka under olika väderförhållanden.

Metodikerna gick ut på att skapa en detaljerad kravspecifikation, utvärdera befintliga samt generera flera nya designkoncept genom fri idégenerering. Därefter används en serie elimineringsmetoder för att välja de lämpligaste lösningarna utifrån funktionalitet, säkerhet och tillverkningsbarhet. Detta för att sälla ut koncept som inte uppfyller alla krav eller är för komplexa för att vidareutveckla. En materialvalsprocess genomfördes för att utforska potentiella alternativ som uppfyller krav från företaget och föreskrifterna. Som resultat av konceptgenereringen har två koncept framtagits som modellerades med CAD, för att sedan gå vidare till den slutliga designprocessen där ett slutkoncept bestämdes. En strukturanalys av de två olika koncepten utfördes med hjälp av FEM-simuleringar för att validera landgångens prestanda under förväntade belastningar och dess miljöförhållanden. Dimensionering av motorerna och ställdonen som ska styra landgången utfördes med data från FEM-simuleringen och mekanikberäkningar. Slutligen utfördes en jämförelse av de två koncepten baserat på resultaten från FEM-simuleringen som innefattar uppskattad tillverkningskostnad och verifiering av kravspecifikation för att bestämma det slutgiltiga konceptet.

Slutkonceptet resulterade i en stark men lättviktig design som drivs upp och ned med hjälp av två elektriskt drivna ställdon. Landgången består av en ram gjord i en aluminiumlegering, en gångplatta som placeras ovanpå ramen och en främre femdelad ramp vars undersida består av friktionytor. Genom användning av optimala material kunde balansen mellan vikt och styrka uppnås i kombination med att miljöpåverkan minimeras. Som resultat uppnår den slutgiltiga landgången de kraven som ställts från relevanta standarder och föreskrifter, samt företaget själva.

Sökord:

Produktutveckling, maskinkonstruktion, CAD, FEM, landgång, passagerartransport, sjöfart, design

Innehållsförteckning

1. Inledning	10
1.1 Bakgrund	10
1.2 Problemformulering	10
1.3 Syfte	10
1.4 Mål	11
1.5 Avgränsningar	11
1.5.1 Allmänna avgränsningar	11
1.5.2 Dimensioner	11
1.5.3 Materialval och tillverkning	12
1.5.4 Tekniska analyser	12
1.5.5 Standarder och föreskrifter	12
2. Metod	13
2.1 Kravspecifikation	13
2.2 Idégenerering	13
2.3 Funktionsanalys	13
2.4 Konceptgenerering och utvärdering	13
2.5 Materialval och modellering	14
2.6 Analys av konstruktion	14
3. Resultat	15
3.1 Kravspecifikation	15
3.2 Idégenerering	15
3.2.1 Konceptsökning	15
3.2.1.1 Koncept A	15
3.2.1.2 Koncept B	16
3.2.1.3 Koncept C	16
3.2.1.4 Koncept D	17
3.2.1.5 Koncept E	18
3.2.2 Fri idégenerering	18
3.3 Funktionsanalys	22
3.3.1 Förklaring av delfunktioner och dellösningar	22
3.4 Konceptgenerering	24
3.4.2 Morfologisk matris	24
3.4.3 Konceptkatalog	25
3.5 Utvärdering av koncept	26
3.5.1 Kriterier till matriser	26
3.5.1.1 Kriterier för elimineringsmatris	26
3.5.1.2 Kriterier för Pughmatriser	26
3.5.1.3 Kriterier för Kesselringmatris	27
3.5.2 Elimineringsmatris	28

3.5.3 Pughmatris	30
3.5.4 Kesselringmatris	31
4. Materialval och modellering	33
4.1 Materialval	33
4.1.1 Energiförbrukning	35
4.1.2 Miljöpåverkan	35
4.1.3 Kostnad	35
4.1.4 Beslut	35
4.2 Modellering av koncepten	36
4.2.1 Koncept 10	36
4.2.2 Koncept 28	37
4.2.3 Räckan	38
5. Analys av konstruktion	39
5.1 FEM-Analys	40
5.1.1 Koncept 10, analys 1	40
5.1.2 Koncept 10, analys 2	43
5.1.3 Koncept 28, analys 1	45
5.1.3 Koncept 28, analys 2	47
5.1.5 Räckan	50
5.2 Bestämning av slutkoncept	54
5.2.1 Verifiering av kravspecifikation	54
5.2.2 Tillverkningskostnad	56
5.2.3 Resultat	58
5.3 Livslängd slutkoncept	60
5.4 Dimensionering av styrsystem	62
5.4.1 Placering av ställdon	62
5.4.2 Kraften på ställdonet	62
5.4.3 Utskjutningshastigheten på ställdonet	63
5.4.4 Effekten som krävs av motorn	63
5.4.5 Förväntad livslängd för ställdon	64
6. Diskussion	65
6.1 Framtida vidareutveckling av landgången	66
7. Slutsats	67
8. Referenser	68
9. Appendix	70
A - Standarder och föreskrifter	70
B - Kravspecifikation	72
C - Konceptkatalog	75
D - Pughmatris andra och tredje iteration	78
E - GRP från Decksafe	79
F - Eco-Audit och NTMCalc, materialjämförelse	80

G - Konzeptbilder ramkonstruktion	83
H - Konzeptbilder koncept 10	84
I - Konzeptbilder koncept 28	87
J - Konzeptbilder rücken	89

1. Inledning

Under examensarbetets gång kommer en hopfällbar landgång för en mindre passagerarbåt konstrueras i samarbete med företaget Cstrider AB. Landgången är en viktig länk mellan båten och bryggan, vilket innebär att dess design kommer att påverka smidigheten och framförallt säkerheten för ombord- och avstigning av passagerare. En väl fungerande landgång är viktigt för företagets vision om att göra vattnet till en integrerad del av människors vardagliga resor. Med fokus på tekniska och funktionella krav kommer rapporten att omfatta allt från konceptgenerering, materialval och modellering till tekniska analyser och simuleringar för att säkerställa att landgången klarar de krav som ställs på den i en realistisk användningsmiljö.

1.1 Bakgrund

Transport på vatten av passagerare och gods är en metod som har använts i väldigt många år. Det är i grunden ett av de mest energieffektiva sätten att förflytta sig och där det samtidigt finns utrymme för stor utveckling inom passagerartrafiken. Vattenvägarna utgör en stor infrastrukturresurs som kan användas för att bidra till mer hållbara resvanor. Cstrider AB är ett företag som har målsättningen att minska klimatpåverkan av passagerartransport genom att göra pendling via vattnet till ett naturligt framtida alternativ och att förkorta restiden för enskilda resenärer. Cstrider utvecklar en transportlösning med små passagerarbåtar med elektrisk framdrivning och automation som medger behovsstyrd drift och transportsystemoptimering. Båten kommer att utsättas för olika situationer där det kommer att finnas många saker att ta hänsyn till. En viktig del är hur båten ska kunna lägga till vid en brygga och sättet man tar på och av passagerare smidigt, snabbt och säkert. Detta är något som kommer fokuseras på vid detta arbete och då framförallt utvecklingen och konstruktionen av själva landgången till båten.

1.2 Problemformulering

För att utveckla en effektiv och säker transportlösning med små elektriska passagerarbåtar är det avgörande att kunna hantera processen för på- och avstigning av passagerare på ett säkert sätt. Den viktigaste delen i att uppnå detta är designen och funktionen av båtens landgång. Utmaningen ligger i att konstruera en landgång som kan fällas ned automatiskt, men även manövreras manuellt i nödlägen. Landgången måste vara lätt att använda, inte utgöra ett hinder för passagerarna, och passa in i båtens driftsystem. Dessutom måste konstruktionen uppfylla säkerhetskrav och regelverk för mindre passagerarfartyg. Det innebär att flera tekniska utmaningar måste identifieras och lösas för att säkerställa att landgången fungerar effektivt under varierande förhållanden och i de olika situationer som båten kan utsättas för.

1.3 Syfte

Examensarbetets syfte är att konstruera en 3D-modell av en landgång för Cstrider:s passagerarbåt. Landgången skall vara automatiskt nedfällbar och manuellt manövrerbar vid nödläge, samt uppfylla krav från företaget och regelverk relaterade till mindre passagerarfartyg.

1.4 Mål

Målet med examensarbetet är att tillämpa olika ingenjörsmetoder för att konstruera en 3D-printad modell av en landgång för Cstrider:s passagerarbåt.

1.5 Avgränsningar

För att konkretisera arbetet och göra det utförbart inom den satta tidsramen har följande avgränsningar fastställts.

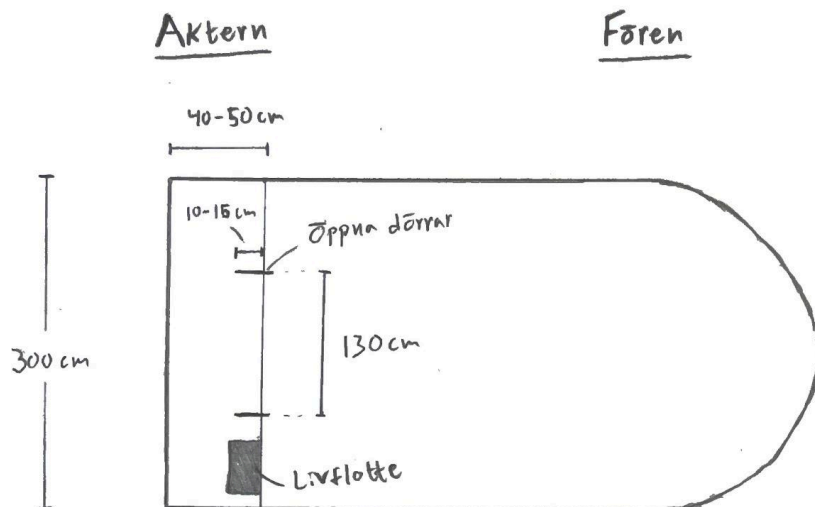
1.5.1 Allmänna avgränsningar

Examensarbetet kommer att definiera och uppfylla tekniska krav för att säkerställa en livslängd på minst 10 år. En analys för att bekräfta dess livslängd kommer att utföras i Ansys Workbench. Arbetet kommer att överensstämma med och referera till relevanta standarder. Landgången måste klara av specifika miljökrav och vara tillverkad av material som är havsvatten- och köldbästandiga. Den måste även vara utformad för att undvika halka vid olika väderlag och omständigheter. Landgången måste även uppfylla olika säkerhetsstandarder som förklaras i rapporten, och skall kunna manövreras manuellt i nödsituationer. Frekvensen av landgångens fällning och lyftning på en standardrutt kommer att beaktas och eventuella justeringar på fartyget kan diskuteras vid behov. Möjligheten att använda landgången för förtöjning kommer att övervägas, inklusive prisskillnader bland de olika koncepten.

Examensarbetet kommer inte att resultera i en verklig produkt som företaget kan använda direkt på sin passagerarbåt. Inte heller en prototyp kommer att tillverkas då även detta blir för tidskrävande och där tiden kan utnyttjas för att få en så bra teoretisk modell istället. De slutliga koncept och lösningar som tas fram kommer istället att presenteras i 3D-modeller med de tänkta materialen. Inga fysiska tester kommer att genomföras utan istället utförs analyser och simuleringar teoretiskt för att kunna klargöra konceptets hållbarhet och funktionalitet. Mekaniska beräkningar av landgången kommer endast att göras på slutkonceptet och inga andra alternativa koncept. Inga avancerade kostnadsanalyser kommer att genomföras. Tillverkningskostnader, arbetskraftskostnader, och diverse indirekta kostnader tas inte i beaktande.

1.5.2 Dimensioner

Landbryggans dimensioner kommer att vara anpassade efter Cstriders passagerarfartygs dimensioner samt lagkrav och standarder som gäller för fartyg. Konstruktionen av landbryggan avser att landgången läggs till mot en brygga i ungefär samma höjd som båten. Båtens tänkta bredd är ungefär tre meter, varav 40 cm går åt till livflottar som skall ha möjlighet att fästas på båda sidor av fartyget. Dörrarna som öppnar upp för passagerarna är 130 cm vida och skjuter ut 10-15 cm mot akterns gångyta vid öppning. Dessutom är djupet på ytan i aktern där landgången är tänkt att placeras mellan 40-50 cm. Allt detta tas i åtanke vid konceptgenerering och konstruktion av landgången. För en illustration av båten, se figur 1.



Figur 1. Båtens dimensioner

1.5.3 Materialval och tillverkning

Materialen som väljs måste vara robusta nog att tåla både saltvatten- och färskvattenmiljöer. Detta kräver en noggrann analys av korrosionsmotstånd och anpassning till olika miljöförhållanden. Materialvalet måste även tas i åtanke att undvika en alltför reflekterande finish för att minimera reflektioner från solen och vattnet. Då hållbarhet ligger i stort fokus för företaget måste landgången ha möjlighet att tillverkas så nära användningsplatsen som möjligt och främst av företag med liknande hållbarhetsperspektiv. Materialkrav från standarder och föreskrifter tas även i åtanke.

1.5.4 Tekniska analyser

Mekanikberäkningar och FEM-simuleringar kommer att utföras. Detta görs för att förstå vilka krafter som landgången och bryggan kommer att utsättas för utan att ta för stor skada och samtidigt uppfylla kraven. Den tekniska analysen är också till för att se att kraften och motorfunktionen som krävs för att kunna sänka och höja landgången med önskad hastighet också är rimligt.

1.5.5 Standarder och föreskrifter

En mängd standarder och föreskrifter tas i åtanke vid skapandet av kravspecifikation, konceptgenerering och utförande av arbetet som visas och förklaras kort i tabell 1 nedan. För en fullständig lista och genomgång av dessa, se Appendix A.

Titel	Förklaring
SJÖFS 2004:25	Anpassning av passagerarfartyg med hänsyn till personer med funktionshinder
SJÖFS 2005:25	Skyddsanordningar och säkerhetskrav för landgångar
SS-EN 14206	Krav och provning av landgångar för passagerarfartyg för inre vattenvägar (belastningskrav, mått, m. m.)
ISO 7061	Specifikationer för aluminiumlandgångar för sjöfarande fartyg
TSFS 2021:95	Råd om konstruktion, stabilitet och fribord för fartyg
AFS 1981:14	Skydd mot skada genom fall vid olika anordningar
AFS 2006:4	Förflyttning mellan arbetsutrustning och plattformar får inte innebära någon fallrisk

Tabell 1. *Standarder och föreskrifter*

2. Metod

Under kapitlets gång utforskas metoderna som används för att slutligen framställa koncepten som skall vidareutvecklas.

2.1 Kravspecifikation

En kravspecifikation upprättas för att bestämma de krav konceptet måste uppfylla. Genom att fastställa detaljerade krav och riktlinjer för landgångens design, materialval, funktion och säkerhet ska denna specifikation säkerställa att landgången är hållbar, funktionell, robust och säker under olika miljöförhållanden och olika situationer.

2.2 Idégenerering

En idégenerering som innehåller en konceptsökning och fri idégenerering utförs för att ta fram nya koncept baserat på existerande och egna lösningsförslag. Genom att söka och analysera olika koncept kan potentiella lösningar identifieras som möter kraven och de specifika behoven. Utöver konceptsökning har fri idégenerering i form av brainstorming utförts med krav och önskemål från kravspecifikationen i åtanke.

2.3 Funktionsanalys

Funktionsanalys upprättas där landgångens olika delfunktioner och dellösningar bestäms för att lättare kunna generera koncept med hjälp av en morfologisk matris. För att få en bättre förståelse för landgångens funktioner skapades ett funktionsträd. Huvudfunktionen hos landgången identifierades som "på- och avstigningssystem", vilket tydligt beskriver övergång för passagerare mellan fartyget och bryggan.

2.4 Konceptgenerering och utvärdering

Efter att alla krav och relevanta funktioner tagits fram, genereras nya koncept med hjälp av en morfologisk matris där delfunktionerna och dellösningar från funktionsanalysen kombineras med varandra för att generera nya lösningar.

De genererade koncepten genomgår slutligen en serie elimineringsmetoder för att sälla ut lösningar som anses otillräckliga eller allmänt dåliga. Denna serie av elimineringsmetoder innehåller bland annat en elimineringsmatris som utvärderar koncepten utefter hur väl de uppfyller kriterierna som upprättats. Beroende på hur bra varje koncept uppfyller kriterierna "A" - "G" får konceptet antingen ett "+" om kriteriet uppfylls, eller ett "-" om det ej uppfylls. Om ett koncept inte uppfyller något av kriterierna ges beslutet att ej vidareutveckla det, oavsett antal "-" som getts ut. Nästa steg var en Pughmatris som itereras tre gånger. I Pughmatrisen utvärderas de koncept som gick vidare från elimineringsmatrisen, utvärderingen sker genom bestämning av ett koncept som används som referens (koncept 9), för att utforska hur väl de andra koncepten uppfyller kriterierna som upprättats i jämförelse med referenskonceptet.

Slutligen utvärderas de kvarvarande koncepten med hjälp av en Kesselringmatris, en metod som syftar till att ge en mer detaljerad och noggrann bedömning av koncepten genom att betygsätta dem på en skala från 1 till 5. I Kesselringmatrisen bedöms varje koncept utifrån hur väl de uppfyller de definierade kriterierna, där 1 representerar att kriteriet uppfylls mycket dåligt och 5 att kriteriet uppfylls mycket väl. Varje kriterium viktas också baserat på dess betydelse, vilket gör att vissa kriterier har större påverkan på det slutliga resultatet än andra.

2.5 Materialval och modellering

Efter konceptutvärderingen genomförts påbörjas materialvalsprocessen för att verifiera vilka material som är lämpliga att använda till konstruktionen av landgången används programmet Ansys Granta EduPack. I programmet ställs olika krav baserade på företaget och kravspecifikationens önskemål som materialen måste uppfylla. På detta sätt sällar man enkelt bort tusentals materialtyper som inte når måttet och tillåter noggrannare analys av de kvarvarande materialen. Efter materialvalet genomförs även en miljöpåverkansanalys hos materialen för att få en bättre förståelse av påverkan de har på miljön i de olika stadierna av sin livscykel, denna genomförs med hjälp av verktyget Eco-Audit i Ansys Granta EduPack och verifieras separat med NTMCalc, ett webbaserat verktyg för CO₂-fotavtrycksbedömning.

2.6 Analys av konstruktion

De kvarstående koncepten från elimineringsmetoderna modelleras sedan i programmet Autodesk Fusion 360 och genomgår slutligen en sista utvärderingsprocess där FEM-simuleringar som verifierar konceptens hållfasthet genomförs. En verifiering av hur väl de två koncepten uppfyller kraven från kravspecifikationen utförs, följt av en kostnadsuppskattning för att jämföra resultatet och utse ett vinnande koncept. Genomgång och ytterligare förklaring av de olika metoderna för konceptframtagning redovisas i kapitel 3 och 4, analyser av de två konceptens hållfasthet och kostnad samt dimensionering av styrsystemet redovisas slutligen i kapitel 5.

3. Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från de metoder som beskrivits i föregående kapitel. Insamlade data granskas och de framtagna koncepten och lösningarna redovisas. Först redovisas resultatet av kravspecifikationen och hur väl de genererade koncepten uppfyller dessa krav. Därefter granskas utfallet av konceptsökning och idégenerering, där både existerande lösningar och nya idéer utforskas. En funktionsanalys genomförs för att identifiera delfunktioner och dellösningar för att sedan generera nya koncept genom en morfologisk matris. Slutligen genomgår de genererade koncepten en serie elimineringsmetoder för att sälla ut mindre lovande lösningar och fokusera på de mest lovande koncepten.

Genom att systematiskt redovisa och analysera resultaten, ger detta kapitel en tydlig överblick över vilka koncept som har potential att vidareutvecklas och implementeras.

3.1 Kravspecifikation

Efter framtagning och identifiering av alla avgränsningar och krav görs en kravspecifikation som detaljerat beskriver de krav och önskemål som behöver uppfyllas. Kravspecifikationen är baserad på alla krav från Cstrider men också de givna standarder och föreskrifter. Den fullständiga kravspecifikationen redovisas i Appendix B.

3.2 Idégenerering

Idégenerering utförs i syfte att skapa nya innovativa koncept för hur en landgång hade kunnat se ut. Idégenereringen genomförs i två olika steg, först genom konceptsökning för att få en uppfattning av hur existerande lösningar ser ut och skiljer sig från varandra. Därefter utförs fri idégenerering där nya koncept tas fram utan att ha några gränser i åtanke.

3.2.1 Konceptsökning

Nedan visas några redan färdiga konstruktioner av olika typer av liftar, landgångar och ramper som används av andra företag idag.

3.2.1.1 Koncept A

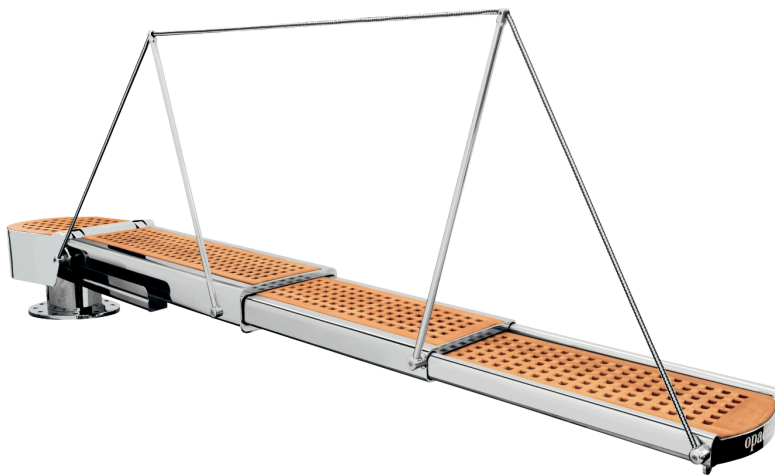
‘Gangway 123’ från Nautinox Milano är en manuell landgång som är utdragbar i tre steg. Den har en självbärande konstruktion som inte kräver lutning mot bryggan eller kajen. Den tar upp väldigt lite utrymme när den är stängd men kan uppnå samma prestanda som en traditionell landgång när den är utfälld. Detta är en positiv funktion i förhållande till landgångar för mindre båtar där det ofta är brist på utrymme. Se figur 2.



Figur 2. Gangway 123 - Self-supporting gangway. Från Timage

3.2.1.2 Koncept B

En teleskopisk landgång från Opacmare har möjlighet för två eller tre utfällbara sektioner. Den har ett roterande torn och manuella eller automatiska stolpar. Förlängningen och rotationen av landgången hanteras med hjälp av hydrauliska ställdon som styrs via en elektronisk styrenhet. Se figur 3.



Figur 3. Teleskopiskt utskjutbar landgång Slewing gangways 1843/49. Från Opacmare

3.2.1.3 Koncept C

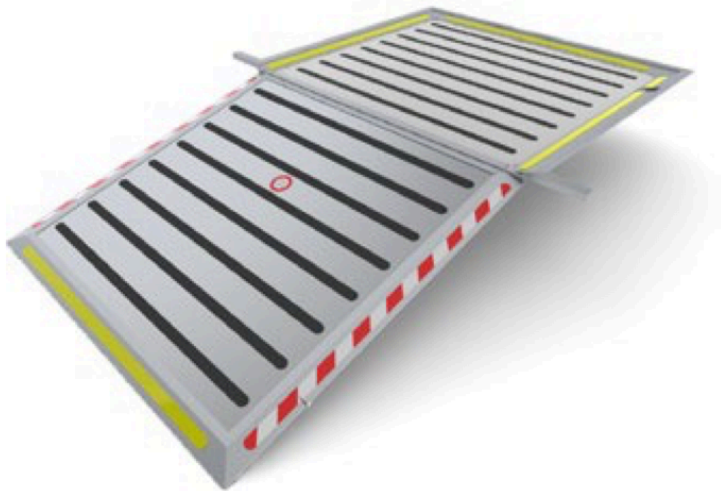
Denna landgång är uppdelad i två sektioner och har en utfällbar funktion. Den fälls utåt så att de två sektionerna bildar en fullständig landgång i utfällt läge och en vikt upprätt landgång i startläget. Detta medför en enkel men effektiv funktion som ger en landgång med bra längd och styrka samtidigt som den inte tar alltför stor plats på båten. Se figur 4.



Figur 4. Delad landgång från norsk färja

3.2.1.4 Koncept D

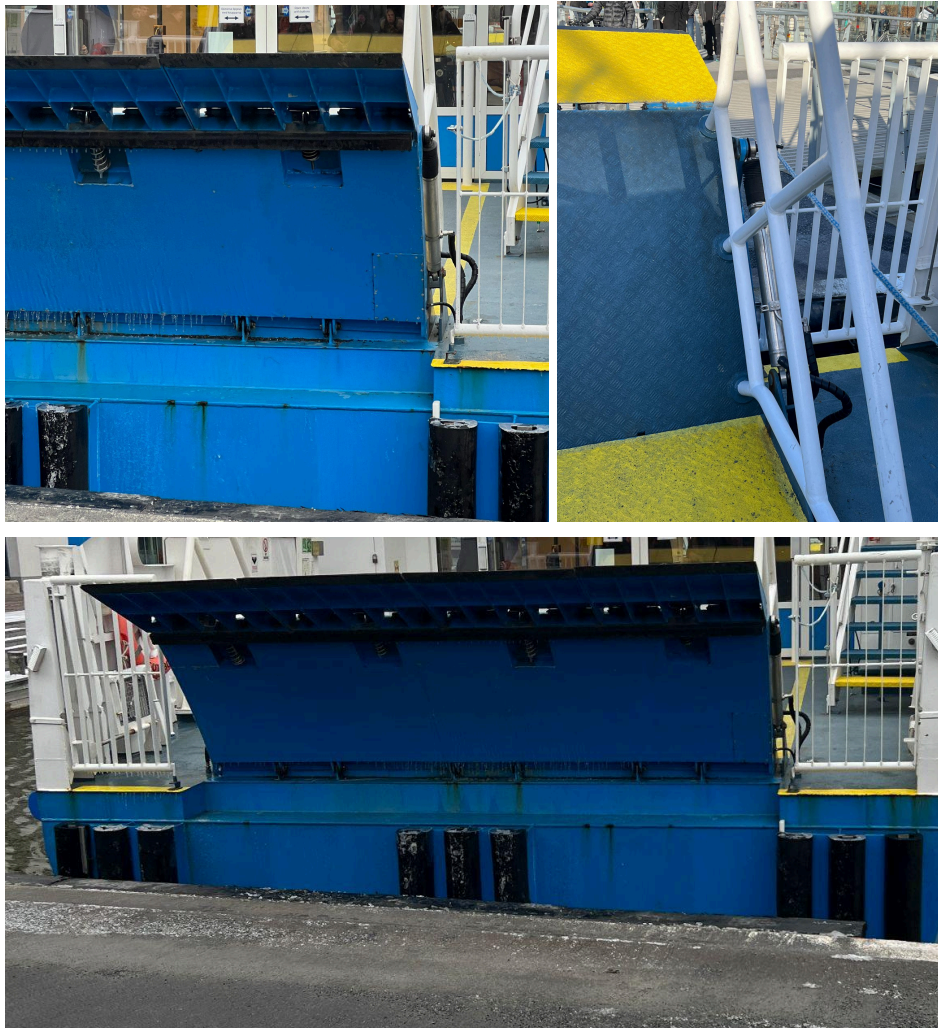
Företaget U-lifts EcoBoard rullstolsramp är i första hand användbar för låggolvsfordon men används som inspiration till konstruktion av landgången. Den enkla och lätta rampen är helt byggd i korrosionsfritt material vilket är en viktig faktor i detta arbete. Rampen är tillverkad av halkskyddad aluminium och ramverket är tillverkat av anodiserad aluminium. Se figur 5.



Figur 5. EcoBoard rullstolsramp. Från U-lift

3.2.1.5 Koncept E

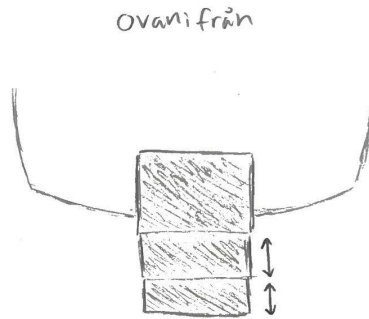
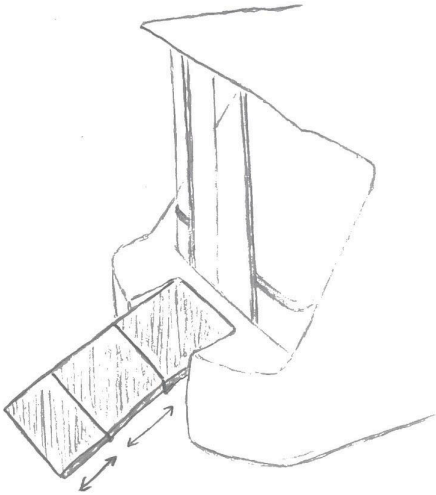
Linjefärjan Elvy som går mellan Lindholmspiren och Stenpiren har en bred, något välvd tvådelad landgång i metall med hydraulisk teleskoparm på var sida. Fyra fjädrar är fästa i landgångens mindre yttre fyrdelade parti och det välvda massiva inre partier med en hel "metallbrygga". När landgången sänks och når bryggan töjs fjädrarna ut för att rätta ut landgången och minska på lutningsvinkeln. På den fyrdelade yttre delen finns även någon typ av plast eller gummi på undersidan för ökat grepp mot bryggan. Se figur 6.



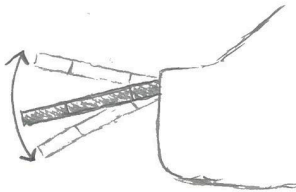
Figur 6. Västtrafiks linjefärja Elvy (egen bild)

3.2.2 Fri idégenerering

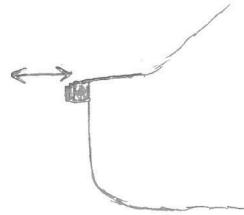
Med konceptsökningen som grund för att definiera konkreta och rimliga alternativ har brainstormingen utförts med fria tyglar där endast kravspecifikationen och önskemål från företaget använts som grund. Detta för att i slutändan generera så många relevanta koncept som möjligt. Se figur 7 till och med 10.



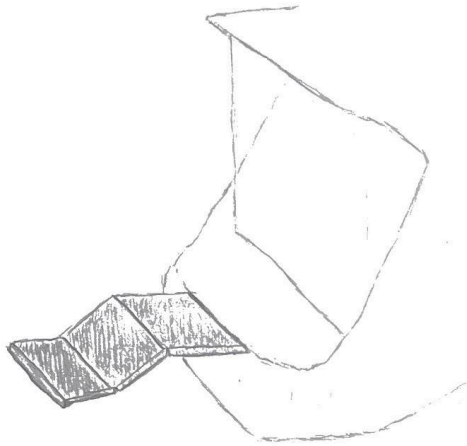
Från sidan, utfälld



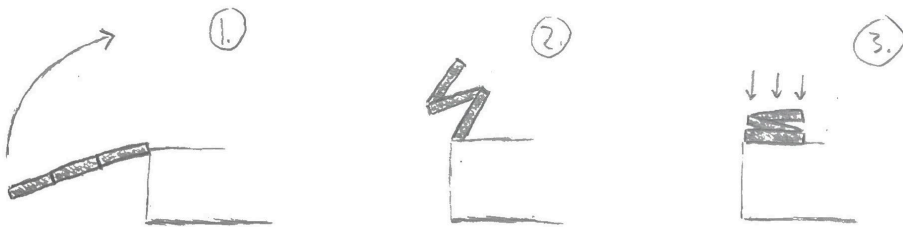
Från sidan, infälld



Figur 7. *Koncept 1, utfällbar landgång*



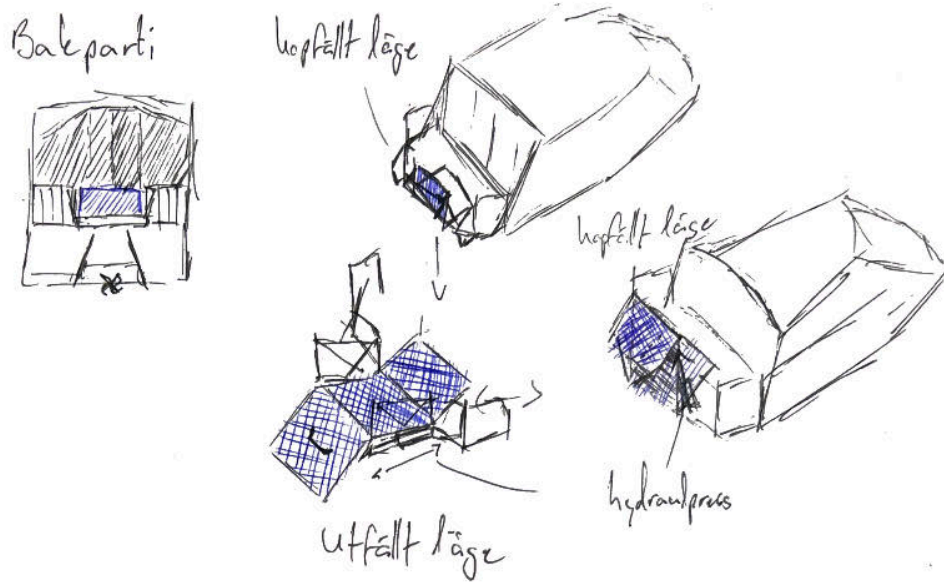
Från Sidan — Hopfällning



Figur 8. Koncept 2, hopfällbar tredelad landgång



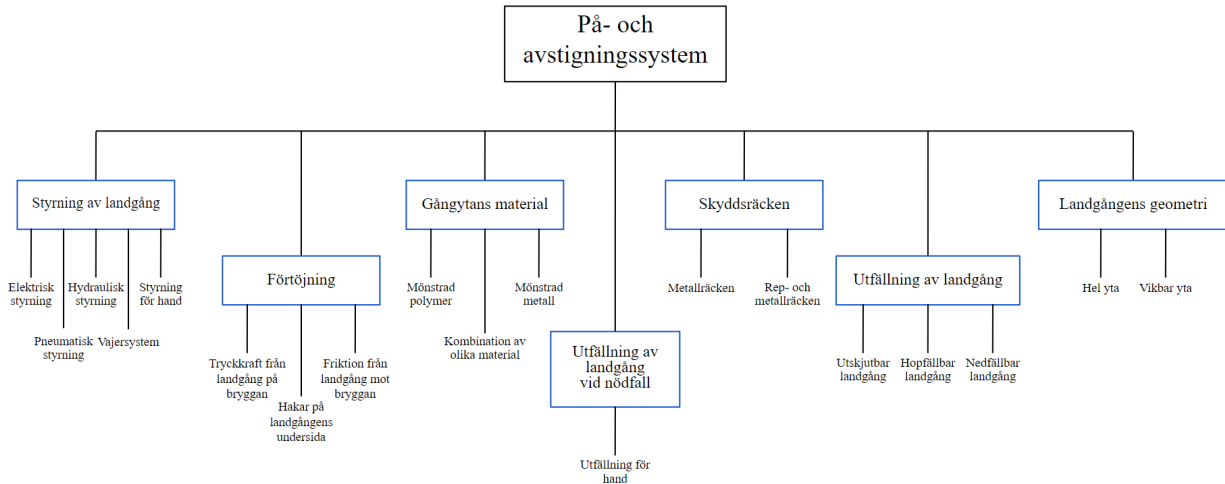
Figur 9. Koncept 3, nedfällbar landgång med vadersystem



Figur 10. *Koncept 4, nedfällbar landgång med hydrauliskt system*

3.3 Funktionsanalys

Med på- och avstigningssystem som huvudfunktion identifierades sex delfunktioner och tillhörande dellösningar hos landgången som ger en tydligare bild av hur landgången är uppbyggd. Se figur 11.



Figur 11. Funktionsträd för landgång

3.3.1 Förklaring av delfunktioner och dellösningar

Styrning av landgång

Styrningen av landgången avser vilken typ av mekaniskt element som ansvarar för att fälla ut eller in landgången för att låta fartygets passagerare att gå ombord eller iland.

Förtöjning

Tryckkraft från landgång på bryggan är en dellösning som tillämpas genom att fartyget höjs och applicerar en kraft för att förtöja båten med hjälp av ett styrsystem. Hakar på landgångens undersida används genom att landgången hakar fast i bryggan och tillåter fartyget att förtöja till bryggan på ett enkelt sätt. Förtöjning genom friktion från landgång mot bryggan avser en typ av lösning som använder någon typ av material på undersidan som har hög friktionskoefficient och inte låter landgången glida runt. Alla alternativ har som mål att konservera energiförbrukningen hos fartyget genom att minska på motorkraften som annars krävs vid förtöjning.

Gångytans material

Typerna av material som anses vara lämpliga för konstruktionen av landgångens gångyta.

Utfällning av landgång vid nödfall

Att kunna fälla ut landgången för hand vid nödfall är ett starkt krav för företaget.

Skyddsräcken

Enligt standarder och föreskrifter ([SS-EN 14206](#)) krävs skyddsräcken i anslutning till landgången hos fartygen. De alternativ som finns att välja på är antingen metallräcke med tvärsnitt i metall eller en kombination av rep- och metallräcken.

Utfällning av landgång

De tre olika dellösningarna som identifierats är utskjutbar landgång, hopfällbar landgång och nedfällbar landgång. För att förtydliga de olika dellösningarna har utskjutbar landgång definierats som en landgång likt koncept A och B, hopfällbar landgång anses vara hopfällbar då den kan vikas in i sig själv helt och hållet likt koncept A. Nedfällbar landgång kan ha hopfällbara delar men fälls huvudsakligen ned för att förtöja fartyget och låta passagerare passera.

Landgångens geometri

De olika typerna av delade landgångar avser enbart ytan som ej är direkt på båten, endelad gångyta består därmed av en kontinuerlig del utan ställen att vikas på, tvådelad gångyta har en vikbar del och tredelad har två vikbara delar.

3.4 Konceptgenerering

De nya koncepten genereras genom kombination av de olika delfunktionernas dellösningar på olika sätt, och genererar således en stor mängd nya koncept.

3.4.2 Morfologisk matris

För att generera nya konceptlösningar används verktyget "Morpheus" för att skapa en morfologisk matris genom kombinerande av de delfunktioner och dellösningar som framställts i funktionsanalysen. Se tabell 3.

Delfunktioner	Dellösningar				
Styrning av landgång	Hydraulisk styrning	Pneumatisk styrning	Elektrisk styrning	Styrning för hand	Vajersystem
Förtöjning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Friktion från landgång mot bryggan	Hakar på landgångens undersida		
Gångytans material	Mönstrad polymer	Kombination av olika material	Mönstrad metall		
Utfällning av landgång vid nödfall	Utfällning för hand				
Skyddsräcken	Metallräcken	Rep- och metallräcken			
Utfällning av landgång	Utskjutbar landgång	Hopfällbar landgång	Nedfällbar landgång		
Landgångens geometri	Hel yta	Delad yta			

Tabell 3. Morfologisk matris

I programmet Morpheus genererades totalt 540 nya koncept från den morfologiska matrisen, vilket är alldeles för många att utvärdera med matrismetoder på ett effektivt sätt. Därför har begränsningar i form av vilka delfunktioner och dellösningar som kan och inte kan kombineras med varandra bestämts. Se tabell 4.

Inkompatibiliteter	
Styrning för hand	Utskjutbar landgång
Styrning för hand	Hopfällbar landgång
Styrning för hand	Tryckkraft från landgång på bryggan
Styrning för hand	Delad gångyta
Vajersystem	Hopfällbar landgång

Vajersystem	Utskjutbar landgång
Vajersystem	Tryckkraft från landgång på bryggan
Hopfällbar landgång	Hel yta

Tabell 4. Inkompatibiliteter mellan konceptens delfunktioner och dellösningar

Inkompatibiliteterna bestämdes genom hur väl de olika dellösningarna hade fungerat med varandra i åtanke, och då mängden genererade koncept fortfarande är väldigt hög (306) avgränsas de ytterligare för att sälla ut de koncept som är mindre relevanta med kravspecifikationen och önskemål från Cstrider som grund. Se tabell 5.

Ytterligare avgränsningar	
Styrning för hand	Manuell utfällning av landgången anses vara för påträngande för besättningen och uppfyller därmed inte krav och önskemål från kravspecifikationen.
Pneumatisk styrning	Mindre kraftfull än hydraulisk styrning, kan bland annat vara känsligt för temperaturförändringar.
Hydraulisk styrning	På grund av säkerhetskrav som tillkommer och önskemål från företaget att inte använda hydrauliskt styrsystem förkastas alternativet.
Mönstrad polymer	En landgång helt i metall eller kombination av olika material anses vara mer fördelaktig att använda än enbart en mönstrad polymer på grund av slitstyrkan.
Hakar på landgångens undersida	Hakarna kan medföra skador på vissa typer av bryggor och tas därmed bort ur konceptgenereringen.
Hopfällbar landgång	På grund av begränsningar på ytan anses en helt hopfällbar landgång ta upp för mycket plats.

Tabell 5. Ytterligare avgränsningar

3.4.3 Konceptkatalog

De färdiga koncepten som genererades med hjälp av den morfologiska matrisen sammanställs i en konceptkatalog, se Appendix C.

3.5 Utvärdering av koncept

En utvärdering av koncepten som genererats från den morfologiska matrisen genomförs i tre olika steg med syfte att sålla ut koncepten som inte håller måttet för vidare verifiering och utveckling.

3.5.1 Kriterier till matriser

För att utvärdera koncepten i de olika typerna av elimineringsmatriser har kriterier som är relevanta för varje typ av matris upprättats. Kriterierna som koncepten utvärderas mot bygger på krav och önskemål från kravspecifikationen, som speglar företagets och standarders begäran, samt de olika delfunktioner och dellösningar som upprättats för att generera koncepten.

3.5.1.1 Kriterier för elimineringsmatris

Vid framtagningen av elimineringsmatrisen togs sju tydliga men viktiga kriterier fram för att kunna göra en bedömning av vilka koncept som bör elimineras bort. Alla dessa kriterier måste vara uppfyllda för att ett koncept ska tas vidare i processen. Konceptet måste uppfylla alla krav som fastställts i kravspecifikationen. Kriterium C, realiserbar, bedöms med hänsyn till tidsbegränsningar, komplexitet och realistisk genomförbarhet. Teknisk genomförbarhet (kriterium D) syftar till genomförbarheten med hänsyn till beräkningar, konstruktion och dimensionering. Vid bedömning av konceptets säkerhets- och ergonomi aspekter har saker som inte redan avstämts i kravspecifikationen tagits i beaktande, vilket ska resultera i en trygg och bekväm användarupplevelse. Kriterium F syftar på vikten i att ett koncept överensstämmer med företagets övergripande vision och mål, vilket i det här fallet bedöms mycket på miljöpåverkan och förtöjningseffektiviteten. Det sista kriteriet innebär att det ska finnas tillgång till tillräcklig information och därmed göra det möjligt att vidareutveckla och förbättra konceptet. Se tabell 7.

A: Löser huvudproblemet	Konceptet (landgång) tillåter folk att gå ombord fartyget
B: Uppfyller kraven i kravspecifikationen	Konceptet förhåller sig till de krav som ställts i kravspecifikationen
C: Realiserbar	Konceptet är realiserbart med tidsbegränsningar i åtanke
D: Teknisk genomförbarhet	Konceptet anses vara möjligt att genomföra rent tekniskt (beräkningar, konstruktion och dimensionering)
E: Säker och ergonomisk	Konceptet har en säker och ergonomisk konstruktion
F: Passar företaget	Konceptet följer företagets vision
G: Tillräcklig information finns	Det finns tillräcklig information som gör det möjligt att vidareutveckla konceptet

Tabell 7. Kriterier för elimineringsmatris

3.5.1.2 Kriterier för Pughmatriser

Kriterierna för Pugh-matrisen är framtagna för att utvärdera olika aspekter av konceptet och sedan även kunna jämföra och värdera dem mot andra koncept. Säkerhet är en viktig del och det har därmed gjorts en mer detaljerad bedömning än vad som togs i beaktande i elimineringsmatrisen. Här har fokuset legat på om konceptet riskerar att förhindra nödsituationer, riskerar att folk kan falla överbord och om det

skymmer sikten. Förtöjningseffektiviteten bedöms utifrån hur bra konceptet kan hantera att förtöja båten med hänsyn till smidighet och kraft. Utfällningstypen bör vara godtyckligt användbar och bedöms därefter. Konceptets komplexitet övervägs, med alla delar inräknade, för att värdera dess simpelhet och effektivitet men också säkerställa att det överhuvudtaget är en genomförbar lösning. Vid granskning av komplexiteten har typ av materialkombination, utfällningstyp och dess helhetskonstruktion varit i fokus. Materialvalet värderas utifrån dess betydelse att säkerställa hållbarhet och funktion. Konceptets kostnadseffektivitet bedöms utifrån hur kapabelt det är för att möjliggöra ekonomisk hantering. Tidseffektiviteten är en viktig aspekt vid bedömning av konceptet för att säkerställa snabb och smidig användning. Det är tiden det tar från att landgången börjar fällas ut till att båten är säkert förtöjd och passagerare kan stiga ombord. Det slutliga kriteriet är konceptets energiförbrukningen, vilket är ett viktigt överväga för att minska miljöpåverkan. Konceptet värderas här efter dess förmåga att avge så lite energi som möjligt. Se tabell 8.

Säkerhet	Bedömer hur säkert konceptet anses vara, tillåter det folk att gå ombord fartyget utan risk för fall överbord?
Förtöjningseffektivitet	Konceptets förtöjningslösning tillåter landgången att förtöja båten
Utfällningstyp	Utfällningstypen hos landgången anses vara godtyckligt användbar
Komplexitet	Beskriver hur komplex landgången anses vara med alla delar inräknade, går det att utföra lösningen med avgränsningar i åtanke?
Materialval	Beskriver materialen som föreslås användas på landgången
Kostnadseffektivitet	Konceptet bör vara utformat för att tillåta kostnadseffektiv manövrering
Tidseffektivitet	Konceptet bör inte ta för lång tid att utföra sin funktion
Energiförbrukning	Konceptet bör ha minsta möjliga energiförbrukning

Tabell 8. Kriterier för Pughmatriser

3.5.1.3 Kriterier för Kesselringmatris

Inför framtagningen av Kesselringmatrisen skapades 6 olika kriterier. Varje kriterier värderas med ett värde mellan 1-5 utifrån hur bra de är där 1 är sämst och 5 är bäst. Tidseffektiviteten (A) för konceptet är baserat på kravet (<10 sekunder) och önskemålet (<5 sekunder) från Cstrider. Säkerheten (B) har stor betydelse och därför kommer också detta värde prioriteras högt. Vid förtöjningseffektiviteten (C) värdesätts en stabil och pålitlig förtöjning högre än en förtöjning som är enbart smidig. Komplexiteten (D) bedöms med hänsyn till att värde 1 motsvarar väldigt komplext koncept och värde 5 motsvarar ett koncept som är väldigt enkelt. Materialval och hållbarhet (E) är baserade på miljöpåverkan och dess funktionalitet under en längre tid. Livslängd (F) är ett kriterium som är viktigt för att kunna bedöma konceptets långsiktiga funktionella och ekonomiska värde. I detta fall sattes värdena utifrån Cstriders krav (10 år) och önskemål (20 år). För kriterier för Kesselringmatrisen, se tabell 9.

A - Tidseffektiv		B - Säkerhet		C - Förtöjningseffektivitet	
Tid	Värde	Subjektiv	Värde	Subjektiv	Värde
<25 sek	1	a	1	a	1
<20 sek	2	b	2	b	2

<15sek	3	c		3	c	3
<10sek	4	d		4	d	4
<5 sek	5	e		5	e	5
D - Komplexitet		E - Material och hållbarhet		F - Livslängd		
Subjektiv	Värde	Subjektiv	Värde	År	Värde	
a	1	a	1	<5	1	
b	2	b	2	5	2	
c	3	c	3	10	3	
d	4	d	4	15	4	
e	5	e	5	>20	5	

Tabell 9. Kriterier för Kesselringmatris

3.5.2 Elimineringmatris

En elimineringsmatris har upprättats för att sälla ut kvarvarande genererade koncept som ej anses uppfylla kriterierna som upprättats i kapitel 3.5.1.1. För elimineringsmatrisen, se tabell 10. De koncept som uppfyller alla kriterier väljs att vidare jämföras i Pughmatrisen för att ytterligare sälla ut koncept.

Chalmers	Elimineringsmatris för:							Landgång	
Utförd av:	Kevin Broman Gustavsson, Filip Johansson							Skapad: 2024-02-10	
								+ Ja	+ Behåll lösning
								- Nej	- Eliminera lösning
								? Information saknas	? Sök (mer) information
								! Kontrollera kravspec.	! Kontrollera kravspec.
Lösning	Elimineringskriterier							Bedömning	BESLUT
	A	B	C	D	E	F	G		
1	+	+	-	-	+	+	+	-	Nej
2	+	+	+	-	+	+	+	-	Nej
3	+	+	-	-	+	+	+	-	Nej
4	+	+	+	-	+	+	+	-	Nej
5	+	-	-	-	+	-	+	-	Nej
6	+	-	+	-	+	-	+	-	Nej
7	+	-	-	-	+	-	+	-	Nej
8	+	-	+	-	+	-	+	-	Nej
9	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
10	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
11	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
12	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
13	+	-	+	+	+	-	+	-	Nej
14	+	-	+	+	+	-	+	-	Nej
15	+	-	+	+	+	-	+	-	Nej
16	+	-	+	+	+	-	+	-	Nej
17	+	+	-	-	+	+	+	-	Nej
18	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
19	+	+	-	-	+	+	+	-	Nej

20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
21	+	-	-	-	+	-	+	-	-	Nej
22	+	-	+	+	+	-	+	-	-	Nej
23	+	-	-	-	+	-	+	-	-	Nej
24	+	-	+	+	+	-	+	-	-	Nej
25	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
26	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
27	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
28	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ja
29	+	-	+	+	+	-	+	-	-	Nej
30	+	-	+	+	+	-	+	-	-	Nej
31	+	-	+	+	+	-	+	-	-	Nej
32	+	-	+	+	+	-	+	-	-	Nej
33	+	+	-	-	+	+	+	-	-	Nej
34	+	+	-	-	+	+	+	-	-	Nej
35	+	-	-	-	+	-	+	-	-	Nej
36	+	-	-	-	+	-	+	-	-	Nej
37	+	+	-	-	+	+	+	-	-	Nej
38	+	+	-	-	+	+	+	-	-	Nej
39	+	-	-	-	+	-	+	-	-	Nej
40	+	-	-	-	+	-	+	-	-	Nej

Tabell 10. Elimineringssmatris

De dellösningar som ej uppfyllde en eller flera kriterier var “rep- och metallräcken”, “vajersystem”, “utskjutbar landgång” tillsammans med “hel yta” (på grund av brist på yta i aktern), och även “utskjutbar landgång” tillsammans med “förtöjning genom tryckkraft”. Efter elimineringssmatrisen kvarstod endast 10 av de 40 koncept som utvärderades.

3.5.3 Pughmatrix

Pughmatrisen itereras totalt tre gånger, (se Appendix D för två och tre), och i varje iteration väljs det koncept som rankat sämst som referenskoncept för nästa iteration. De fyra koncept som valts att vidareutvecklas efter Pughmatrisen valdes då variationen bland de högst rankade koncepten var för låg. Se tabell 11.

Chalmers		Pughmatrix (Relativ beslutsmatrix) 1								
Utfärdare: Kevin Broman Gustavsson, Filip johansson			Skapad: 2024-02-10							
Kriterier	Alternativ									
	9	10	11	12	18	20	25	26	27	28
Säkerhet	R	0	0	0	0	0	+	+	+	+
Förtöjnings- effektivitet	E	-	0	-	-	-	+	0	+	0
Utfällningstyp	F	0	0	0	-	-	+	+	+	+
Komplexitet	E	0	+	+	0	+	-	-	0	0
Materialval	R	0	+	+	0	+	0	0	+	+
Kostnadseffektivitet	E	0	+	+	-	-	-	-	0	0
Tidseffektivitet	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energiförbrukning	S	+	0	+	+	+	0	+	0	+
$\Sigma+$		1	3	3	1	3	3	3	4	4
$\Sigma 0$		6	5	3	4	2	3	3	4	4
$\Sigma -$		1	0	1	3	3	2	2	0	0
Nettovärde		0	0	3	2	-2	0	1	1	4
Rangordning		7	8	3	4	10	9	5	6	1

Tabell 11. Pughmatrix 1

3.5.4 Kesselringmatris

Som sista steg i elimineringsmetoden används Kesselringmatris för att bestämma de slutgiltiga konceptet som skall vidareutvecklas utifrån de kvarvarande koncepten (11, 12, 20 och 26). Detta sker genom jämförelse mot vägda kriterier som fastställts i delkapitel 3.5.1, där kraven först viktas mot varandra för att bestämma hur viktigt det är att kriteriet uppfylls för att sedan vikta koncepten mot hur väl de uppfyller kriterierna. Om ett krav värderas högre än ett annat ges värdet 1, om det anses vara likvärdigt får det värdet 0.5 och om det anses värderas lägre får kravet värdet 0. Denna värdering tilldelar slutligen ett värde "w" som beräknas genom summan för varje krav och önskemål, dividerat med antalet krav och önskemål. Se tabell 14.

$$w = \frac{\text{Summa}}{\text{Antal krav}}$$

Kriterier	A	B	C	D	E	F	Summa	w
A - Tidseffektiv	-	0	0,5	0,5	0	0	1	0,057
B - Säkerhet	1	-	1	1	1	1	5	0,286
C - Förtöjningseffektivitet	1	0	-	0,5	0,5	0,5	2,5	0,142
D - Komplexitet	0,5	0	0,5	-	0	0	1	0,057
E - Material och hållbarhet	1	0,5	1	1	-	0,5	4	0,229
F - Livslängd	1	0	1	1	1	-	4	0,229
Total							17,5	1

Tabell 14. Viktning av kriterier för Kesselringmatrisen

I tabellen kan man se de olika kriteriernas framtagna värde på "w", där ett större värde symboliserar en större vikt. De kriterier som antas vara de viktigaste att de uppfylls är B (säkerhet), E (material och hållbarhet) och F (livslängd).

Med hjälp av de redan satta värdena för kriterierna som syns i tabell 9 tilldelades varje koncept ett poäng från 1 till 5 efter hur väl de uppfyllde kraven. Detta representerar "v" i kesselringmatrisen. För att sedan generera ett viktat värde "t" som multiplicerar varje "v" med motsvarande "w".

$$t = v * w$$

Först utvärderas ett idealt koncept där alla värden "v" får maximalt värde vilket motsvarar värde 5. När alla "t"-värden sedan tagits fram summerades alla värdena och ett totalt värde "T" framställdes för varje koncept, inklusive det ideala konceptet. "T"-värdet för varje koncept dividerades med "T"-värdet för det ideala konceptet vilket resulterade i att varje koncept fick ett värde under 1 som sedan kunde rangordnas. Utifrån rangordningen kunde sedan de bästa koncepten väljas ut för fortsatt utveckling. För kesselringmatrisen, se tabell 15.

$$\frac{T_{\text{koncept}}}{T_{\text{ideal}}}$$

Chalmers		Kesselringmatrix									
Utfärdare: Kevin Broman Gustavsson, Filip Johansson							Skapad: 2024-02-10				
Kriterier		Alternativ									
		Ideal		10		11		20		26	
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
A - Tidseffektivitet	0,057	5	0,285	3	0,171	3	0,171	2	0,114	3	0,171
B - Säkerhet	0,286	5	1,43	3	0,858	3	0,858	4	1,144	5	1,43
C - Förtöjningseffektivitet	0,142	5	0,71	3	0,426	4	0,568	2	0,284	4	0,568
D - Komplexitet	0,057	5	0,285	4	0,228	3	0,171	2	0,114	3	0,171
E - Material och hållbarhet	0,229	5	1,145	5	1,145	3	0,687	3	0,687	5	1,145
F - Livslängd	0,229	5	1,145	4	0,916	3	0,687	3	0,687	4	0,916
Total		30	5	22	3,744	19	3,142	16	3,03	24	4,401
Rel total		1,00		0,73	0,75	0,63	0,63	0,53	0,61	0,80	0,88
Antal svaga punkter				0		0		0		0	
Rangordning					2		3		4		1
Beslut					Ja		Nej		Nej		Ja

Tabell 15. Kesselringmatrix

Genom utvärderingsprocessen valdes slutligen koncept [10](#) och [26](#) för vidareutveckling. Den stora skillnaden mellan de vinnande koncepten ligger i landgångens utfällning, där ena konceptet är utformat med en hel platta som gångyta avser det andra konceptet en delad gångyta som möjliggör större variation i vart farkosten kan förtöja. Genom att använda en kombination av olika material kan gå det även att konstruera en landgång som klarar av de laster som krävs medan den fortfarande håller sig relativt lättviktig, något som var av stor fördel för Cstrider.

4. Materialval och modellering

I detta kapitel beskrivs materialvalsprocessen och CAD-modellering av de två valda koncepten. Utöver materialvalsprocessen som utförs under kapitlets gång har Cstrider även rekommenderat ett annat material som de vill ska användas i landgångens konstruktion. Detta material är en typ av GRP (Glass Reinforced Plastic) och framtas samt levereras av företaget Decksafe AB (<https://www.decksafe.se/>, 2024), se data i Appendix E.

4.1 Materialval

Genom insättning av informationen från kravspecifikationen har sex material valts ut. En jämförelse mellan de sex materialen har sedan utförts där bland annat materialens egenskaper, miljöpåverkan och EOL-hantering utvärderas för att bestämma vilket material som är bäst att använda för konstruktion av landgången. Se tabell 16.

Egenskaper	Al 5086	Al 5083	SS 304	SS 316	CFRP	HDPE
Densitet [kg/m ³]	2640 - 2670	2640 - 2670	7850 - 8060	7980 - 8000	1800 - 1840	952 - 965
Sträckgräns [MPa]	145 - 160	131 - 165	205 - 310	205 - 260	2400 - 2410	1.11 - 1.14
E-modul [GPa]	70 - 73.6	70 - 73.6	190 - 203	193 - 200	370 - 390	1.07 - 1.09
Pris [SEK/kg]	32.2 - 44.2	32.5 - 44.4	41.6 - 66.3	55.5 - 84.5	559 - 1120	14 - 14.5
CO ₂ produktion [kg/kg]	8.33 - 9.72	8.35 - 9.74	2.5 - 2.94	4.42 - 5.12	19.3 - 21.3	1.81 - 2.01
T _{max, Service} [°C]	80 - 100	80 - 100	750 - 925	750 - 925	530 - 580	113 - 129
T _{min, Service} [°C]	-273	-273	-200	-250	-273	-82
UV-strålning	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	God
Saltvatten	Acceptabel	Acceptabel	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt
Färskvatten	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt
Svagheter från omgivning	Oacceptabel mot starka baser	Oacceptabel mot starka baser	Utmärkt skydd	Utmärkt skydd	Utmärkt skydd	Utmärkt skydd
EOL-möjligheter	Återvinning/ deponering/ downcycling	Återvinning/ deponering/ downcycling	Återvinning/ deponering/ downcycling	Återvinning/ deponering/ downcycling	Downcycling/ förbränning	Återvinning/ deponering/ downcycling

Tabell 16. Materialjämförelse med Al 5086 som referens

För att vidare utvärdera materialen har en jämförelse mellan materialens energiförbrukning, miljöpåverkan och kostnad utförts, där Al 5086 har använts som referensmaterial. Den data som använts för jämförelsen är:

- **Vart materialet tillverkas och vart det fraktas från**

Enligt Ansys Granta EduPack tillverkas samtliga metaller i Kina, vilket därmed blev dess ursprungsland i analysen. CFRP (Carbon Fiber-Reinforced Plastic) och HDPE (High Density Poly Ethylene) tillverkas däremot båda strax utanför Göteborg hos olika tillverkare.

- **Vikten på materialet och dess dimensioner**

För att hålla analysen konsekvent valdes vikten på materialet till 100 kg, och förpackningens dimensioner hölls till 1x1x1 meter för samtliga material för att möjliggöra kostnadsanalysen i Ansys Granta EduPack..

- **Typ av transport som användes för frakt**

Aluminiumlegeringarna valdes att fraktas först via 7.5-16t EURO 6 lastbil och sedan via fraktfartyg med en total sträcka på 8056 km, stållegeringarna gick att hitta mer lokalt och valdes därmed att fraktas med 7.5-16t EURO 6 lastbil med en sträcka på 7 km. CFRP och HDPE fraktades också lokalt inom Göteborg med samma transporttyp som stållegeringarna men med en sträcka på 10 km för CFRP och 50.1km för HDPE.

- **Materiallets användningsperiod.**

För att uppskatta användningsfasen hos de olika materialen används en typ av elmotor med 12V och 8A, vilket ger effekten 96W, ($12V * 8A = 96W$). Användningen av denna motor uppskattas till 300 dagar per år och 30 minuter totalt varje dag den används i en uppskattad tidsperiod av 10 år. I slutet av livscykeln återvinns 100% av alla metallegeringar och polymeren HDPE medan CFRP behandlas på en depå och återvinns ej.

Med hjälp av verktyget Eco-Audit framställdes grafer som visar de olika materialens energiförbrukning, miljöpåverkan och kostnad i de olika stegen av dess livscykel från materialutvinning till tillverkning, följt av transport, användning och slutligen hur materialet hanteras i slutet av sin livscykel. Se Appendix F.

4.1.1 Energiförbrukning

Genom jämförelse av de olika stadierna under materialets livscykel kan dess energiförbrukning uppskattas med hjälp av datan i Eco-Audit. Man kan därmed se de material som har störst respektive minst energiförbrukning under sin livscykel, men även vad som krävs för att hantera varje material i slutet av sin livscykel beroende på om det återvinns eller skickas till en depå.

4.1.2 Miljöpåverkan

Genom Eco-Audit har materialens miljöpåverkan under livscykeln olika faser kartlagts vilket har gett en god uppfattning om vilka material som har minst respektive störst miljöpåverkan. Aluminiumlegeringarna har överlag högst miljöpåverkan när det kommer till utvinningen av materialen men har även jämförelsevis bäst återvinningsbarhet. Förhållandevis till de resterande materialen har även CFRP inte bara hög påverkan i materialutvinning- och användningsfasen utan saknar även möjligheten att återvinnas i slutet av sin livscykel.

En uppskattning av materialens miljöpåverkan vid transport har även utförts med hjälp av verktyget NTMCalc Basic (<https://www.transportmeasures.org/sv/>, 2024) där varje materials transportsträcka och tillhörande utsläpp har framtagits med samma parametrar som under Eco-Auditen, se appendix F.

4.1.3 Kostnad

En kostnadsuppskattning har genomförts i samma format som de tidigare stegen där det tydligt visar vilka material som kostar mest att tillverka samt i vilken del av livscykeln de högsta kostnaderna tillkommer.

4.1.4 Beslut

Vid utformningen av landgången har valet av material spelat en avgörande roll för projektet. En tyngdpunkt har lagts på att minimera energi- och miljöpåverkan, samtidigt som konstruktionen ska vara lätt och enkel att hantera vid nödsituationer. Jämfört med de traditionella stållegeringarna SS 304 och SS 316 erbjuder AL 5083 betydande fördelar. Den viktigaste punkten är att AL 5083 har lägre densitet än stål, vilket resulterar i en mer hanterbar och lättviktig konstruktion, vilket är särskilt viktigt för en nödsituation där snabb och effektiv manövrering är avgörande. Utöver viktfordelarna har AL 5083 precis som stållegeringarna också fördelen av att vara korrosionsbeständig, vilket gör den perfekt för marina tillämpningar. Dessutom kan aluminiumlegeringar generellt sett återvinnas med lägre energiförbrukning jämfört med stål, vilket passar väl in i Cstrider:s fokus på hållbarhet och miljömedvetenhet. CFRP valdes att inte använda då det är ett material som kräver mycket pengar och energi att tillverka, vilket gör att priset blir väldigt högt. Dessutom har materialet ingen återvinningsmöjlighet i slutet av sin livscykel.

Även om stållegeringarna SS 304 och SS 316 har sina fördelar, som mer lokal tillgänglighet och enklare användarvänlighet, erbjuder AL 5083 ett överlägset alternativ när det gäller att balansera vikt, hållbarhet och miljöpåverkan.

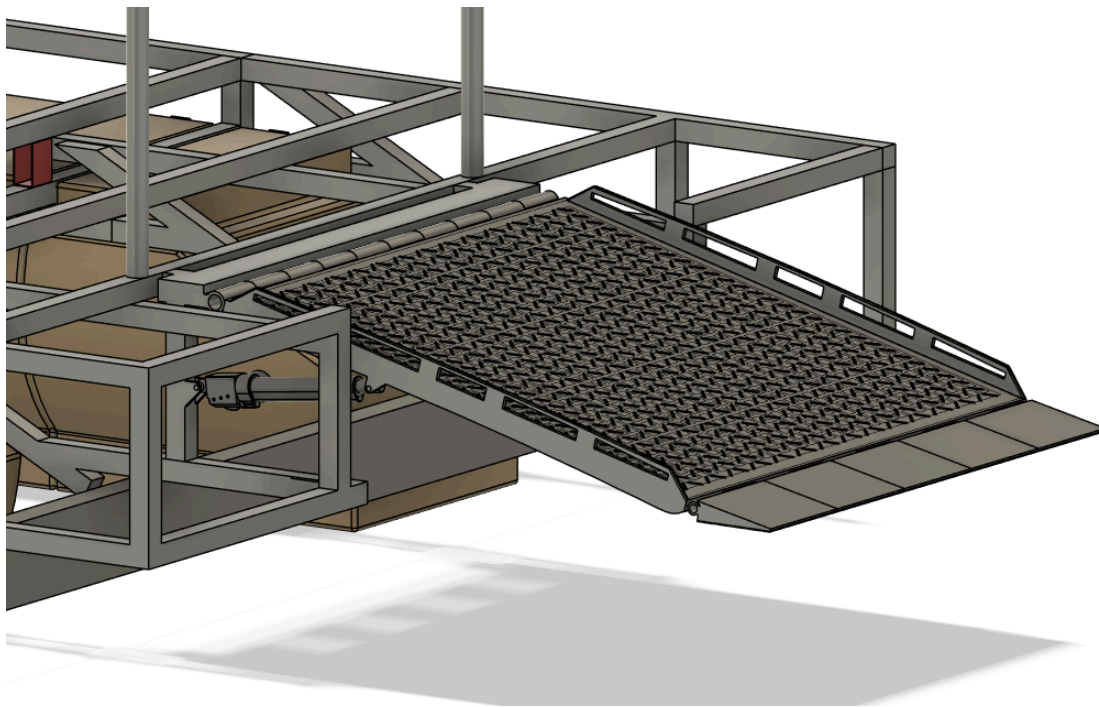
De materialen som slutligen valts för konstruktionen av landgången är därmed AL 5083, HDPE och GRP.

4.2 Modellering av koncepten

De två vinnande koncepten från elimineringsmetoderna modelleras i Fusion 360 tillsammans med passagerarbåtens ram för att sömlöst koppla ihop modellerna och tillåta en verklig uppfattning av hur de två koncepten hade sett ut i bruk. Justeringar har även utförts på båtens ram i enlighet med Cstrider för att tillåta montering av landgång, dörrar och ställdonen som styr ned- och uppfällning av landgången, se Appendix G. Modellering av stödräcken har även utförts där tre olika koncept har utvecklats.

4.2.1 Koncept 10

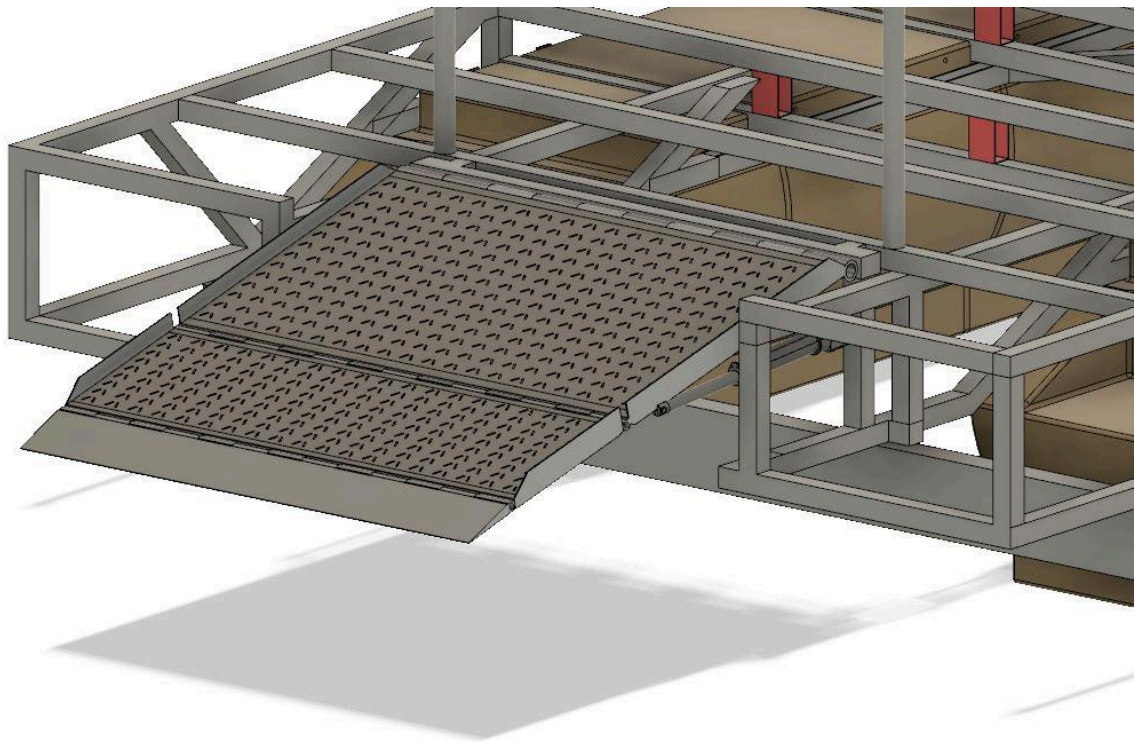
[Koncept 10](#) som bestod av en nedfällbar landgång med hel yta, elektrisk styrning och som hjälper till att förtöja båten med hjälp av friktion har modellerats efter företagets önskingar och behov samt framför allt de standarder och krav som ställs på konstruktionen. Resultatet är en landgång som är relativt lättviktig men fortfarande klarar av de laster och krafter som förväntas verka på den. Landgången använder sig av de tre olika materialen som valts från materialvalsprocessen. Landgångens ram och främre del består av AL 5083 för att främja en tålig men fortfarande tyngdmässigt lätt konstruktion. Friktionsplattorna på den främre delens undersida består av en räfflad HDPE för att tillåta bättre grepp utan att orsaka större påfrestning på bryggor som använder sig av trädeck. Den har även en platta gjord av GRP placerad ovanpå ramen med en mönstrad yta för att förhindra halka. Se figur 25, för fler bilder, se appendix H.



Figur 25. Landgången vid nedfällt läge (-14°)

4.2.2 Koncept 28

[Koncept 28](#) är styrd elektriskt och förtöjs med hjälp av friktion precis som för koncept 10. Den stora skillnaden mellan de två koncepten är den delade ytan som ger möjligheten till en lite längre landgång men som fortfarande uppfyller kravet att inte skymma sikten mer än tillåtet. De stora nackdelarna med detta koncept är att det blir mer avancerat då det krävs en extra motorfunktion för att fälla båda plattorna samtidigt som den i detta fall också blir något tyngre. Den blir även mer komplex att tillverka vilket leder till högre tillverkningskostnader. Ramen är tänkt att tillverkas i AL 5083 vilket ger en hållbar men samtidigt inte överdrivet tung konstruktion. Även här är en GRP-platta med mönstrad yta placerad ovanpå ramen. Se figur 32, för fler bilder, se appendix J.



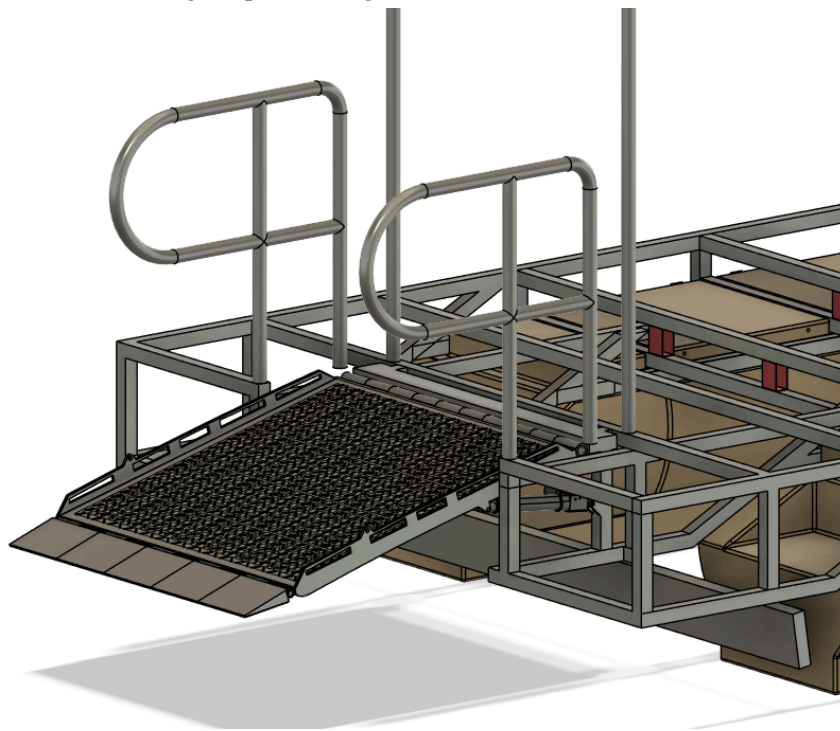
Figur 32. Landgången vid nedfällt läge (-14°)

4.2.3 Räckan

Efter att koncepten för vidareutveckling hade bestämts skissades och utformade även olika typer av räckan för landgången enligt SS-EN 14206, samtidigt som innovativa alternativ utforskades för att minimera eller undvika att använda traditionella räckan. Anledningen till detta var att Cstrider upplevde klassiska räckan eller bommar som otympliga och hinderliga.

Det första konceptet använde stödräckan som används för handikapptoaletter som inspirationskälla, där räckan kunde fällas upp längsmed eller tillsammans med landgången. Ett annat koncept för räckan kom till där nedfällningen av landgången samtidigt öppnade två "grindliknande" räckan under nedfällningsprocessen. Detta var tänkt att utföras genom ett sammankopplat system men ansågs slutligen vara för komplext att utföra. En annan lösning hade varit att använda sig av en elmotor eller manuell öppning istället för ett sammankopplat system, men även om idén med en elmotor för att kontrollera stödräckans rörelse verkade lockande så fanns det en risk för ökad komplexitet och potentiella driftsproblem med en separat motorstyrning. Det sista konceptet för räckan som framställdes var klassiska orörliga räckan som helt enkelt monteras på båten och skjuter ut en bit längsmed landgången. För konceptbilder, se Appendix I.

Efter noggranna överväganden implementeras de fasta räckan som det vinnande alternativet. Denna design kombinerar effektiv säkerhet med användarvänlighet och kan dessutom integreras enkelt med landgångens ram. Genom att tillgodose företagets önskan om minskade hinder på landgången samtidigt som standardens säkerhetskrav uppfylls har en säker och smidig ombordstigningsupplevelse för passagerare och besättning skapats. Se figur 34.



Figur 34. Landgång med fasta räckan

5. Analys av konstruktion

I detta kapitel sker en analys av konceptens konstruktion för att verifiera att de uppfyller kraven från kravspecifikationen, standarderna och Cstrider:s önsknings. Genom att fokusera på ett vinnande koncept för vidareutveckling och genom att utföra detaljerade analyser och beräkningar säkerställs att den slutliga produkten uppfyller de krav och förväntningar på både hållfasthet och prestanda som bestämts.

Konstruktionsanalysen inkluderar genomförandet av en FEM-simulering (Finite Element Method) i Ansys Workbench 2023 R1, och även mekanikberäkningar. Syftet med dessa analyser är att bedöma konceptets strukturella integritet under olika belastningsförhållanden. Efter att konceptets hållfasthet har verifierats är nästa steg att dimensionera den motor som krävs för att driva och styra den slutliga produkten. Motorstorleken och dess prestanda kommer att anpassas baserat på de krav som bestämts av Cstrider.

5.1 FEM-Analys

För att bekräfta att konstruktionen klarar de krav som bestämts tidigare i kapitel [1.5.5](#) har en analys med hjälp av finita elementmetoden utförts i programmet Ansys Workbench 2023 R1. I analysen har landgången fixerats i sina gångjärn (fast inspänd) för att simulera lasterna på ytan jämnt. Därefter har självvikt på hela konstruktionen lagts till i form av jordens gravitationsacceleration, en jämnt fördelad last på 2000N och sedan ett jämnt fördelat tryck på 6.25 kN/m² som verkar på landgångens gångyta har lagts till utifrån standard SS-EN 14206. Detta för att verifiera att konstruktionen klarar de förväntningar och tester som hade utförts i ett verkligt sammanhang.

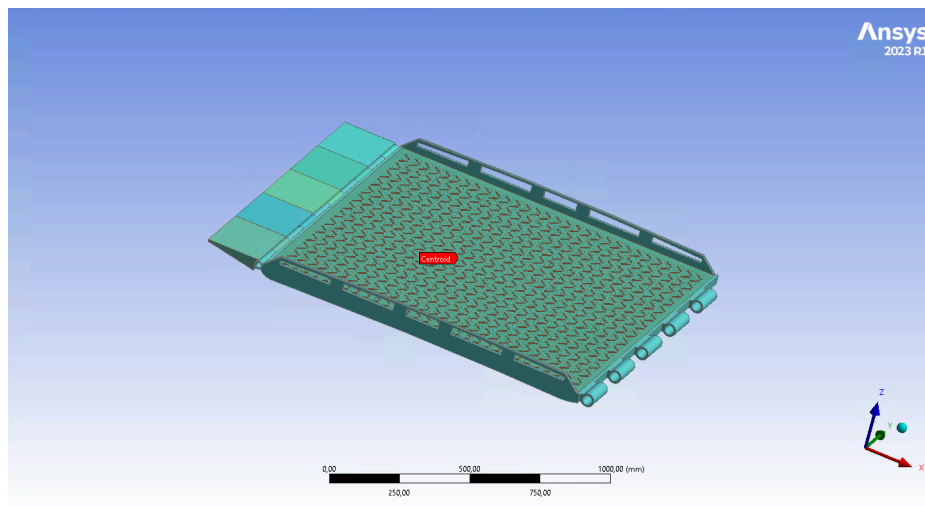
5.1.1 Koncept 10, analys 1

Resultaten från analys 1 i Ansys Workbench 2023 R1 presenteras tillsammans med tillhörande data för koncept 10, se tabell 17.

Komponent	Massa	Material
Platta	11.786 kg	HDPE 30% Glasfiber
Ram	25.648 kg	AL 5083
Ändramp (5 st)	10.833 kg	AL 5083
Friktionsyta till ändramp (5 st)	0.365 kg	HDPE
Landgång komplett	48.451 kg	

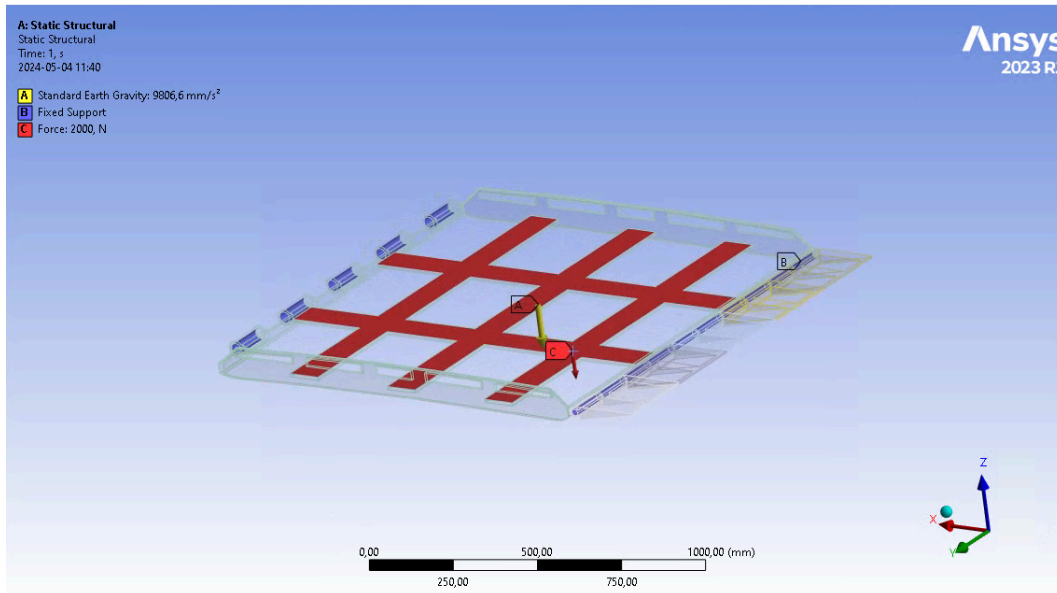
Tabell 17. Data för FEA gällande koncept 10

En modell skapad i Fusion 360 importerar till Ansys Workbench för att utföra FEM-simuleringen, se figur 35. Modellen visar även masscentrum i x-led som befinner sig på 784.99 mm avstånd från mittpunkten av gångjärnen som fästs i båtens ram. Avståndet till masscentrum för landgången spelar en betydande roll i mekanikberäkningarna som utförs i [Kapitel 5.3](#), se figur 38.



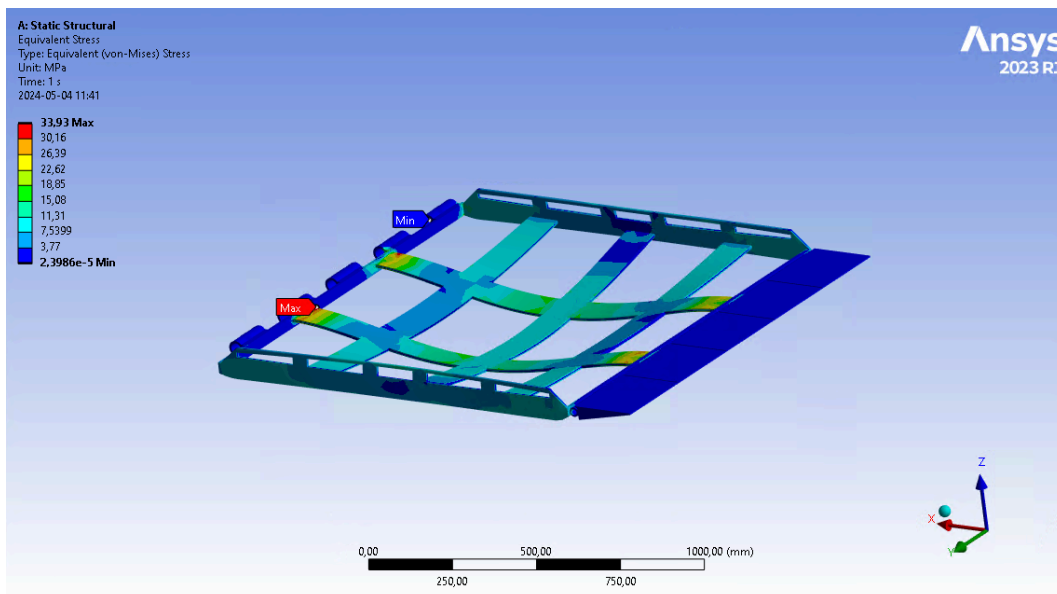
Figur 38. Koncept 10

Den första analysen består av en last på 2000N som verkar på landgångens gångyta, och för att säkerställa att landgångens ram klarar av lasten så användes inte gångplattan i någon av analyserna. Jordens gravitation (standard earth gravity) samt fast inspända stöd (fixed support) i gångjärnen lades även till för analysen, se figur 39.



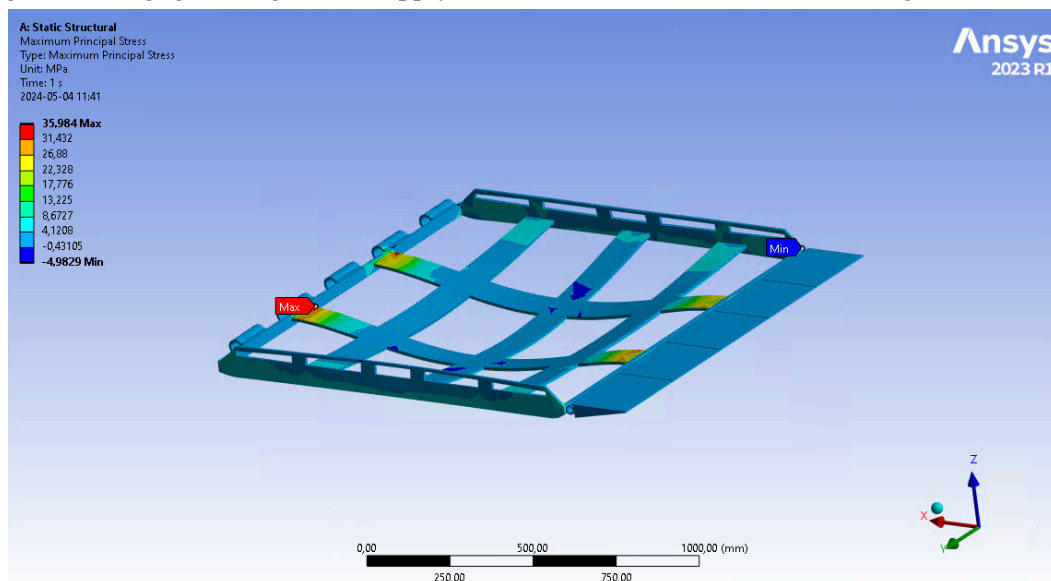
Figur 39. Begynnelsevillkor för koncept 10, 2000N

Det första resultatet som granskas är den ekvivalenta spänningen (von Mises spänningen), som är ett mått på den kombinerade effekten av olika typer av spänningar i materialet, visas för hela konstruktionen. Den ekvivalenta spänningen är avgörande för att bedöma om materialet kan motstå de applicerade lasterna utan att nå brottgränsen. Ur tabell 16 visar sig materialets sträckgräns ligga på mellan 131 - 165 MPa vilket är långt ifrån de 33.93 MPa som uppnås under belastning av 2000N, se figur 40. Den relativt låga spänningen från lasten ger en säkerhetsfaktor på $131 / 33.93 = 3.860$, vilket är väldigt försäkrande då det innebär att det finns utrymme för större laster att verka på landgången.



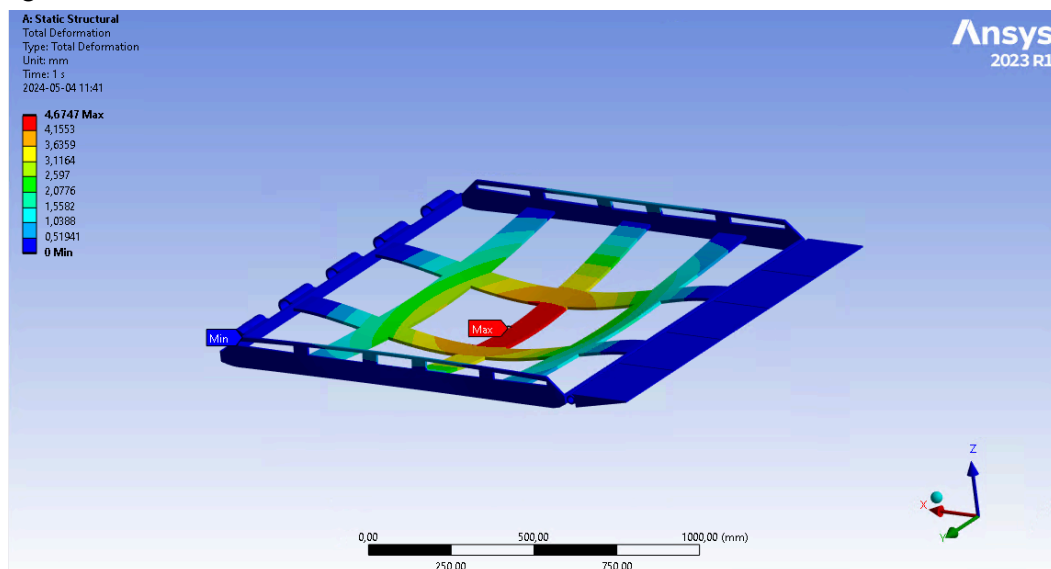
Figur 40. Ekvivalent spänning, 2000N

Det andra resultatet från analysen är den maximala huvudspänningen, som identifieras i de mest kritiska områdena såsom vid gångjärnen och fästpunkterna. Analysen visar att även dessa spänningar är inom säkra gränser, vilket säkerställer att konstruktionen inte riskerar att spricka eller gå sönder under belastning. Säkerhetsfaktorn för ramen kan beräknas till att vara $131 \text{ MPa} / 35.984 \text{ MPa} = 3.640$, vilket ger en väldigt god marginal och uppfyller kraven satta av standarderna. Se figur 41.



Figur 41. Maximal huvudspänning, 2000N

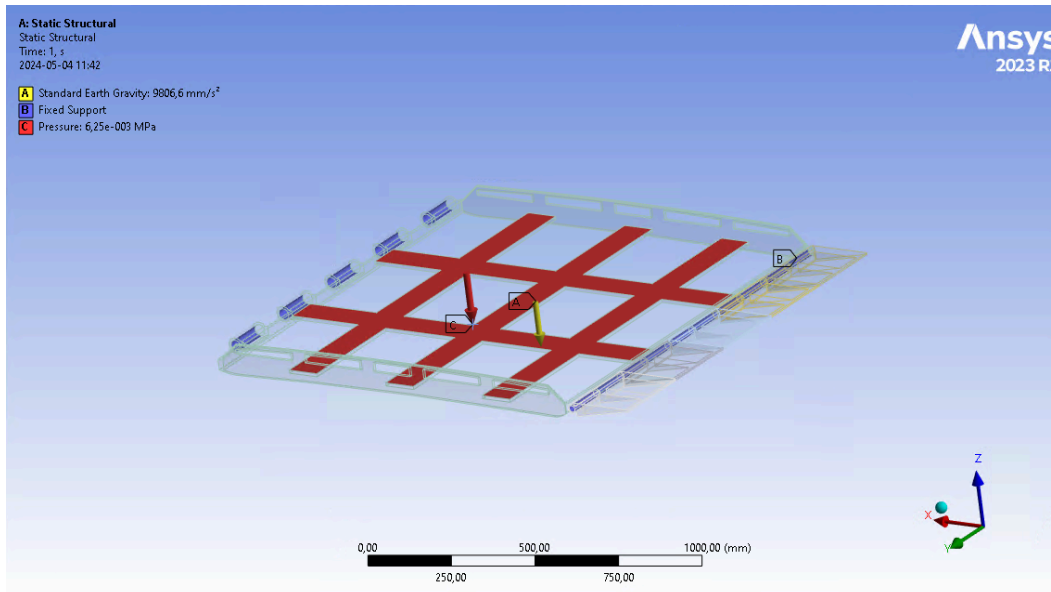
Det tredje och sista intressanta resultatet är konstruktionens totala deformation. Resultatet visar att landgången upplever böjning under de tillämpade lasterna, men deformationerna som uppstår ligger inom acceptabla gränser. Detta innebär att landgångens funktion och stabilitet bibehålls under belastning, se figur 42.



Figur 42. Total deformation, 2000N.

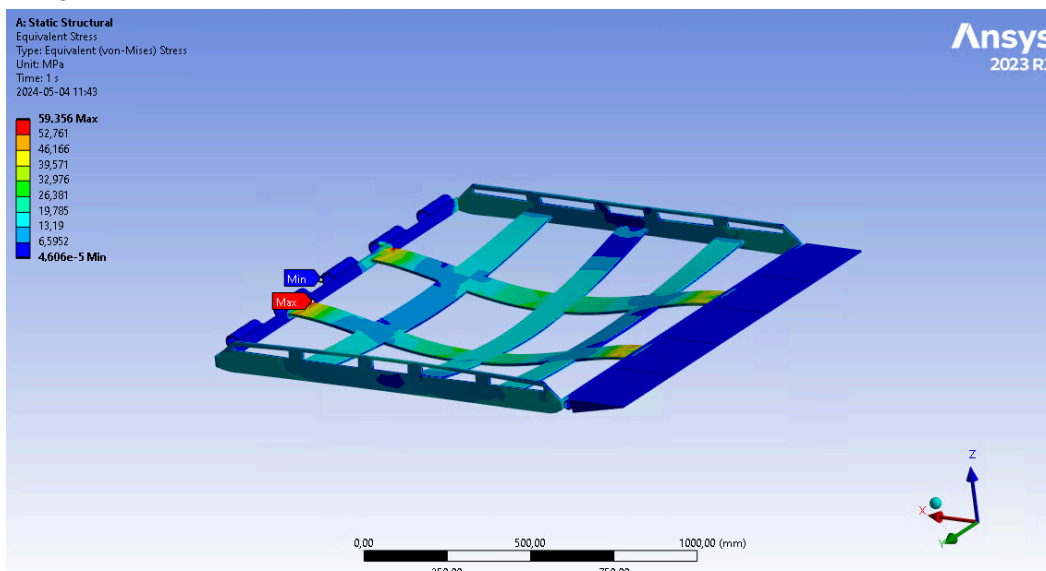
5.1.2 Koncept 10, analys 2

Den andra analysen som utförs består av ett tryck på 6.25kN/m^2 (0.0065MPa) som verkar på landgångens gångyta, istället för en kraft som i tidigare analys. Resterande begynnelsevillkor och sökta resultat förblir samma som i analys 1, se figur 43.



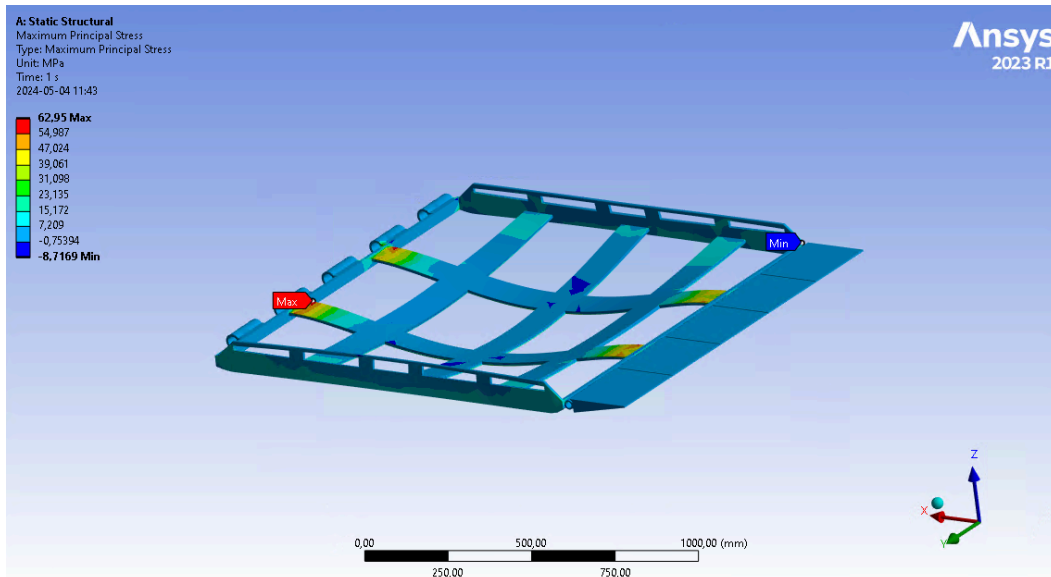
Figur 43. Begynnelsevillkor koncept 10, 6.25kN/m^2

Precis som i analys 1 är det första resultatet som granskas den ekvivalenta spänningen (von Mises-spänningen), men till skillnad från den förra analysen ger trycket som verkar på landgången större spänningar och deformationer än kraften på 2000N . Trots ökningen i den ekvivalenta spänningen från 33.93 MPa till 59.356 MPa så håller sig materialet fortfarande gott inom sin sträckgräns som ligger på $131 - 165\text{ MPa}$. Med den ökade spänningen uppnås en säkerhetsfaktor av $131\text{ MPa} / 59.356\text{ MPa} = 2.207$. Se figur 44.



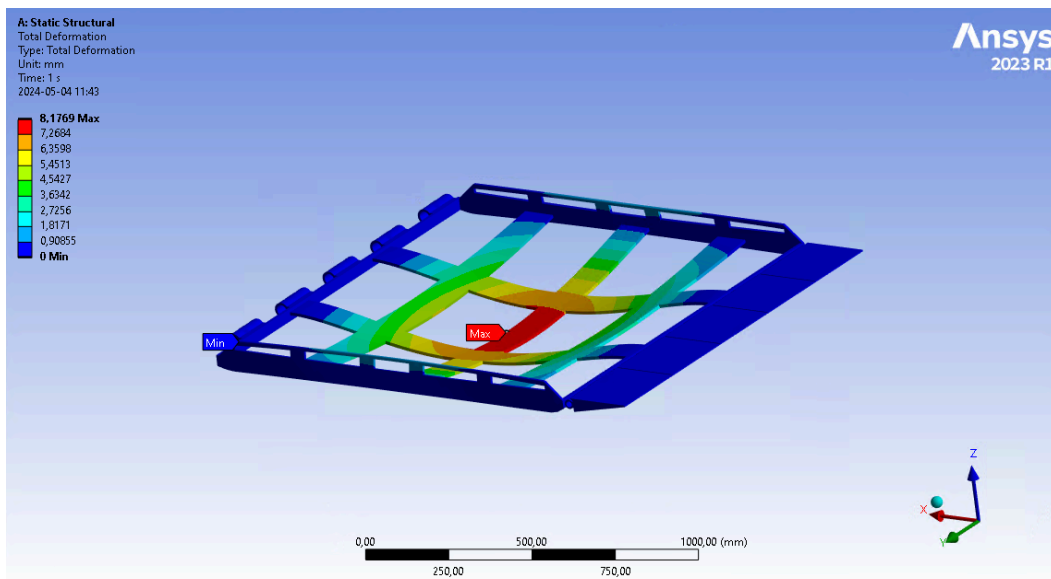
Figur 44. Ekvivalent spänning, 6.25kN/m^2

Det andra resultatet från analysen är återigen den maximala huvudspänningen, som identifieras i de mest kritiska områdena såsom vid gångjärnen och fästpunkterna. Analysen visar att även dessa spänningar är inom säkra gränser men att de ligger närmare sträckgränsen jämfört med analys 1. Säkerhetsfaktorn för ramen kan beräknas till att vara $131\text{ MPa} / 62.95\text{ MPa} = 2.081$, vilket är betydligt lägre än som vid en last på 2000N , men fortfarande inom god marginal. Se figur 45.



Figur 45. Maximal huvudspänning, 6.25kN/m^2

Resultatet för den totala deformationen visar att landgången upplever en större nedböjning under de tillämpade lasterna jämfört med analys 1. Deformationerna som uppstår ligger dock inom acceptabla gränser, men är betydligt större. Landgången upplever en total deformation på 8.17 mm , vilket är nästan dubbelt så mycket som vid analys 1. Se figur 46.



Figur 46. Total deformation, 6.25kN/m^2

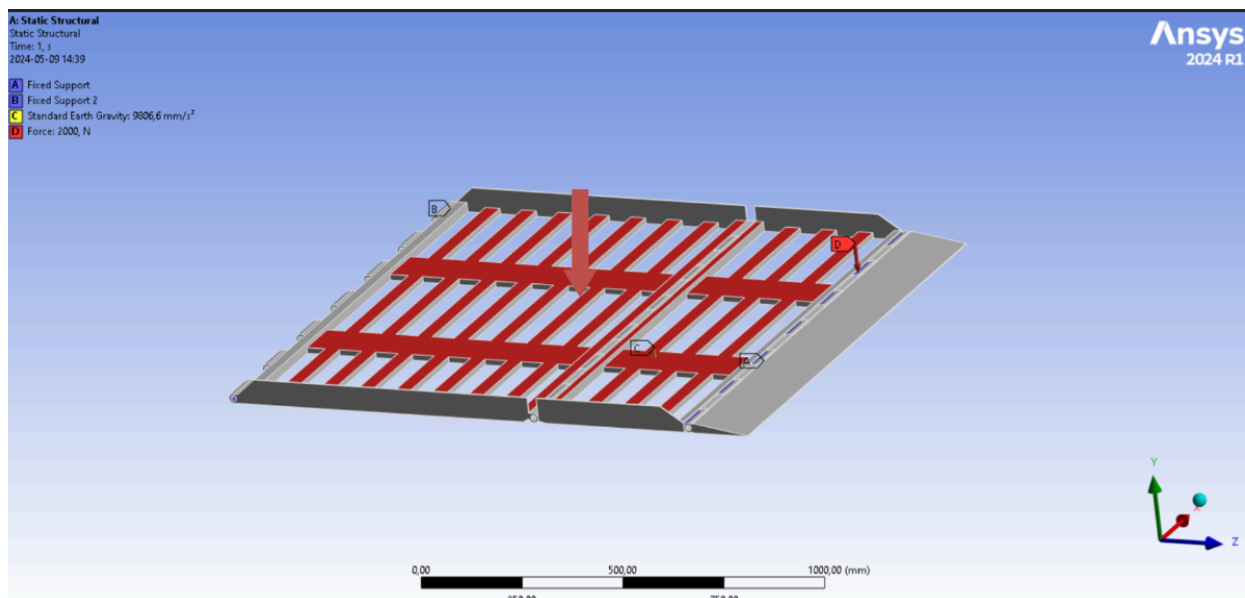
Analysen visar att under trycket på 6.25 kN/m² upplever konstruktionen högre ekvivalent spänning och maximal huvudspänning samt större total deformation jämfört med en punktlast på 2000N. Trots dessa högre värden ligger de uppnådda spänningarna fortfarande inom säkra gränser enligt materialets sträckgräns, och deformationerna är acceptabla. Sammanfattningsvis visar resultaten att koncept 10 klarar de förväntade lasterna och uppfyller de krav som ställts enligt standard SS-EN 14206. Konstruktionen är både säker och funktionell under de specificerade belastningsförhållandena.

5.1.3 Koncept 28, analys 1

Samma analyser som utfördes för koncept 10 utförs återigen fast med koncept 28 i fokus. Relevant data redovisas nedan, se tabell 18. En last på 2000N appliceras på ramens två gångtytor, som i den tidigare analysen är gångjärnen fast inspända med fixed support och jordens gravitation (standard earth gravity) lades till, se figur 47.

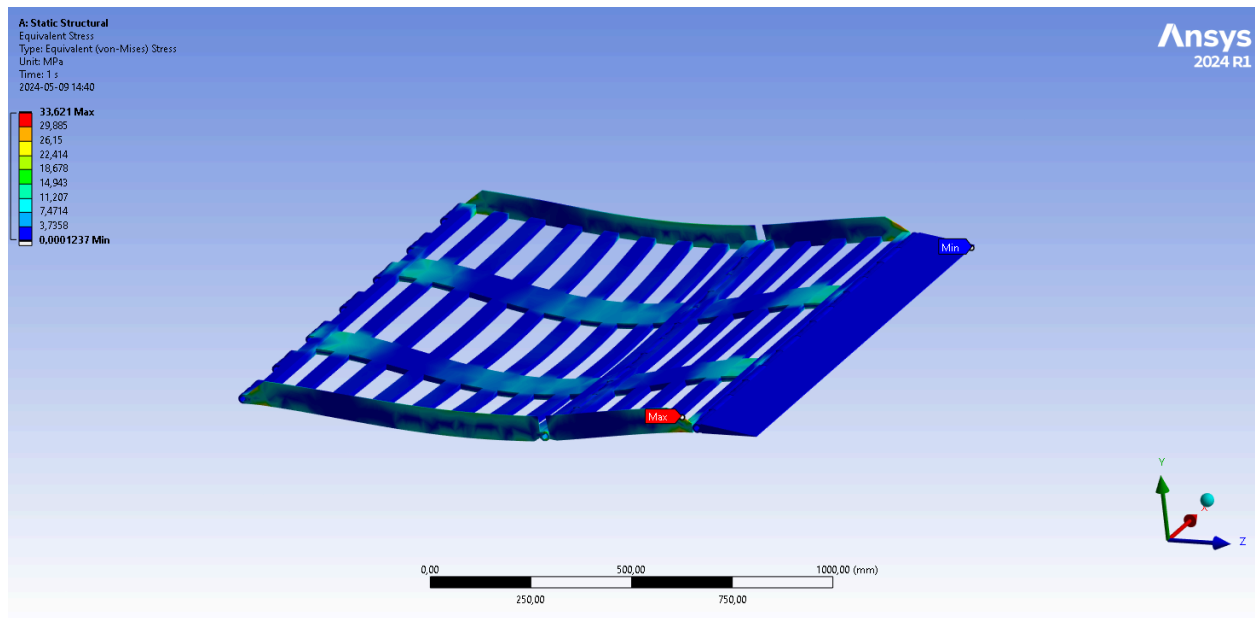
Komponent	Massa	Material
Platta 1	10.745 kg	HDPE 30% Glasfiber
Platta 2	5.223 kg	HDPE 30% Glasfiber
Ram	39.113 kg	AL 5083
Ändramp	6.147 kg	AL 5083
Landgång komplett	61.228 kg	

Tabell 18. Data för FEA gällande koncept 28.



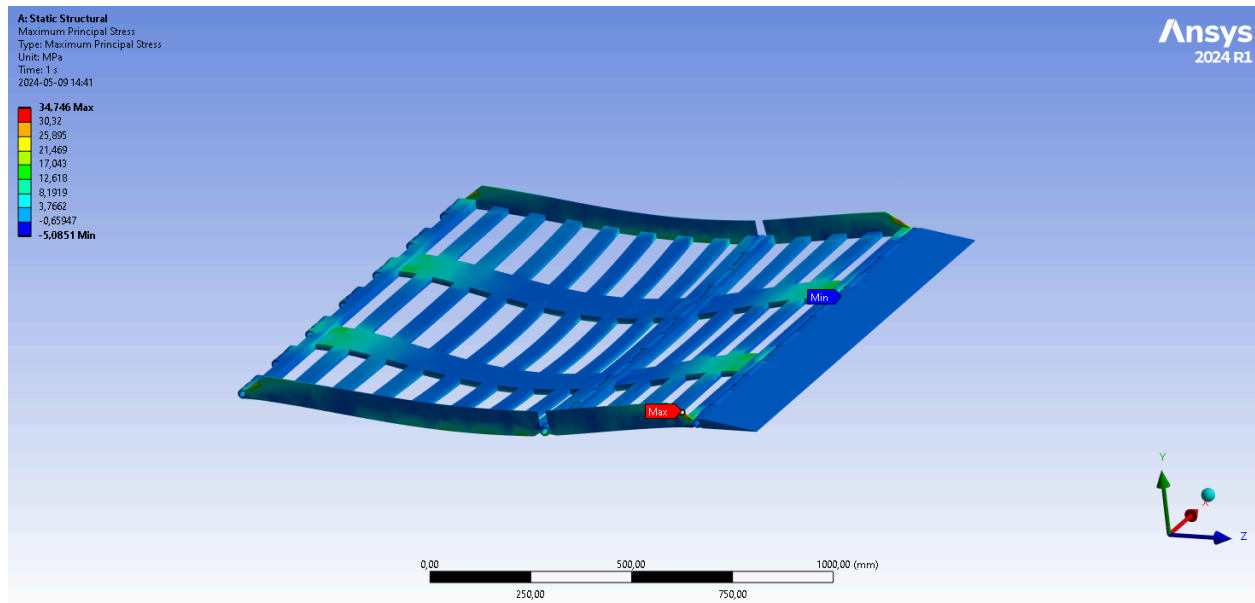
Figur 47. Begynnelsevillkor koncept 28, 2000N

Resultaten visar att den ekvivalenta spänningen för koncept 28 är väl inom det tillåtna gränsvärdet för materialet, vilket indikerar att konstruktionen kan hantera den jämnt fördelade lasten på 2000N utan att uppleva materialbrott. Se figur 48.



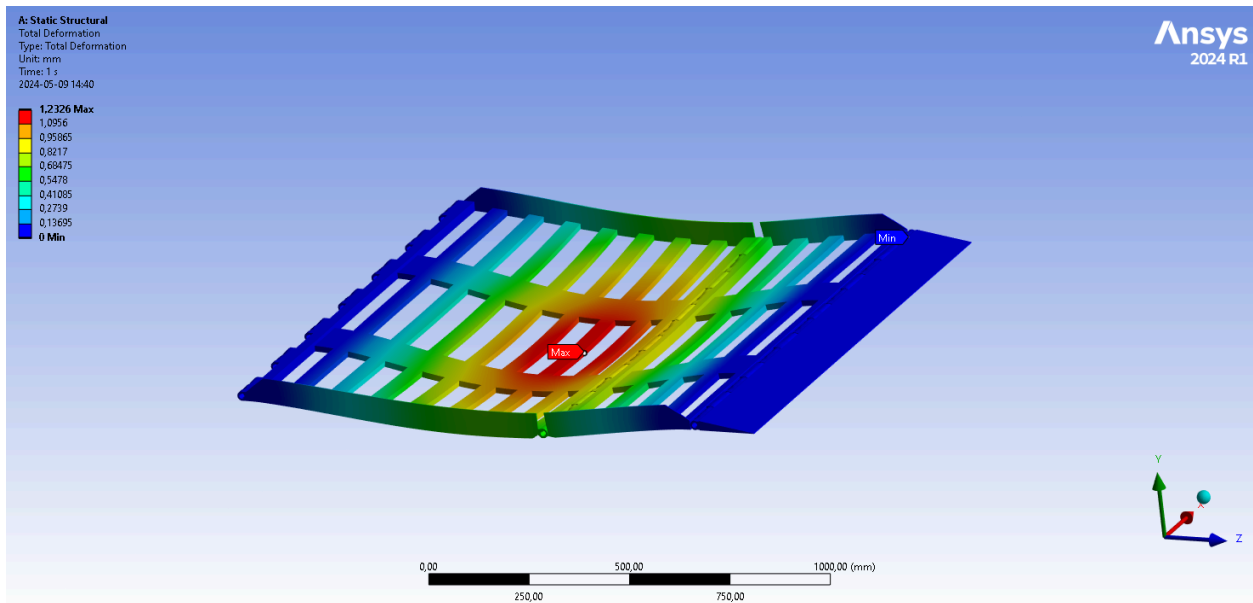
Figur 48. Ekvivalent spänning, 2000N

Den maximala huvudspänningen identifieras i de mest kritiska områdena, såsom vid gångjärnen och fästpunkterna. Analysen visar att dessa spänningar ligger inom säkra gränser under lasten på 2000N, vilket säkerställer att konstruktionen inte riskerar att spricka eller gå sönder under denna belastning. Se figur 49.



Figur 49. Maximal huvudspänning, 2000N

Med en last på 2000N fördelad mellan de två plattorna ges en lägre total deformation än hos koncept 10 med likadan last, se figur 50.

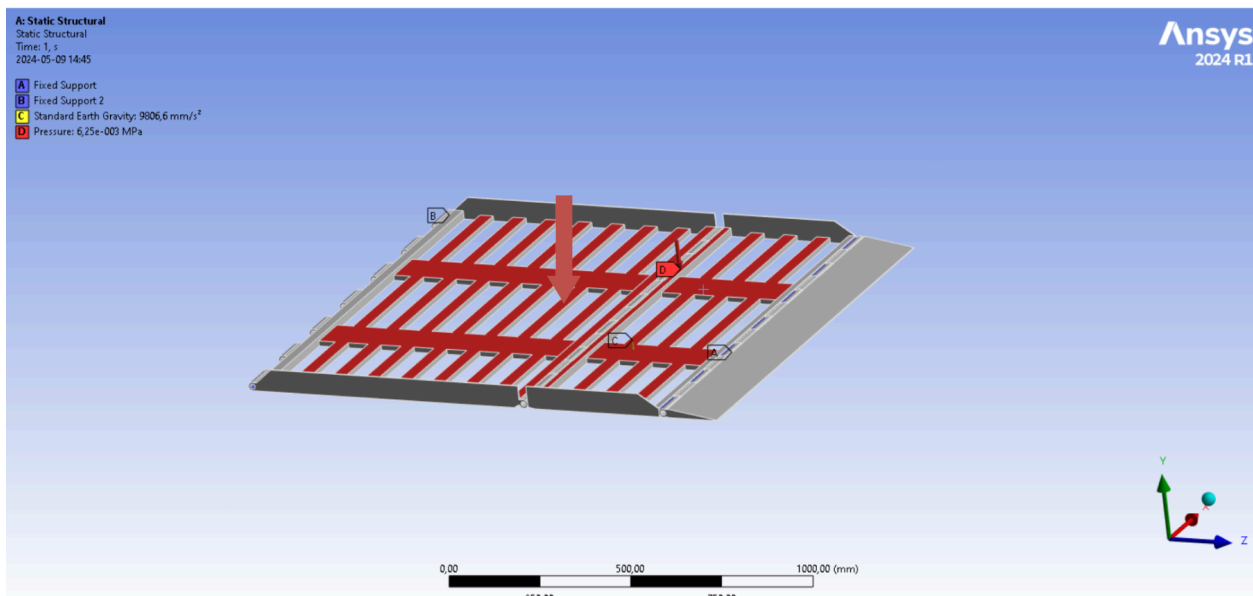


Figur 50. Total deformation, 2000N

Med lasten på 2000N presterar den tvådelade landgången generellt sett lite bättre än landgången från koncept 10. Detta tack vare en större yta som lasten fördelas på, samt fler och tätare placerade stöd som är fästa i ramen.

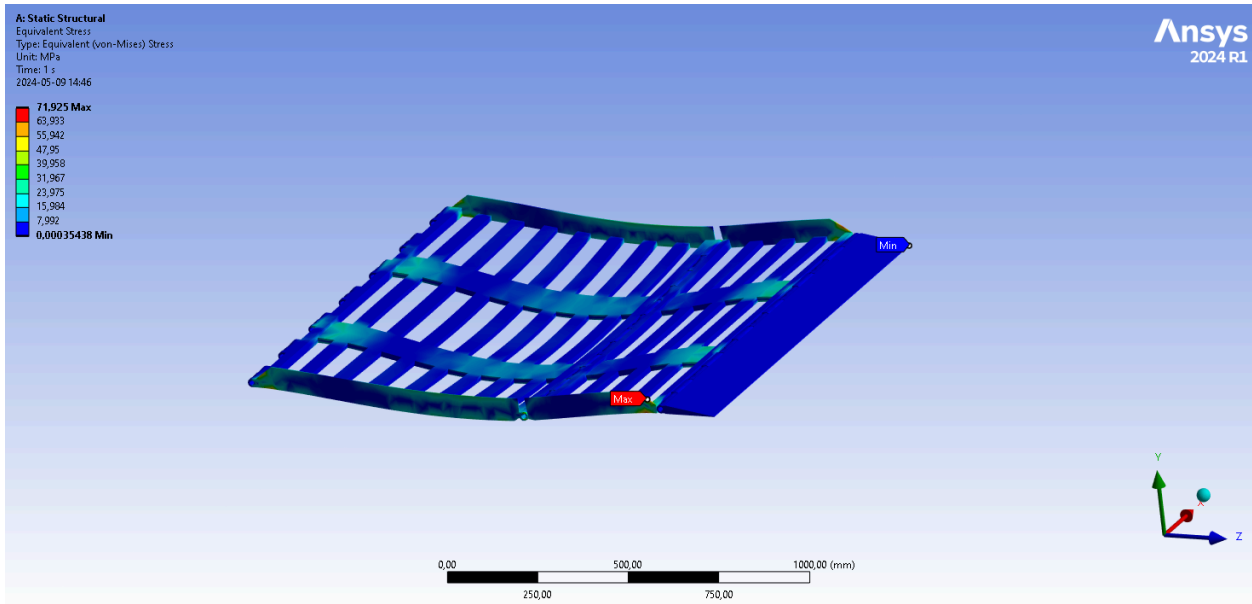
5.1.3 Koncept 28, analys 2

Under den andra analysen för koncept 28 appliceras ett jämnt fördelat tryck motsvarande 6.25kN/m^2 på de två gångytorna. Resterande begynnelsevillkor förblir desamma som i den första analysen, se figur 51.



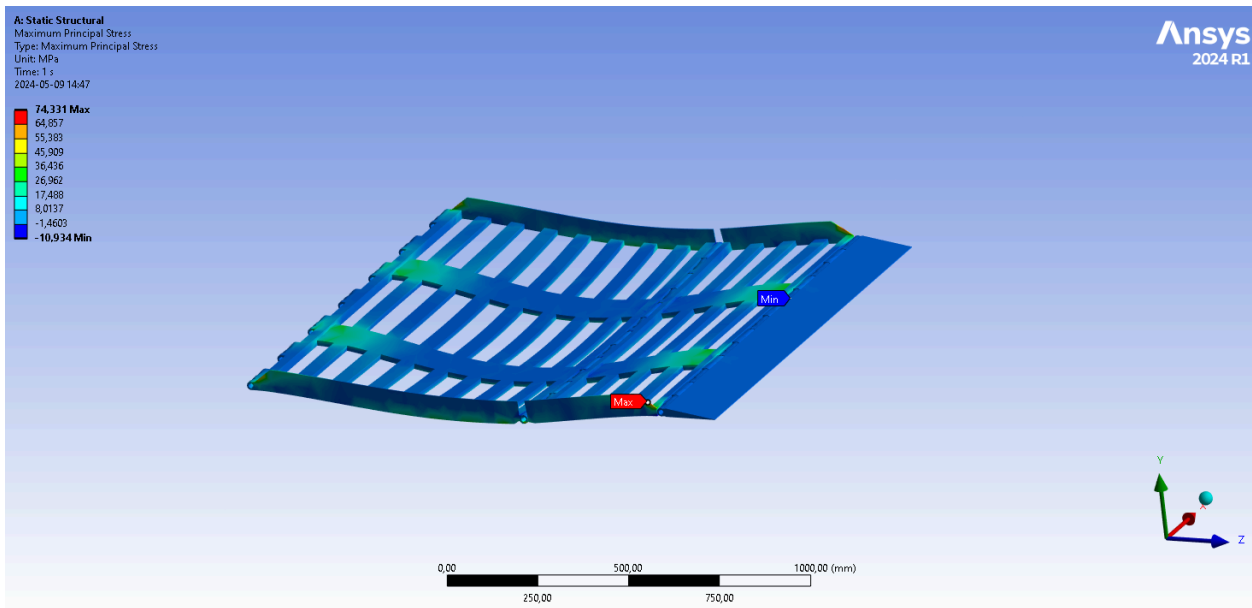
Figur 51. Begynnelsevillkor koncept 28, 6.25kN/m^2

Under den andra analysen ökar belastningen hos materialet avsevärt jämfört med lasten på 2000N. Den ekvivalenta spänningen går från 33.621 MPa till 71.925 MPa, vilket är mer än dubbelt så mycket. Jämfört med belastningen på 6.25kN/m² för koncept 10 är det också en ökning jämfört med 59.356 MPa som uppnåddes under den andra analysen. Med det sagt ligger fortfarande spänningen inom den tillåtna gränsen men med en lägre säkerhetsfaktor än önskat. Se figur 52.



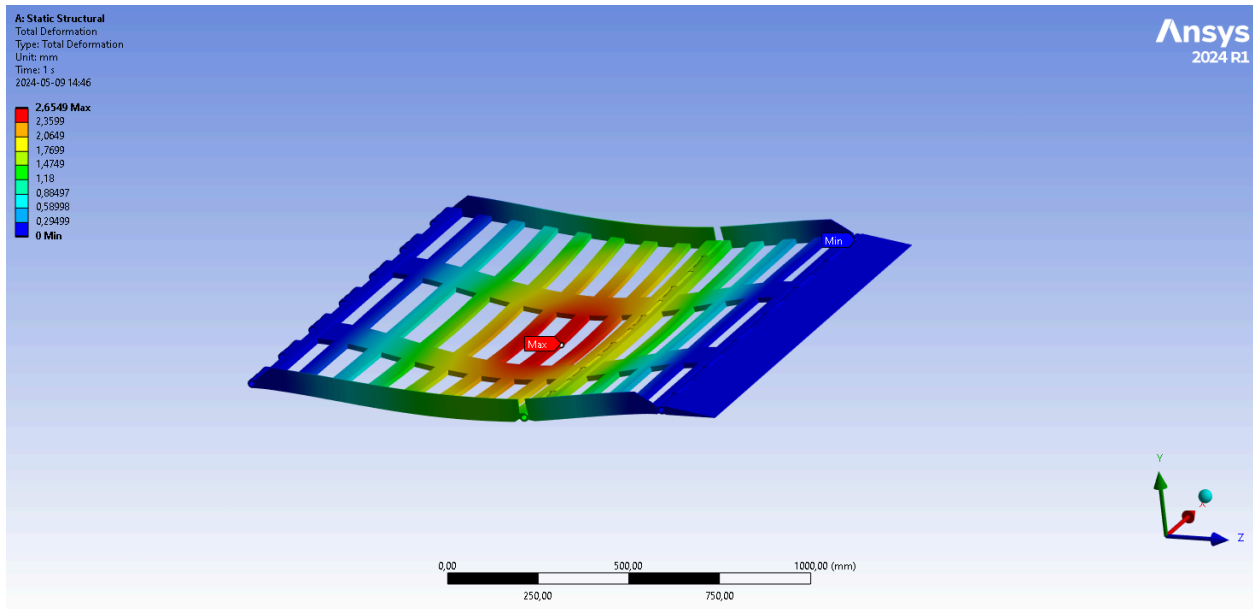
Figur 52. Ekvivalent spänning, 6.25kN/m²

Liknande resultat uppnås när den maximala huvudspänningen analyseras. Spänningarna ökar från 34.746 MPa till 74.331 MPa, vilket återigen är mer än dubbelt så högt som vid en last på 2000N, men fortfarande inom den tillåtna gränsen. Även denna spänning är högre än den som verkar på koncept 10 under samma förhållanden, som visar en maximal huvudspänning på 62.95 MPa. Se figur 53.



Figur 53. Maximal huvudspänning, 6.25kN/m^2

Trots de högre spänningarna jämfört med koncept 10 under båda analyserna så har den totala deformationen hos koncept 28 varit mycket lägre, med en total nedböjning på 2.6549 mm under analys 2, jämfört med 8.1769 mm från koncept 10. Se figur 54.



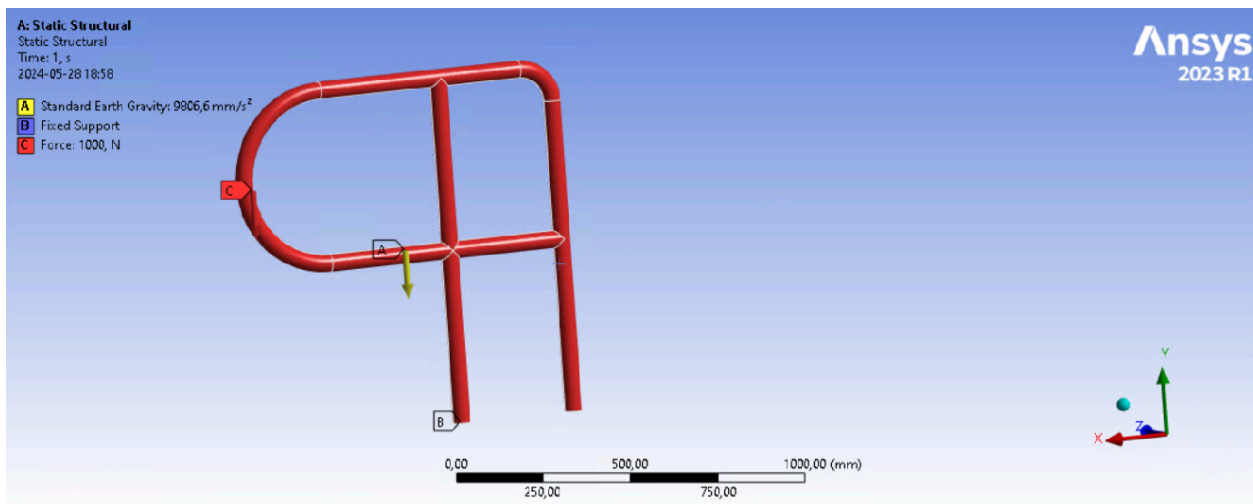
Figur 54. Total deformation, 6.25kN/m^2

Sammanfattningsvis visar resultaten att koncept 28, trots att det är tyngre och mer komplext, klarar lasten på 2000 N bättre, men utsätts för högre spänningar än koncept 10 under ett tryck på 6.25 kN/m^2 . Konstruktionen är säker och funktionell under den lägre lasten, men kan behöva ytterligare förstärkning eller optimering för att bättre hantera de högre tryckbelastningarna.

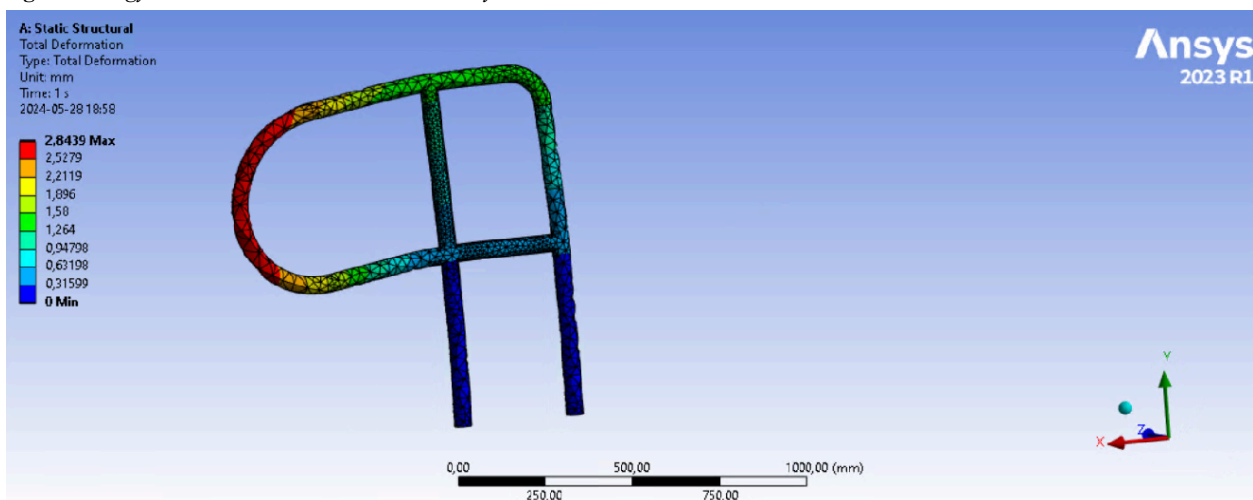
5.1.5 Räcke

Båtens räcken som används i samband med landgången är tänkta att vara konstruerade av Decksafe's GRP-material, men då just detta material inte finns i Ansys databas så används istället HDPE med 30% glasfiberinnehåll som substitut ännu en gång. Som referens har HDPE med 30% glasfiber innehåll en sträckgräns på 51.7 - 62.1 MPa. De krav som ställts på räckets hållfasthet är att det skall tåla en belastning på 1000N i varje riktning utan att deformera plastiskt eller orsaka en nedböjning större än 50 mm, se kapitel 1.5.5.3.

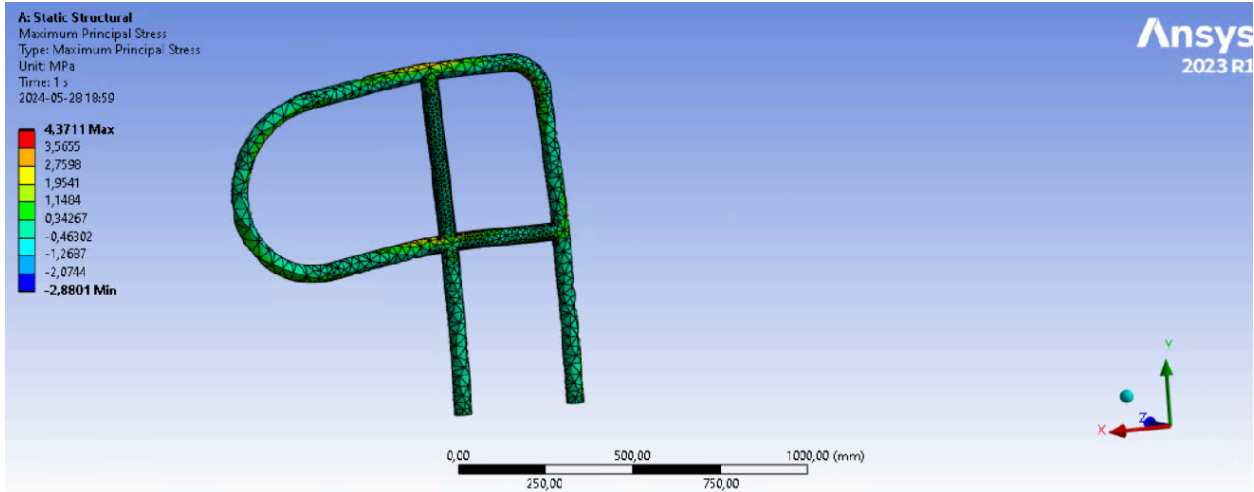
Genom att återigen utföra en statisk strukturanalys med liknande begynnelsevillkor som för landgången (jordens gravitation, fast inspända punkter och en last) genomfördes analysen på stödräckets styrka. Med en last på 1000N som verkar på räckets ovansida i x-, y-, och z-led så uppkom inga spänningar stora nog att orsaka permanent deformation hos konstruktionen. Under analysen bekräftades räckets hållfasthet mot den förväntade lasten och höll sig inom föreskriftens krav i samtliga lastfall, resultaten redovisas nedan (figur 55 till och med figur 63).



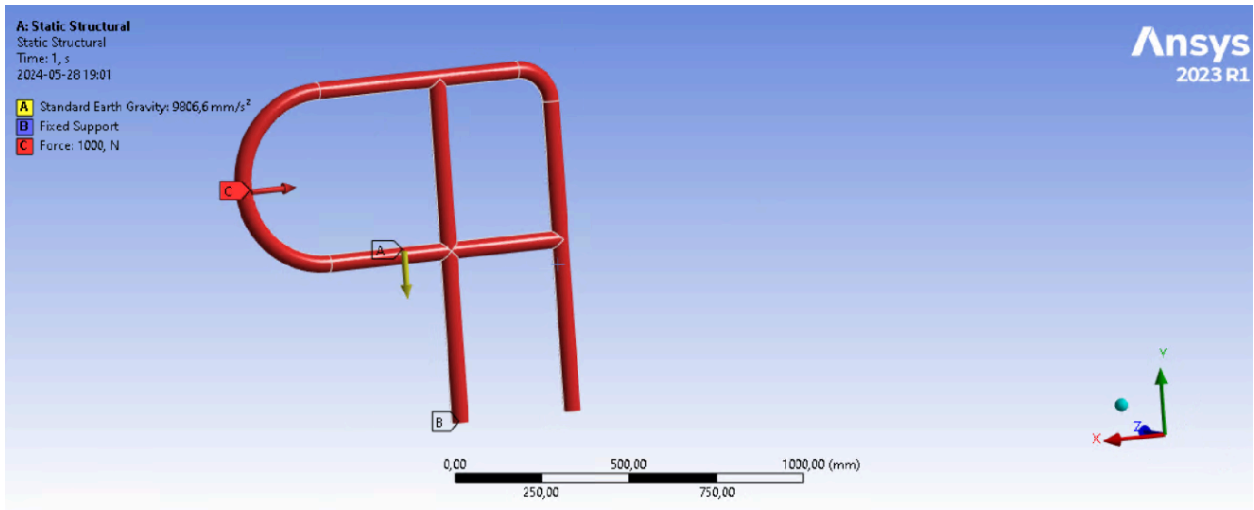
Figur 55. Begynnelsevillkor räcke, 1000N riktat i y-led



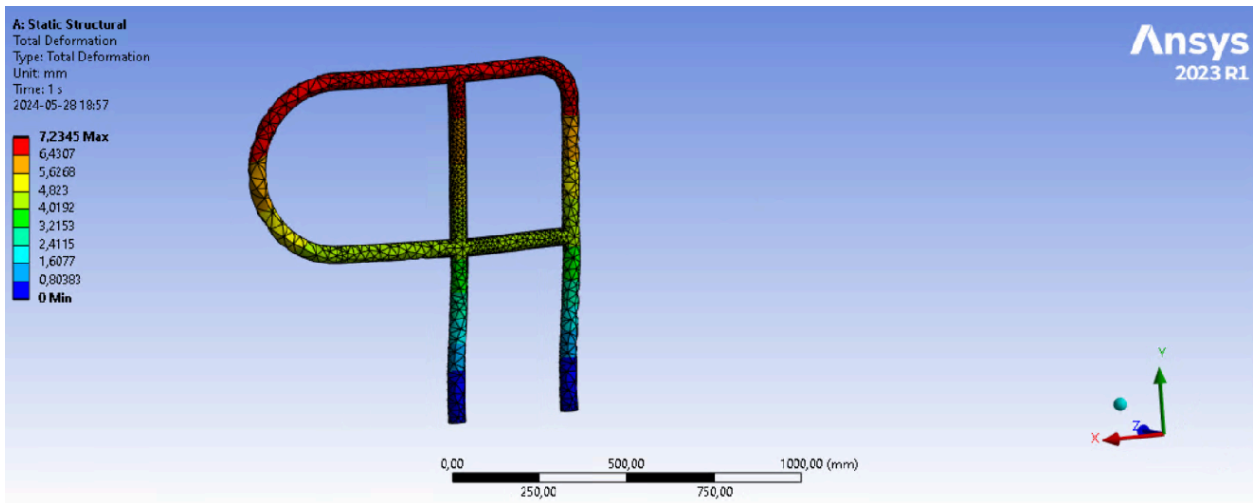
Figur 56. Total deformation nedåt, 1000N y-led



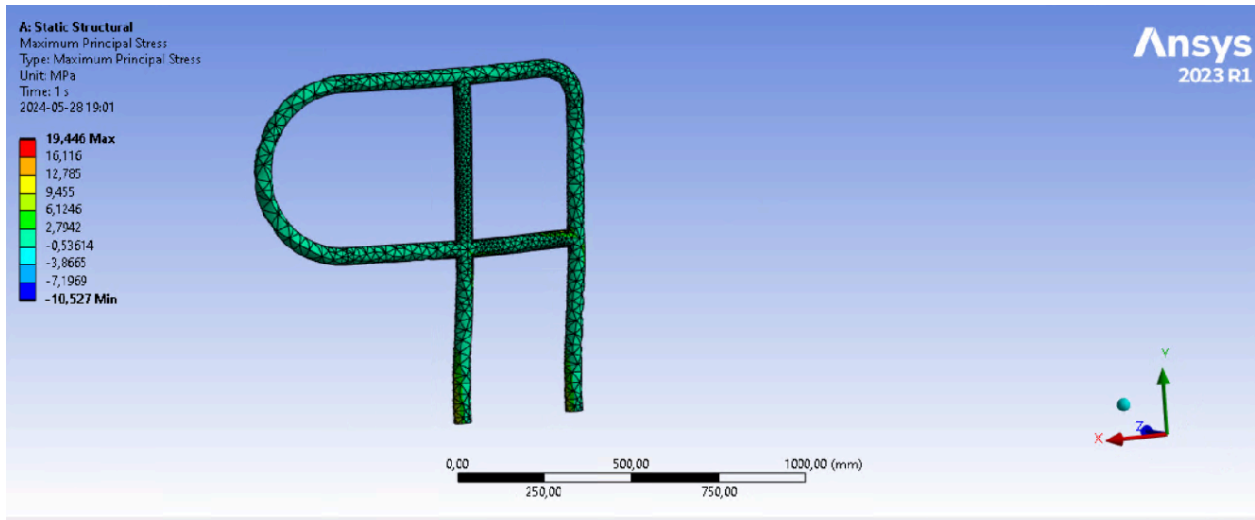
Figur 57. Maximal huvudspänning, 1000N y-led



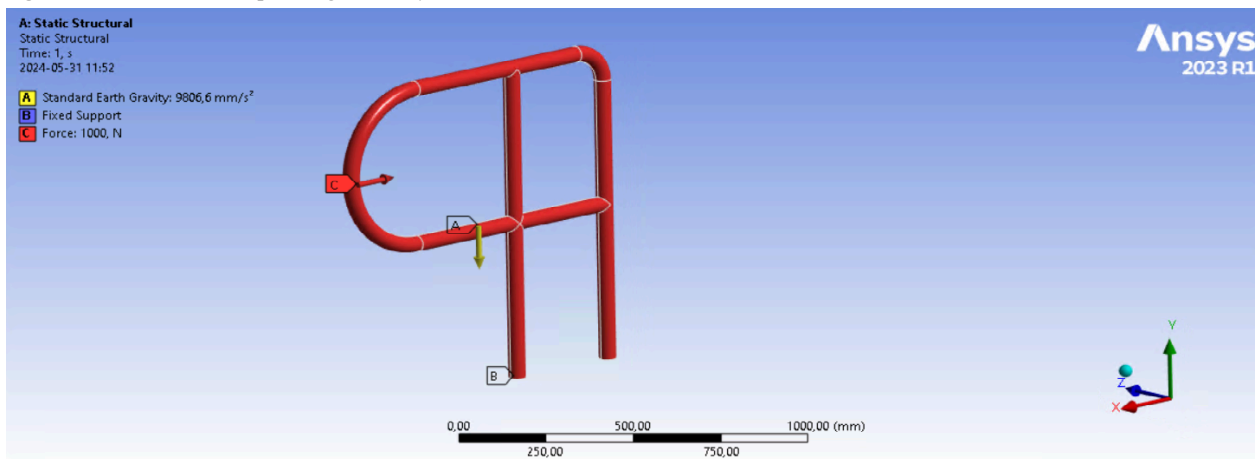
Figur 58. Begynnevillkor räcke, 1000N z-led



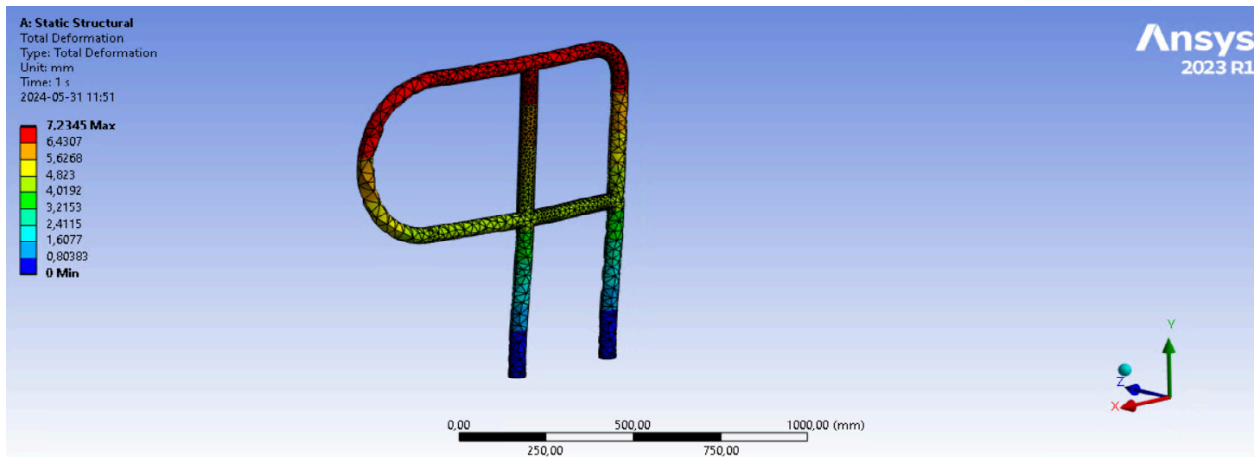
Figur 59. Total deformation, 1000N z-led



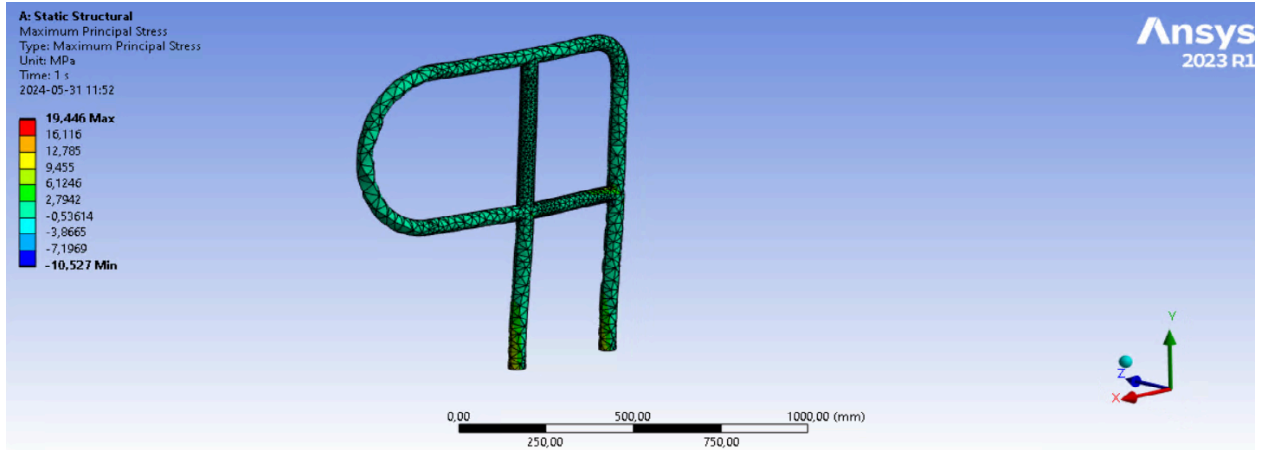
Figur 60. Maximal huvudspänning, 1000N y-led



Figur 61. Begynnelsevillkor räckre, 1000N x-led



Figur 62. Total deformation, 1000N x-led



Figur 63. Maximal huvudspänning, 1000N x-led

5.2 Bestämning av slutkoncept

Endast ett av de två genererade koncepten väljs för vidareutveckling. Detta görs med hjälp av en konsekvensanalys bestående av resultaten från de tidigare FEM-analyserna tillsammans med framtagna tillverkningskostnader och en slutlig verifiering av kravspecifikationen.

5.2.1 Verifiering av kravspecifikation

En jämförelse med kravspecifikationen genomförs bland de två koncepten för att verifiera vilket som uppfyller flest av de ursprungliga kraven. Koncepten får antingen ett (+) eller (-) beroende på vilket koncept som uppfyller kriteriet bäst, om ett koncept inte anses uppfylla ett kriterium anges (?) och om de två koncepten skulle anses uppfylla kriteriet i fråga lika bra eller dåligt ges (+) respektive (-) till båda koncept. Se tabell 19.

Kriterium	Krav/Önskemål	Målvärde	Koncept 10	Koncept 28	Referens
0 Baskrav					
0.1 Landgången skall kunna fällas ut manuellt	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	+	-	Cstrider
0.2 Landgången skall kunna töja fast båten i bryggan	Önskemål	Lösningen uppfyller kriterium	+	-	Cstrider
0.3 Landgången skall fällas ut automatiskt (motor eller annat system)	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	+	-	Cstrider
0.4 Landgången skall tillåta livräddning vid nödfall	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	+	+	Cstrider
0.5 Landgången skall ha stödräcken	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	+	+	Cstrider
0.6 Landgången skall kunna fällas upp på så sätt att den agerar som ett räcke.	Önskemål	Lösningen uppfyller kriterium	+	+	Cstrider
1 Standarder och föreskrifter					
1.1 Materialval	Krav	Klara av användningsmiljön samt vara hållbara	+	-	ISO 7061
1.2 Förhindra fall	Krav	Landgången uppfyller föreskriftens krav	+	+	AFS 1981:14, AFS 2006:4

1.3 Förhindra halka på landgång	Krav	Greppbart underlag	+	-	ISO 7061
1.4 Skydd från maskineri	Krav	Ingen klämrisk	+	+	AFS 2008:3
1.5 Last på landgång	Krav	Landgången uppfyller föreskriftens krav	+	-	ISO 7061, SS-EN 14206, SS-EN 526
1.6 Landgångens vikt	Krav	Uppfyllnad av formel	+	-	SS-EN 526
2 Dimensioner					
2.1 Lutning	Krav	Lutningen uppfyller 1:4 förhållandet	+	+	SS-EN 14206/Cstrider
2.2 Bredd	Krav	Landgången uppfyller föreskriftens krav	+	+	SS-EN 14206/Cstrider
2.3 Längd	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	+	-	Cstrider
2.4 Vikt	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	+	-	Cstrider
3 Livslängd					
3.1 Livslängd på system	Krav	10	+	+	Cstrider
3.2 Livslängd på system	Önskemål	20	?	?	Cstrider
4 Miljö					
4.1 Saltvattenbeständig	Krav	Ingen reaktion från vattenmiljön	-	+	Cstrider
4.2 Färskvattenbeständig	Krav	Ingen reaktion från vattenmiljön	+	+	Cstrider
4.3 Köldtålig (-20°C)	Önskemål	Ingen inverkan från temperatur	+	+	Cstrider
4.4 Värmetålig (upp till 50°C)	Önskemål	Ingen inverkan från temperatur	+	+	Cstrider
5 Underhåll					
5.1 Minimalt underhåll av system	Önskemål	En gång per år	+	-	Studenter
6 Ergonomi					
6.1 Minimal ansträngning på kroppen vid manuell fällning av landgång	Krav	Användaren ska vara fri från skada vid nödutfällning	+	-	Cstrider
6.2 Ingen	Önskemål	Inga upplevda	-	-	Cstrider

ansträngning på kroppen		problem för montör			
6.3 Ytfinish som ej skapar starka reflektioner	Krav		+	+	Cstrider
7 Säkerhet					
7.1 Landgången skall uppfylla relevanta säkerhetsstandarder och föreskrifter	Krav	Uppfyllnad av standarder och föreskrifter	+	+	Cstrider
7.2 Säkerhet	Önskemål	0 olycksfall	?	?	Cstrider
7.3 Nödstopp på maskin	Krav	Tydlig markering	?	?	Cstrider
7.4 Nödutfällning för landgång skall vara enkel	Krav	Tydligt utförande	+	-	Cstrider
7.5 Halkfri design på landgång	Krav	Greppbar yta	+	-	Cstrider
8 Prestanda					
8.1 Utfällningstid	Krav	<10s	+	?	Cstrider
8.2 Utfällningstid	Önskemål	<5s	?	?	Cstrider
Resultat (Antal +)			27	14	

Tabell 19. Verifiering av kravspecifikation

Det koncept som uppfyller flest kriterier efter verifiering är koncept 10. Detta för att konceptet i helhet har en mindre komplex konstruktion som tillåter enklare användning och tillämpning. Koncept 28 som består av två vikbara plattor (se figur x) kräver bland annat en extra motor för att styra utfällningen av landgången samtidigt som den även blir tyngre, vilket går emot Cstrider:s önskemål om en landgång som är enkelt manövrerbar i nödfall.

5.2.2 Tillverkningskostnad

Med fokus endast på tillgänglig information om materialkostnader per kilogram från materialvalsprocessen har denna data använts som bas för jämförelsen och uppskattning av den totala materialkostnaden för konstruktionen. Det är viktigt att notera att viktiga kostnadsfaktorer som arbetskraftskostnader, tillverkningskostnader och diverse indirekta kostnader, inte har beaktats här. För en mer heltäckande kostnadsanalys rekommenderas ytterligare datainsamling och analys av andra tillverkningskostnader för de processer som hade använts för att tillverka landgången och dess olika komponenter.

Utifrån FEA-simuleringen i kapitel 4.1 bestämdes massan för de olika komponenterna. Detta tillåter en grundlig kostnadsanalys baserat på komponenternas massa och material. Eftersom att priserna som är angivna i tabell 16 inte är exakt satta används det högsta priset i det angivna intervallet.

Genom att jämföra materialvalen AL 5083 och SS 316 på samma konstruktion (koncept 10) finns det en markant skillnad i massa hos samma konstruktion. Med materialet AL 5083 har koncept 10 en ram som väger 37.481 kg, vilket är nästan tre gånger så lite som om den hade varit konstruerad i stål. Denna skillnad i massa i samband med ett dyrare materialpris hos stål kontra aluminium ger att landgången för koncept 10 som är konstruerad i AL 5083 är nästan fem gånger så billig som den hade varit om den var konstruerad i SS 316. Se tabell 20 och tabell 21.

Material	Al 5083	HDPE 30% Glasfiber	HDPE
Massa [kg]	37.481	11.786	0.365
Pris [SEK/kg]	44.400	24.600	14.500
Kostnad [Massa * Pris]	1664.156	289.936	5.293
Totala kostnaden [SEK]	1959.385		

Tabell 20. Kostnadsanalys för koncept 10 med aluminiumram

Material	SS 316	HDPE 30% Glasfiber	HDPE
Massa [kg]	109.760	11.786	0.365
Pris [SEK/kg]	84.500	24.600	14.500
Kostnad [Massa * Pris]	9274.720	289.936	5.293
Totala kostnaden [SEK]	9569.949		

Tabell 21. Kostnadsanalys för koncept 10 med stålram

När det gäller konstruktionen för koncept 28 är det inte enbart mer massa som ger en högre totalkostnad jämfört med koncept 10, utan den är även mer komplex då den bland annat har fler delar som skall tillverkas. Se tabell 22 och tabell 23.

Material	Al 5083	HDPE 30% Glasfiber	HDPE
Massa [kg]	61.228	15.968	0
Pris [SEK/kg]	44.400	24.600	14.500
Kostnad [Massa * Pris]	2718.523	392.813	0
Totala kostnaden [SEK]	3111.3		

Tabell 22. Kostnadsanalys för koncept 28 med aluminiumram

Material	SS 316	HDPE 30% Glasfiber	HDPE
Massa [kg]	179.184	15.968	0

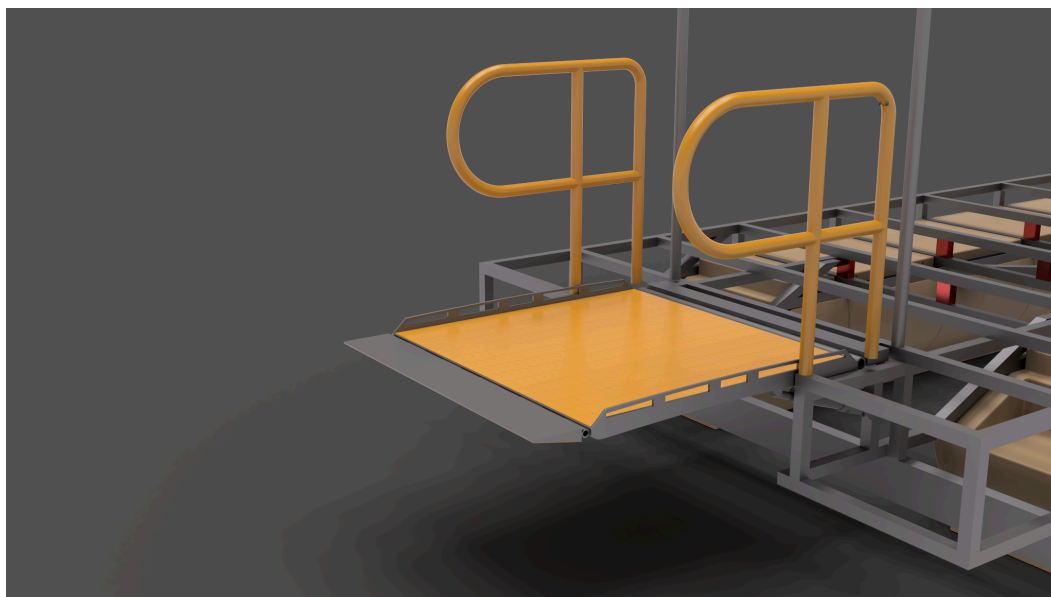
Pris [SEK/kg]	84.500	24.600	14.500
Kostnad [Massa * Pris]	15194.283	392.813	5.293
Totala kostnaden [SEK]	15587.096		

Tabell 23. Kostnadsanalys för koncept 28 med stålram

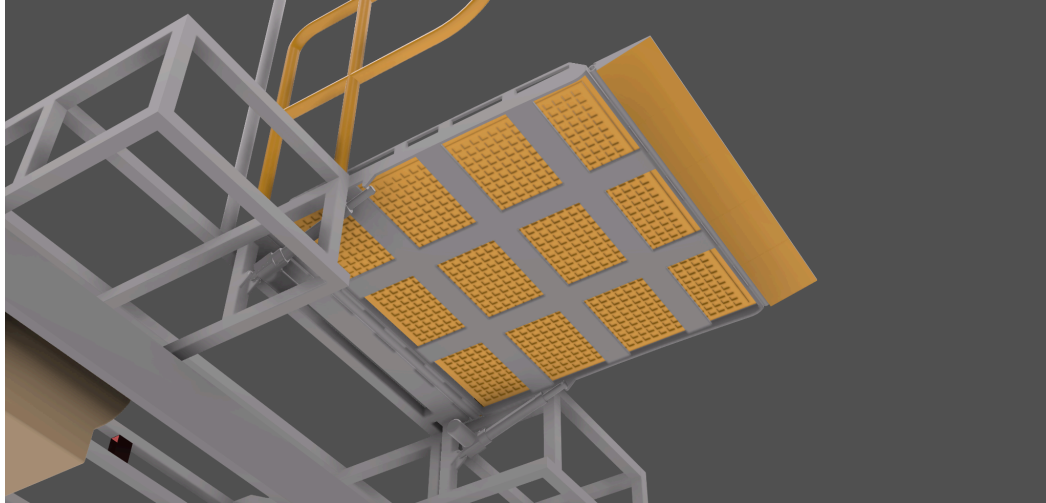
Vid jämförelse bland de två koncepten i respektive material framkommer det att koncept 28 inte bara är mer komplex att tillverka än koncept 10, utan även dyrare rent materialmässigt. Prisskillnaden mellan de två koncepten med en ram av AL 5083 är $3111.3 - 1959.385 = 1151.915$ kr, och $15587.096 - 9569.949 = 6017.147$ kr med en ram gjord av SS 316.

5.2.3 Resultat

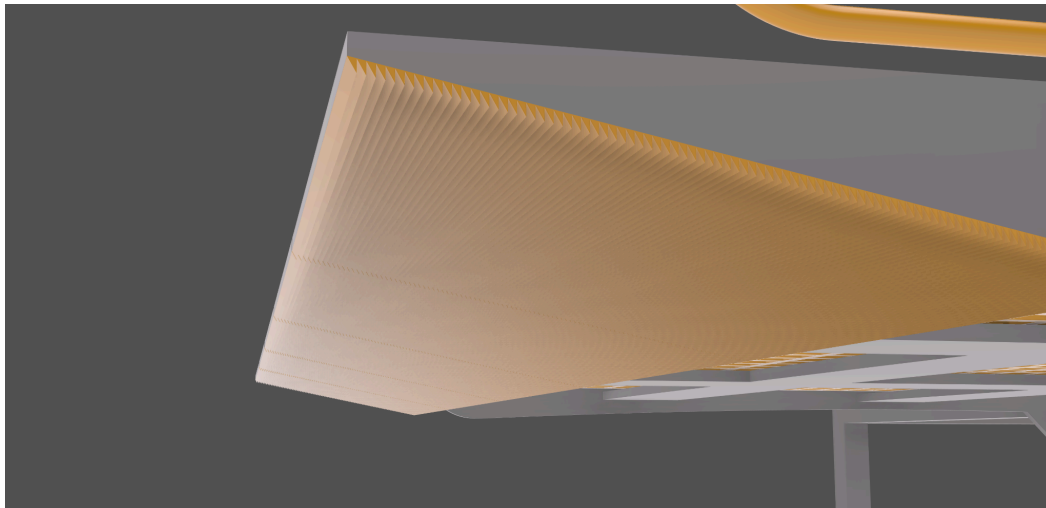
Genom att jämföra resultaten hos de två koncepten finns en tydlig vinnare i både ett konstruktionsbaserat men även ett ekonomiskt perspektiv. Med en konstruktion som är enklare att tillverka, mer lättviktig samtidigt som den bevisar sig vara överlag mer spänningstålig och slutligen mer ekonomiskt gynnsam att tillverka så väljs koncept 10 till det slutgiltiga konceptet. Se figur 64 till och med figur 67.



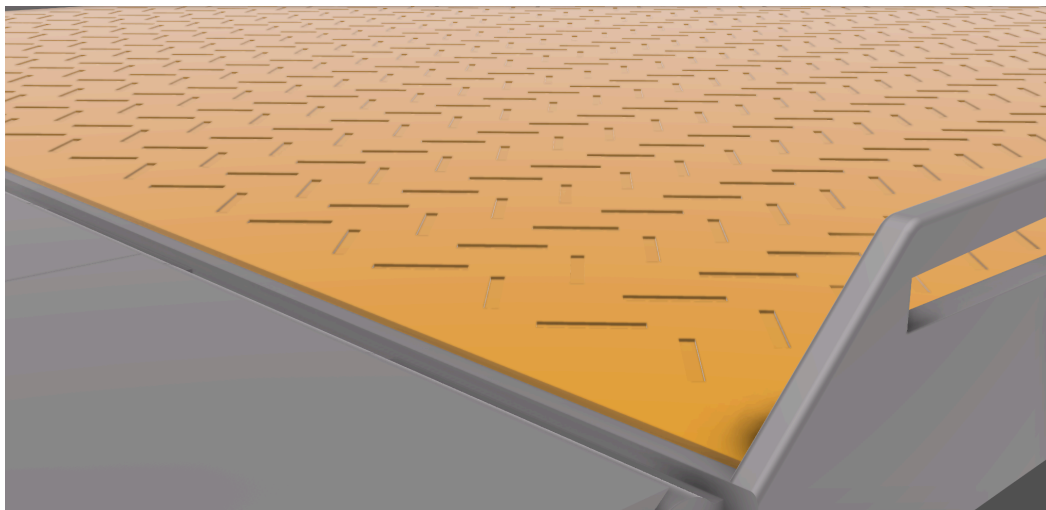
Figur 64. Rendering av slutkoncept



Figur 65. *Rendering av slutkoncept, undersida*



Figur 66. *Rendering av slutkoncept, friktionsyta*



Figur 67. *Rendering av slutkoncept, mönstrad gångyta*

5.3 Livslängd slutkoncept

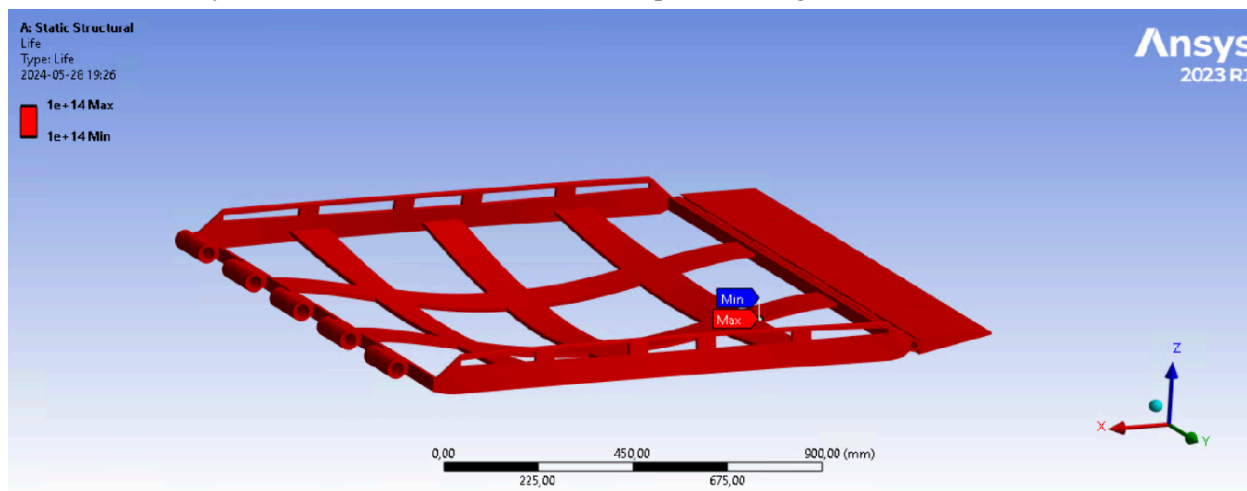
För att beräkna livslängden hos koncept 10 måste först användningsprofilen fastställas.

- Max antal passagerare per cykel: 12 passagerare
- Vikt per passagerare: 200 kg (detta för att efterlikna FEM-simuleringen med en last på 2000N)
- Antal turer (cykler) per dag: 80 stycken
- Antal dagar per år: 365 dagar
- Antal år: 10 år

Detta ger ett värde på vad landgången minst skall klara av $12 * 80 * 365 * 10 = 3504000$ *cykler*

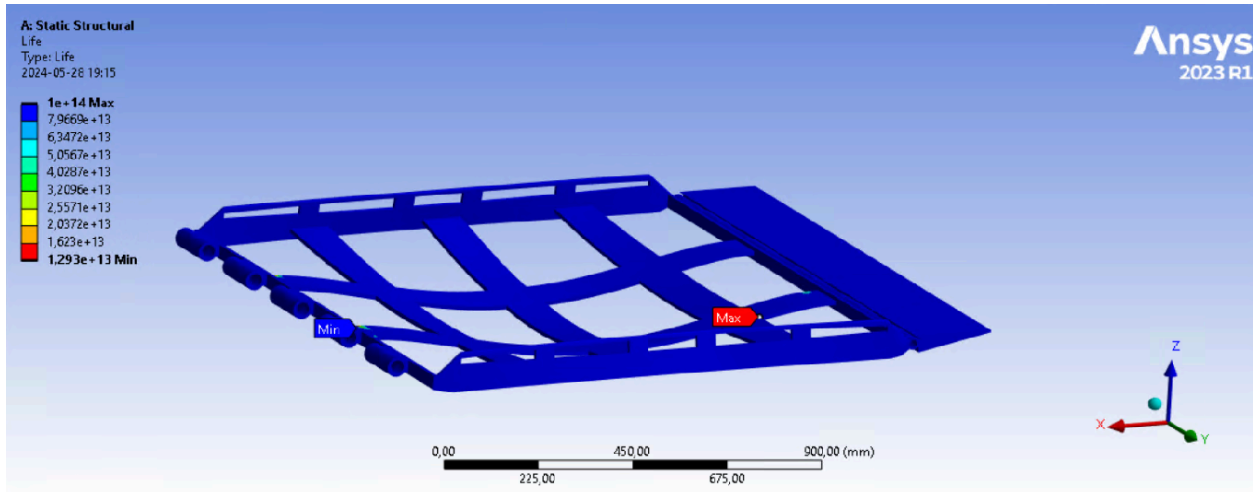
En analys har utförts i Ansys Workbench 2023 R1 med hjälp av samma begynnelsevillkor som för de två FEM-simuleringarna som utfördes för koncept 10 i kapitel 5.1, med tillägg av en "life-analysis" med hjälp av verktyget "fatigue tool" som uppskattar antal cykler som konstruktionen klarar innan den till slut bryts ned på ett eller annat sätt.

Som resultat av analysen med en last på 2000N klarar konceptet $1 * 10^{14}$ cykler. Det totala antalet cykler jämfört med den beräknade livslängden ger $1 * 10^{14} / 3.504 * 10^6 = 2.852 * 10^7$ cykler. Konstruktionen klarar alltså $2.852 * 10^7$ cykler mer än förväntat under en tioårsperiod, se figur 68.



Figur 68. "Fatigue tool" analys med en kraft på 2000N

Med ett tryck på 6.25 kN/m^2 istället för en kraft på 2000N blir landgångens livslängd från Ansys Workbench något lägre med ett minsta värde på $1.293 * 10^{13}$ cykler. Detta jämfört med de beräknade cyklerna under tio år ger ett värde på $1.293 * 10^{13} / 3.504 * 10^6 = 3.69 * 10^6$. Konstruktionen klarar alltså $3.69 * 10^6$ fler cykler än förväntat, se figur 69.



Figur 69. "Fatigue tool" analys med ett tryck på 6.25kN/m^2

Analyserna visar att konstruktionen av landgången klarar de förväntade lasterna utan problem och har en mycket längre livslängd än de tio år som är kravet. Konstruktionen är robust nog att hantera betydligt fler cykler än de som beräknats för den dagliga användningen under en tioårsperiod.

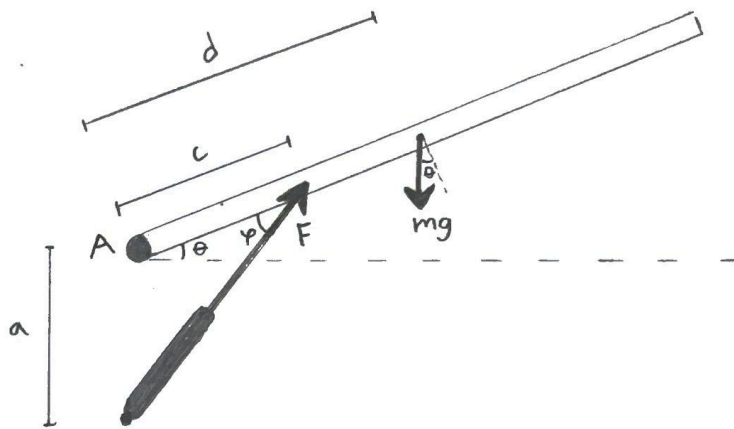
Det är dock viktigt att notera att dessa analyser inte tar hänsyn till yttre faktorer såsom väderförhållanden, slitskador, kollisionsskador eller andra oförutsägbara händelser som kan påverka landgångens hållbarhet över tid. Därför bör regelbundet underhåll och inspektion utföras för att säkerställa landgångens säkerhet och funktionalitet under hela dess livslängd. Detsamma gäller för eventuell styrning av landgången då endast dimensionering av styrsystemet utförs.

5.4 Dimensionering av styrsystem

För att få ytterligare förståelse om landgångens kapacitet och funktionalitet har även mekanikberäkningar utförts i syfte att dimensionera den typ av mekanism som skall styra landgången. Under arbetets gång har olika alternativ utforskats för manövrering av landgången, men på grund av de krav som ställts från företaget har det beslutats att två elektriska ställdon ska användas. Dessa ställdon skall även klara av en marin miljö och behöver således en IP (Ingress Protection) klassificering av IP68. Ur "IP-klasser för märkning av fuktskydd" (Elsäkerhetsverket. 2024) är IP-klassificeringen ett mått på hur damm- och vattentålig en produkt är, där 6 (första siffran) innebär hur dammtät något är på en skala 0-6, och 8 (andra siffran) innebär hur vattentätt något är på en skala 0-8. För dimensioneringen av styrsystem är det mest relevant att beräkna vilka krafter som krävs av motorn och ställdonet för att kunna fälla landgången upp och ned, där de givna kraven och önskemålen uppfylls. De beräkningar som utförts bestämmer den kraft och utskjutningshastighet som krävs av ställdonet samt vilken effekt som krävs av motorn.

5.4.1 Placering av ställdon

Det första som behövde göras var att placera ut motorn och ställdonet i förhållande till landgången. Därefter gjordes jämviktsberäkningar för att få fram kraften (F) som krävs av ställdonet att hålla upp landgången i olika vinklar. För kraftanalys hos landgången, se figur 70.



Figur 70. Momentjämvikt på landgången

$m = 48,451 \text{ kg}$ (Landgångens totala massa)

$d = 0,7849 \text{ m}$ (Längd från rotationsaxel till landgångens tyngdpunkt)

$c = 0,4359 \text{ m}$ (Längd från rotationsaxel till ställdonets fäste på landgången)

5.4.2 Kraften på ställdonet

Momentjämvikt runt punkten A (rotationsaxeln):

$$M_A: \quad mg \cdot d \cdot \cos(\theta) - F \cdot c \cdot \sin(\varphi) = 0$$

$$\rightarrow mg \cdot d \cdot \cos(\theta) = F \cdot c \cdot \sin(\varphi)$$

$$\rightarrow F = \frac{mg \cdot d \cdot \cos(\theta)}{c \cdot \sin(\varphi)} = \frac{48,451 \cdot 9,81 \cdot 0,7849 \cdot \cos(\theta)}{0,4359 \cdot \sin(\varphi)}$$

Kraften, F, på ställdonet varierar beroende av vilken vinkel det har till landgången, vinkel φ . Denna vinkel varierar i sin tur beroende av landgångens vinkel mot horisontalplanet, vinkel θ . Därför valdes några vinklar ut för att undersöka hur kraften på ställdonet varierar i olika fall.

$$\theta = -14^\circ \quad \rightarrow \quad \varphi = 20,5^\circ \quad \rightarrow \quad F = 2371 \text{ N}$$

$$\theta = 0^\circ \quad \rightarrow \quad \varphi = 18,2^\circ \quad \rightarrow \quad F = 2740 \text{ N}$$

$$\theta = 30^\circ \quad \rightarrow \quad \varphi = 10,7^\circ \quad \rightarrow \quad F = 3992 \text{ N}$$

$$\theta = 55^\circ \quad \rightarrow \quad \varphi = 3,4^\circ \quad \rightarrow \quad F = 8277 \text{ N}$$

Kraften på ställdonet är som störst ($F = 8277 \text{ N}$) när landgången har sin maximala vinkel 55 grader och blir även det som är relevant.

5.4.3 Utskjutningshastigheten på ställdonet

Hastigheten som krävs av ställdonet är beroende av dess sträcka den maximalt rör sig samt tiden det ska ta. Mellan den största och den minsta vinkeln rör sig ställdonet 0,25 meter. Totala tiden för att fälla landgången är baserad på de krav och önskemål som är satta där kravet är max 10 sekunder och önskemålet är max 5 sekunder.

$$\text{Utskjutningshastighet} = \frac{\text{Sträcka}}{\text{Tid}} = \frac{0,25 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 50 \text{ mm/sek} \quad (\text{Önskemål})$$

$$\text{Utskjutningshastighet} = \frac{\text{Sträcka}}{\text{Tid}} = \frac{0,25 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 25 \text{ mm/sek} \quad (\text{Krav})$$

5.4.4 Effekten som krävs av motorn

För att beräkna vilken effekt som krävs av motorn behövs vridmomentet och vinkelhastigheten.

$$\text{Vridmomentet} = \text{massa} \cdot \text{gravitation} \cdot \text{momentarm}$$

$$\text{Vridmomentet} = 48,451 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,7849 \text{ m} = 373,06 \text{ Nm}$$

Den totala vinkeln som landgången rör sig är 69 grader vilket motsvarar 1,204 radianer. Den totala tiden det ska ta för landgången att fällas är max 10 sekunder men helst max 5 sekunder.

$$\text{Vinkelhastighet} = \frac{\text{Totala vinkeln}}{\text{Tiden}}$$

$$\text{Vinkelhastighet} = \frac{1,204\text{rad}}{5\text{sek}} = 0,240 \text{ rad/sek} \quad (\text{Önskemål})$$

$$\text{Vinkelhastighet} = \frac{1,204\text{rad}}{10\text{sek}} = 0,120 \text{ rad/sek} \quad (\text{Krav})$$

$$\text{Effekt} = \text{vridmoment} \cdot \text{vinkelhastighet}$$

$$\text{Effekt} = 373,06 \cdot 0,240 = 89,85 \text{ Watt} \quad (\text{Önskemål})$$

$$\text{Effekt} = 373,06 \cdot 0,120 = 44,91 \text{ Watt} \quad (\text{Krav})$$

Den effekt som krävs av motorn är alltså minst 90 Watt för att fälla landgången på 5 sekunder och minst 45 Watt för att fälla landgången på 10 sekunder. Beroende på verkningsgrad på motorn kommer dessa siffror att variera.

5.4.5 Förväntad livslängd för ställdon

Den förväntade livslängden för de ställdon som ska användas i samband med landgången beräknas på ett liknande sätt som livslängden hos landgången i kapitel 5.2.3.

- Antal aktivering av ställdon per tur: 2 (ned- och uppfällning)
- Antal turer (cykler) per dag: 80 stycken
- Antal dagar per år: 365 dagar
- Antal år: 10 år

Denna data används för att beräkna antal livscyklar hos ställdonet enligt nedan.

$$\text{Antal livscyklar} = 2 * 80 * 365 * 10 = 584000 \text{ livscyklar}$$

Ställdonen som ska användas måste alltså ha en livstid på minst 584000 cykler för att hålla under en tioårsperiod. En annan fördelaktig funktion för det ställdon som skall användas är förmågan att vid nödfall kunna utföra en "quick release" där ställdonen fälls in utan att ta hänsyn till skada på landgång eller annan del av konstruktion. I dagsläget används liknande typer av ställdon i sjukhusbäddar som fälls upp och ned med elektriska ställdon, till exempel med ett ställdon från TiMOTION (TiMOTION, 2024), se figur 71.



Figur 71. Elektriskt ställdon TA31QR och dess "quick release" funktion. (TiMOTION, 2024).

6. Diskussion

Examensarbetets syfte och mål var att skapa underlag och information för att konstruera en 3D-modell av en automatiskt nedfällbar landgång till Cstrider passagerarbåt som uppfyller företagets krav och relevanta standarder. Genom att ta fram två koncept och använda material som AL 5083, GRP och HDPE har modeller som inte bara uppfyller kraven men också de relevanta säkerhetsstandarderna utvecklats. De valda materialen säkerställer hållbarhet, korrosionsmotstånd och samtidigt lätt vikt, vilket är i linje med företagets behov och miljöfokus.

Flera metoder och verktyg har använts under arbetets gång, framförallt CAD-modellering i Fusion 360 och FEM-simuleringar i programmet Ansys Workbench för att analysera krafter och hållfasthet. Det är två programvaror som har varit smidiga att jobba i och har varit till stor hjälp för att få en förståelse av hur olika typer av belastningar påverkar konstruktioner. Materialen har tagits fram med hjälp av Ansys Granta EduPack för att säkerställa att de uppfyller både hållbarhets- och funktionalitetskrav. I idégenereringsprocessen användes morfologisk matris för att generera nya koncept med en mängd olika kombinationer av delfunktioner och dellösningar som bestämdes under funktionsanalysen. Dessa genererade koncept utvärderades därefter i olika steg, vilket slutligen ledde till valet av två huvudsakliga lösningar som vidareutvecklades och modellerades i Fusion 360. Under arbetets gång har koncept 10 och koncept 28 legat i fokus, varav ett av dessa blev slutkonceptet som också uppfyller examensarbetets syfte och mål. Det är dock viktigt att poängtera att bortvalda koncept fortfarande kan ha potential med förnyade krav och mer analys. Utvecklingen av hela passagerarbåten är fortfarande under en process där nya idéer skapas, vilket leder till att förhållanden och önskemål för landgången även kan ändras framöver.

Ur materialvalsprocessen och med hjälp av företaget har alternativ för användbara material som är motståndskraftiga mot marina miljöer identifierats. Bland dessa hittades även material som tack vare dess formbarhet erbjuder väldigt goda halkskyddsegenskaper för ökad säkerhet. Dessutom har koncepten genomgått omfattande tester och analyser för att säkerställa att de klarar de mekaniska påfrestningar som förväntas under drift.

Vid beräkningarna av vilken kraft som krävs av ställdonet blev den största kraften 8277 N, vilket kan anses vara väldigt mycket. Om man däremot flyttar placering på ställdonet och skapar en större vinkel mellan landgång och ställdon så kan den maximala kraften minska väldigt mycket. Detta skulle i sådana fall leda till billigare och energisnålare motorer. Det här är något som går att utveckla med mer analyser och med mer tid nedlagd framöver.

6.1 Framtida vidareutveckling av landgången

För framtida vidareutveckling av landgången bör framförallt fysiska prototyp tester utföras för att ytterligare verifiera landgångens funktionalitet och hållbarhet i verklig miljö. Det kan också vara fördelaktigt att utforska ytterligare optimeringar i materialval och konstruktion för att minska kostnader och vikt ytterligare. Något som särskilt bör undersökas i framtiden är att hitta en lösning för ramen som tillåter ännu mindre materialåtgång medan den fortfarande förblir hållfast nog för att möta föreskrifternas krav. Att hitta fler material som går att använda i landgångens konstruktion hade också varit intressant. Att utveckla landgångens konstruktion genom att ha en mer modulär landgång uppbyggd av olika delar som inte bara består av samma material hade också varit av intresse då det bland annat kan leda till en lägre totalvikt, vilket leder till en bättre viktfordelning hos båten.

En viktig säkerhetsfunktion på landgången är att den ska kunna fällas manuellt vid nödsituationer. På grund av tidsbrist har inte ett fullständigt system med ritningar och beräkningar för hur landgången ska fällas i nödlägen tagits fram, vilket innebär att det finns mycket potential till förbättringar för nödfällningsmekanismen. Däremot har några idéer framkommit, bland annat en frigörningsmekanism som är integrerad i ställdonet, men även en helt mekanisk lösning som styrs manuellt. För den manuella lösningen ska en frigörningsmekanism installeras i samband med landgången för att kunna frikoppla den automatiska driften och tillåta manuell hantering av landgången. Denna mekanism frigör motorn eller ställdonet från landgången med hjälp av en robust säkerhetssprint, vilket gör att landgången sedan kan röra sig fritt och då fällas manuellt av sin egen tyngd. Fördelarna med denna funktion är att den är enkel att aktivera och möjliggör snabb manuell fällning av landgången i en nödsituation. Nackdelarna är att det kräver att landgången alltid måste hanteras manuellt efter frikoppling samt regelbundet utförda säkerhetskontroller för att undvika oavsiktlig aktivering.

Frigörningsmekanismen bör gå igenom omfattande tester för att säkerställa dess funktion under olika förhållanden vilket kan innebära hög belastning och extrema väderförhållanden. Regelbundet underhåll och inspektioner är också viktigt för att säkerställa långvarig pålitlighet. Placeringen av sprinten bör vara ergonomiskt utformad för enkel åtkomst. Instruktioner för användning vid nödsituationer bör vara enkla, tydliga och väl synliga för både personal och passagerare. Besättningen bör vara välutbildad i användningen av nödfällningsmekanismen genom övningar och utbildningar.

Ett ytterligare alternativ för att säkerställa landgångens funktion vid strömavbrott är att integrera en batteribackup. En batteribackup kan ge högre säkerhet till att landgångens elektriska system fungerar även vid strömavbrott. Detta kan innefatta ett reservbatteri som automatiskt aktiveras för att tillhandahålla kraft i en nödsituation.

Den framtagna landgången är inte bara en teknisk lösning utan bidrar också till att göra vattentransporter till ett mer klimatvänligt och attraktivt alternativ för framtida pendlare.

7. Slutsats

Examensarbetet att utveckla en landgång för Cstrider:s passagerarbåt har resulterat i ett slutgiltigt koncept som uppfyller kraven och behoven från företaget men med potential till framtida utvecklingar. Under lång tid i arbetet var det två framtagna koncept som stack ut positivt, koncept 10 och koncept 28, men där det tillslut blev det förstnämnda som ansågs bäst efter en serie av utvärderingsmetoder. Båda koncepten har sina unika fördelar och nackdelar som är designade för att säkerställa säkerhet, funktionalitet och hållbarhet.

Koncept 10, med en hel yta och elektrisk styrning, erbjuder en enklare och lättare konstruktion som är lätt att manövrera vid nödsituationer. Genom att kombinera material som AL 5083, HDPE och GRP, uppnås en optimal balans mellan vikt och styrka, vilket är avgörande för både effektivitet och hållbarhet.

Koncept 28 presenterar en delad yta som ger ökad flexibilitet vid förtöjning och anpassning till olika bryggor. Trots att detta koncept är mer komplext och kostnadskrävande att tillverka, erbjuder det fördelen av en längre landgång och bättre anpassningsförmåga, vilket kan vara värdefullt i varierande miljöer. Det uppfyller dock inte lika många krav som koncept 10.

Genom att använda en kombination av olika ingenjörsmetoder, noggranna materialval och avancerade simuleringar i Ansys Workbench, har arbetet säkerställt att båda koncepten kan motstå de belastningar och miljöförhållanden som förväntas under deras livscykel. Material som besitter korrosionsbeständighet, bra hållbarhet och låg miljöpåverkan har valts, vilket stämmer överens med företagets fokus på hållbarhet och miljömedvetenhet.

Sammantaget erbjuder båda koncepten lösningar som uppfyller både funktionella och säkerhetsmässiga krav. Valet mellan dem beror på specifika behov och prioriteringar där koncept 10 sammantaget uppfyller fler krav och behov från företaget. Examensarbetet har därmed framgångsrikt bidragit till utvecklingen av en innovativ och hållbar landgång för Cstrider:s passagerarbåt, vilket stärker företagets mål att främja miljövänlig och effektiv passagerartransport via vattenvägar.

8. Referenser

Arbetsmiljöverket. (1981). AFS 1981:14 - Skydd mot skada genom fall (5 §). Hämtad 31/1-2024 från <https://www.av.se/>

Sjöfartsverket. (2004). SJÖFS 2004:25. Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om anpassning av passagerarfartyg med hänsyn till personer med funktionshinder. Norrköping, Sjöfartsverket. Hämtad 31/1-2024 från <https://www.sjofartsverket.se/sv/>

Sjöfartsverket. (2005). SJÖFS 2005:25 - Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om skyddsanordningar och skyddsåtgärder m.m. Norrköping, Sjöfartsverket. Hämtad 31/1-2024 från <https://www.sjofartsverket.se/sv/>

Svenska institutet för standarder. (2024). SS-EN 14206: Fartyg för inre vattenvägar – Landgångar för passagerarfartyg – Krav, provningar. Hämtad 31/1-2024 från <https://www-sis-se.eu1.proxy.openathens.net/>

Svenska institutet för standarder. (2015). ISO 7061: Fartyg och marinteknik, Aluminiumlandgångar för sjöfarande fartyg. Hämtad 31/1-2024 från <https://www-sis-se.eu1.proxy.openathens.net/>

Transportstyrelsen. (2021). Föreskrift TSFS 2021:95: Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om konstruktion, stabilitet och fribord för fartyg byggda den 1 januari 2009 eller senare. Hämtad 31/1-2024 från <https://www.transportstyrelsen.se/>

Arbetsmiljöverket. (1981). AFS 1981:14 - Skydd mot skada genom fall (5 §). Hämtad 31/1-2024 från <https://www.av.se/>

Arbetsmiljöverket. (2006). Föreskrift AFS 2006:4 - Användning av arbetsutrustning. Hämtad 31/1-2024 från <https://www.av.se/>

Opacmare. *Slewing gangways 1843/49*. Hämtad 10/2-2024 från <https://www.opacmare.com/en/product/slewing-gangways-184349>

Timage. *Gangway 123 - Self-supporting gangway*. Hämtad 10/2-2024 från <https://timage.co.uk/marine/self-supporting-gangway.html>,

U-Lift. *Ecoboard rullstolsramp*. Hämtad 10/2-2024 från <https://www.u-lift.se/produkt/ecoboard-rullstolsramp/>

Youtube. (2024). *Anderson - Undertun Gangway operation on Norwegian ferry*. Hämtad 10/2-2024 från <https://www.youtube.com/watch?v=y3D0Aedxu5A>

Autodesk. (2024). Fusion 360. Autodesk Inc.

ANSYS. (2023). ANSYS Workbench 2023 R1. ANSYS, Inc.

ANSYS. (2023). ANSYS Granta EduPack 2023 R1. ANSYS, Inc.

Broman, G. Kevin. 2024. Materialjämförelse. Eco-Audit i Ansys Granta EduPack 2023. Cambridge: Granta Design.

Decksafe AB. 2024. GRP Produkters påverkan på miljö och omgivning (miljöpåverkansanalys). Hämtad 20/4-2024 från Decksafe

<https://www.decksafe.se/milj%C3%B6-och-p%C3%A5verkan>

Transport Measures. 2024. NTMCalc Basic (miljöpåverkansanalys). Hämtad 7/4-2024 från NTM

<https://www.transportmeasures.org/sv/>

Jinminhui. 2024. AL 5083 och AL 5086 materialbeskrivning och tillverkningsplats. Hämtad 4/3-2024 från JMHaluminium

<https://www.jmhaluminium.com/>

Elsäkerhetsverket. (2024). IP-klasser för märkning av fuktskydd. Hämtad 3/5-2024 från

<https://www.elsakerhetsverket.se/privatpersoner/dina-elprodukter/krav-och-markning-pa-elprodukter/ip-klasser-for-markning-av-fuktskydd/>

TiMOTION. TA31QR-serien. Hämtad 3/5-2024, från Timotion

<https://www.timotion.com/en/products/linear-actuators/ta31qr-series>

9. Appendix

A - Standarder och föreskrifter

1.5.5.1 SJÖFS 2004:25 - Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om anpassning av passagerarfartyg med hänsyn till personer med funktionshinder (Bilaga 1. Allmänna bestämmelser)

Fartyg skall vara byggt och utrustat på ett sådant sätt att en person med funktionshinder kan gå ombord och iland enkelt och säkert samt förflytta sig till däck där samtliga publika funktioner är belägna. Anvisningar om tillgänglighet till olika delar av fartyget skall anslås vid alla ingångar och på andra lämpliga platser ombord på hela fartyget.

1.5.5.2 SJÖFS 2005:25 - Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om skyddsanordningar och skyddsåtgärder m.m. (13 kap. Förbindelsemedel med land (landgång, fallrepstrappa m.m.), § 17, § 18, § 20)

Landgång skall vara försedd med lämpligt utformade, tvärgående stegpinnar som ger betryggande fotfäste vid den tillåtna lutningen av landgången. Avståndet mellan stegpinnarna skall inte överstiga 450 millimeter eller understiga 350 mm, mätt längs landgången. Landgången skall vara försedd med halkskydd.

Landgång för personbruk beräknas för en vilande last av 4 000 N/m² plus landgångens egenvikt. Landgången skall även ha tillräcklig säkerhet mot buckling.

Innan landgång tas i bruk skall den provbelastas i horisontellt läge. Provlasten skall vara minst 5 000 N/m² och vara jämnt fördelad. Nedböjningen under det förstnämnda provet får inte vara större än 1/100 av landgångens längd för stål och 1/75 för aluminium Ingen permanent deformation får kvarstå efter provbelastningarna.

1.5.5.3 SS-EN 14206 - Fartyg för inre vattenvägar – Landgångar för passagerarfartyg – Krav, provningar

Standarden gäller landgångar till passagerarfartyg för inlands navigering. Säkerhetskrav inkluderar att landgången ska ha räcken på båda sidor och uppfylla specificerade dimensioner och toleranser enligt ISO 2768-c. Kanter ska vara rundade med en radie på minst 1,5 mm. Landgången ska ha en bredd på minst 600 mm om den inte är anpassad för rullstolar och en bredd på minst 900 mm för att räknas som anpassad för rullstolar. Vidare måste den kunna motstå en spänning på minst 5,0 kN/m² av ytan. I den övre änden ska räckesstolpar tåla en belastning på minst 1 000 N i vilken riktning som helst utan att orsaka permanent deformation. Stolparna får inte böjas mer än 50 mm. Den övre delen av landgången ska ha en halkskyddsytta och kunna säkerställa fri avrinning av vatten. I ändarna av landgången ska nedfällbara ramper förses med en lutning som inte överstiger 1:4.

I båda ändarna av landgången ska undersidan vara försedd med halkskydd alternativt hjul i ena änden. De ska monteras så att landgången är stabil. Höjden på räckena ska vara minst 1 000 mm och konstruktionen ska vara typ PF, PG eller PZ enligt vad som anges i EN 711:1995. Räckets stolpar kan vara fixerade, avtagbara eller hopfällbara. Landgångens sidor ska avgränsas med hjälp av fotskenor. Dessa bör vara minst 40 mm och max 80 mm höga. Komponenter bör möjliggöra lätt utbyte och ska vara skyddade och/eller impregnerade mot väderpåverkan. De ska vara resistent mot olja, diesel, saltvatten, solljus och mikroorganismer. Detta ska bevisas med ett materialcertifikat.

Ett styrketest görs på landgången genom att den först stöds på halkskydden eller hjulen. Sedan appliceras en provbelastning på 6,25 kN/m² av ytan jämnt fördelad. Nedböjningen får inte överstiga 2 % av landgångens längd. Landgångens massa kontrolleras genom vägning. Förutom detta ska landgången kontrolleras genom visuell undersökning och praktisk provning. Tillverkaren ska intyga att landgången är designad, konstruerad och provad i enlighet med denna standard. Landgångsmarkering ska finnas på en namnskylt.

1.5.5.4 ISO 7061 - Fartyg och marinteknik, Aluminiumlandgångar för sjöfarande fartyg

ISO 7061 specificerar regler för landgångar gjorda i aluminium avsedda för sjöfarande fartyg och delar in dem i två typer: landgångar med däckplattor och landgångar med halksäkra steg. Den tillåtna spänningen som används i konstruktionen av landgången ska bestämmas genom att tillämpa en säkerhetsfaktor på 2 på 0,2% sträckgränsen för den använda aluminiumlegeringen.

1.5.5.5 TSFS 2021:95 - Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om konstruktion, stabilitet och fribord för fartyg byggda den 1 januari 2009 eller senare. (Regel 22 Förhindrande och kontroll av vatteninträngning m.m, § 12).

Hängda dörrar, löstagbara plåtar, fönsterventiler, landgångs-, last och bunkerportar samt andra öppningar vilka enligt dessa regler ska vara stängda under resa, ska stängas innan resan påbörjas. Tidpunkter när sådana öppningar öppnas och stängs, ska antecknas i skeppsdagboken

Fönsterventiler, landgångs-, last- och bunkerportar samt andra anordningar för tillslutning av öppningar i bordläggningen över marginallinjen ska vara ändamålsenligt utformade och konstruerade och ha tillräcklig hållfasthet med hänsyn till de utrymmen där de är monterade och deras läge i förhållande till den djupaste indelningsvattenlinjen. Ro-ro-passagerarfartyg ska vid tillämpning av denna regel uppfylla resolution A.793(19).

1.5.5.6 AFS 1981:14 - Skydd mot skada genom fall (§ 5)

Trappa, trappsteg, stege, arbetsbock, lejdare, landgång, ramp, snedbana, ställning, plattform, arbetsflotte och liknande anordning skall utföras, anordnas och underhållas så att risk för fall motverkas. Detta gäller även fotsteg och motsvarande på maskin, fordon och annan teknisk anordning

1.5.5.7 AFS 2006:4 - Användning av arbetsutrustning (B 4.1.1 Val av arbetsutrustning).

Förflyttning mellan utrustning för tillträde och plattform, ställningslag eller landgång får inte innebära någon ytterligare fallrisk.

B - Kravspecifikation

Kriterium	Krav/Önskemål	Målvärde	Enhet	Verifiering	Referens
0 Baskrav					
0.1 Landgången skall kunna fällas ut manuellt	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
0.2 Landgången skall kunna töja fast båten i bryggan	Önskemål	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
0.3 Landgången skall fällas ut automatiskt (motor eller annat system)	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
0.4 Landgången skall tillåta livräddning vid nödfall	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
0.5 Landgången skall ha stödräcken	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
0.6 Landgången skall kunna fällas upp på så sätt att den agerar som ett räcke.	Önskemål	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
1 Standarder och föreskrifter					
1.1 Materialval	Krav	Klara av användningsmiljön samt vara hållbara	Ja/nej	Analys	ISO 7061
1.2 Förhindra fall	Krav	Landgången uppfyller föreskriftens krav	Ja/nej	Inspektion	AFS 1981:14, AFS 2006:4, SJÖFS 2005:25
1.3 Förhindra halka på landgång	Krav	Greppbart underlag	Ja/nej	Modellering	ISO 7061, SJÖFS 2005:25
1.4 Skydd från maskineri	Krav	Ingen klämrisk	Ja/nej	Inspektion	AFS 2008:3
1.5 Last på landgång	Krav	Landgången uppfyller föreskriftens krav	Ja/nej	Analys	SJÖFS 2005:25, ISO 7061, SS-EN 14206, SS-EN 526

1.6 Landgångens vikt	Krav	Uppfyllnad av formel	Ja/nej	Analys	SS-EN 526
2 Dimensioner					
2.1 Lutning	Krav	Lutningen uppfyller 1:4 förhållandet	Ja/nej	Analys	SS-EN 14206/ Cstrider
2.2 Bredd	Krav	Landgången uppfyller föreskriftens krav	Ja/nej	Analys	SS-EN 14206/ Cstrider
2.3 Längd	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Analys	Cstrider
2.4 Vikt	Krav	Lösningen uppfyller kriterium	Ja/nej	Analys	Cstrider
3 Livslängd					
3.1 Livslängd på system	Krav	10	år	Analys (datorsimulering)	Cstrider
3.2 Livslängd på system	Önskemål	20	år	Analys (datorsimulering)	Cstrider
4 Miljö					
4.1 Saltvattenbeständig	Krav	Ingen reaktion från vattenmiljön	Ja/nej	Analys (materialval)	Cstrider
4.2 Färskvattenbeständig	Krav	Ingen reaktion från vattenmiljön	Ja/nej	Analys (materialval)	Cstrider
4.3 Köldtålig (-20°C)	Önskemål	Ingen inverkan från temperatur	Ja/nej	Analys (materialval)	Cstrider
4.4 Värmetålig (upp till 50°C)	Önskemål	Ingen inverkan från temperatur	Ja/nej	Analys (materialval)	Cstrider
5 Underhåll					
5.1 Minimalt underhåll av system	Önskemål	En gång per år		Uppskattning	Studenter
6 Ergonomi					
6.1 Minimal ansträngning på kroppen vid manuell fällning av landgång	Krav	Användaren ska vara fri från skada vid nöutfällning		Undersökning	Cstrider
6.2 Ingen ansträngning på kroppen	Önskemål	Inga upplevda problem för montör		Undersökning	Cstrider
6.3 Ytfinish som ej skapar starka reflektioner	Krav			Inspektion	Cstrider
7 Säkerhet					

7.1 Landgången skall uppfylla relevanta säkerhetsstandarder och föreskrifter	Krav	Uppfylld av standarder och föreskrifter	Ja/nej	Undersökning	Cstrider
7.2 Säkerhet	Önskemål	0	Antal olyckor	Inspektion	Cstrider
7.3 Nödstopp på maskin	Krav	Tydlig markering	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
7.4 Nödutfällning för landgång skall vara enkel	Krav	Tydligt utförande	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
7.5 Halkfri design på landgång	Krav	Greppbar yta	Ja/nej	Inspektion	Cstrider
8 Prestanda					
8.1 Utfällningstid	Krav	<10	Sekunder	Simulering	Cstrider
8.2 Utfällningstid	Önskemål	<5	Sekunder	Simulering	Cstrider

Tabell 2. *Kravspecifikation*

C - Konceptkatalog

Delfunktioner	Styrning av landgång	Förtöjning	Gångytans material	Utfällning av landgång vid nödfall	Skyddsräcken	Utfällning av landgång	Landgångens geometri
1	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
2	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
3	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
4	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
5	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
6	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
7	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
8	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Utskjutbar landgång	Hel yta
9	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
10	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
11	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
12	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
13	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta

14	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Nedfällbar landgång	Hel yta
15	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Nedfällbar landgång	Hel yta
16	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Nedfällbar landgång	Hel yta
17	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
18	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
19	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
20	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
21	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
22	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
23	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
24	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallrücken	Utskjutbar landgång	Delad yta
25	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallrücken	Nedfällbar landgång	Delad yta
26	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallrücken	Nedfällbar landgång	Delad yta
27	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallrücken	Nedfällbar landgång	Delad yta
28	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallrücken	Nedfällbar landgång	Delad yta

29	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
30	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
31	Elektrisk styrning	Tryckkraft från landgång på bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
32	Elektrisk styrning	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
33	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
34	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
35	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
36	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Hel yta
37	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
38	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
39	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Kombination av olika material	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta
40	Vajersystem	Friktion från landgång mot bryggan	Mönstrad metall	Utfällning för hand	Rep- och metallräcken	Nedfällbar landgång	Delad yta

Tabell 6. Genererade koncept

D - Pughmatrix andra och tredje iteration

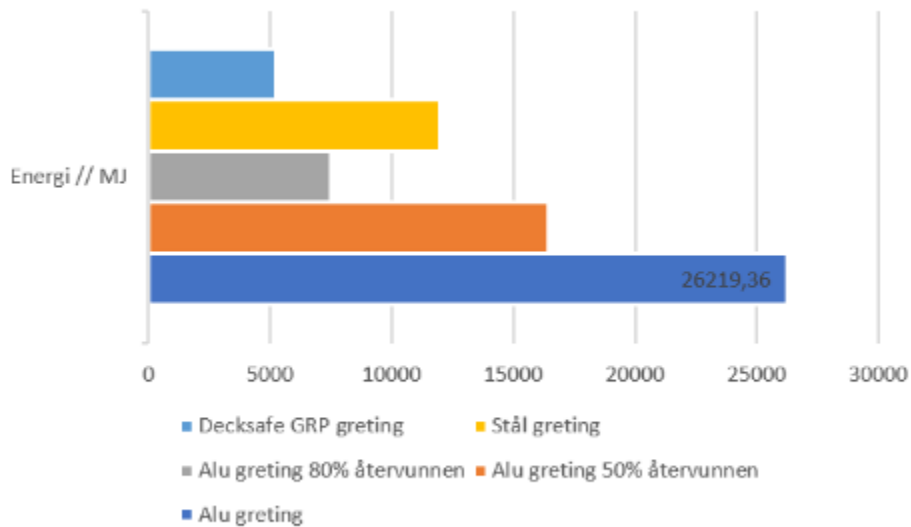
Chalmers		Pughmatrix (Relativ beslutsmatrix) 2								
Utfärdare: Kevin Broman Gustavsson, Filip johansson				Skapad: 2024-02-10						
Kriterier	Alternativ									
	9	10	11	12	18	20	25	26	27	28
Säkerhet	-	-	-	-	R	0	+	+	+	+
Förtöjnings- effektivitet	+	+	+	+	E	0	+	+	+	+
Utfällningstyp	+	+	+	+	F	0	+	+	+	+
Komplexitet	0	+	0	+	E	+	-	0	0	+
Materialval	0	0	+	+	R	+	0	0	+	+
Kostnadseffektivitet	+	+	+	+	E	0	-	+	0	+
Tidseffektivitet	0	0	0	0	N	0	0	0	0	0
Energiförbrukning	0	+	0	+	S	0	-	+	-	+
$\Sigma+$	3	5	4	6		2	3	5	4	7
$\Sigma 0$	4	2	3	1		6	2	3	3	1
$\Sigma -$	1	1	1	1		0	3	0	1	0
Nettovärde	2	4	3	5	0	2	0	5	3	7
Rangordning	7	4	5	2	9	8	10	3	6	1

Tabell 12. Pughmatrix 2

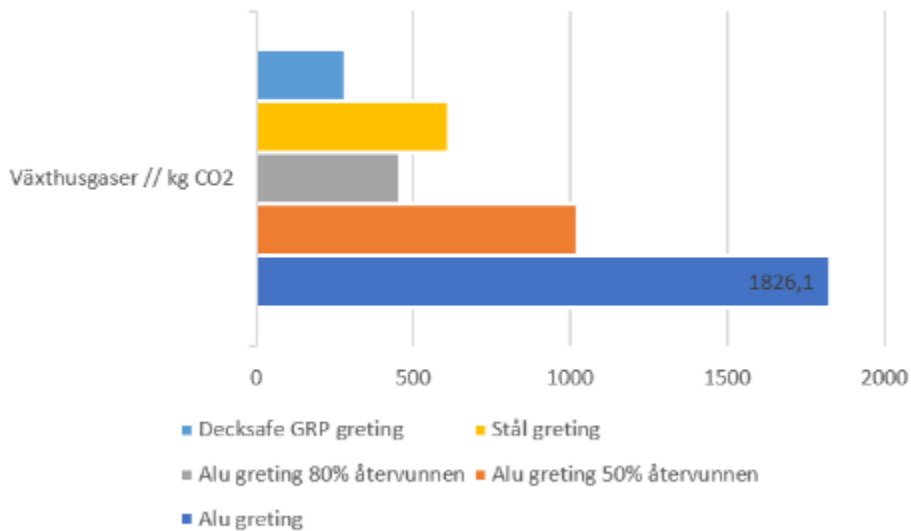
Chalmers		Pughmatrix (Relativ beslutsmatrix) 3								
Utfärdare: Kevin Broman Gustavsson, Filip johansson				Skapad: 2024-02-10						
Kriterier	Alternativ									
	9	10	11	12	18	20	25	26	27	28
Säkerhet	-	-	-	-	0	0	R	0	0	0
Förtöjningseffektivitet	0	-	0	-	-	-	E	-	0	-
Utfällningstyp	-	-	-	-	-	-	F	0	0	0
Komplexitet	+	+	+	+	0	+	E	+	-	+
Materialval	0	0	+	+	0	+	R	+	+	0
Kostnadseffektivitet	0	+	+	+	0	0	E	+	0	+
Tidseffektivitet	0	0	0	0	0	0	N	0	0	0
Energiförbrukning	0	+	0	+	0	0	S	+	0	+
$\Sigma+$	1	3	3	4	0	2		3	1	4
$\Sigma 0$	5	2	3	1	6	4		4	6	3
$\Sigma -$	2	3	2	3	2	2		1	1	1
Nettovärde	-1	0	1	1	-2	0	0	3	0	2
Rangordning	9	5	3	4	10	6	7	1	8	2
Vidareutveckling	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej

Tabell 13. Pughmatrix 3

E - GRP från Decksafe



Figur 12. Energianvändning, från <https://www.decksafe.se/milj%C3%B6-och-p%C3%A5verkan>



Figur 13. Utsläpp av CO2, från <https://www.decksafe.se/milj%C3%B6-och-p%C3%A5verkan>

F - Eco-Audit och NTMCalc, materialjämförelse

AL 5083 och AL 5083 från Jinminghui (<https://www.jmhaluminium.com>, 2024)

	CO2 total [kg]	CO2 fossil [kg]	CO2 biogen [kg]	CO2e [kg]	CH4 [g]	N2O [g]
Vehicle (tank to wheel)	2.909	2.710	0.1993	2.758	0.002145	0.1813
Fuel (well to tank)	0.4631	0.4528	0.01030	0.5573	2.979	0.07944
Total	3.372	3.162	0.2096	3.315	2.981	0.2608

Figur 14. Transportsträcka: Huishan, Wuxi, Jiangsu, Kina till Shanghai Port, Kina (246km, lastbil 14t)

	CO2 total [kg]	CO2 fossil [kg]	CO2 biogen [kg]	CO2e [kg]	CH4 [g]	N2O [g]
Vessel (tank to wheel)	22.03	22.03	0	22.33	0.2125	1.133
Fuel (well to tank)	1.922	1.922	0	2.528	21.23	0.04589
Total	23.95	23.95	0	24.86	21.44	1.179

Figur 15. Transportsträcka: Shanghai Port, Kina till Göteborgs hamn (8260km, containerfartyg)

	CO2 total [kg]	CO2 fossil [kg]	CO2 biogen [kg]	CO2e [kg]	CH4 [g]	N2O [g]
Vehicle (tank to wheel)	0.08269	0.07703	0.005665	0.07839	0.00006098	0.005155
Fuel (well to tank)	0.01316	0.01287	0.0002928	0.01584	0.08468	0.002258
Total	0.09586	0.08990	0.005957	0.09424	0.08475	0.007413

Figur 16. Transportsträcka: Göteborgs hamn till Lindholmen (7km, lastbil 14t)

HDPE från Borealis Group (<https://www.borealisgroup.com/>, 2024)

	CO2 total [kg]	CO2 fossil [kg]	CO2 biogen [kg]	CO2e [kg]	CH4 [g]	N2O [g]
Vehicle (tank to wheel)	0.6025	0.5612	0.04127	0.5712	0.0004443	0.03755
Fuel (well to tank)	0.09592	0.09378	0.002133	0.1154	0.6170	0.01645
Total	0.6984	0.6550	0.04340	0.6866	0.6174	0.05401

Figur 17. Transportsträcka: Stenungsund till Lindholmen (51km, lastbil 14t)

CFRP från Aston Harald Composite (<https://astonharaldcomposite.com/>, 2024).

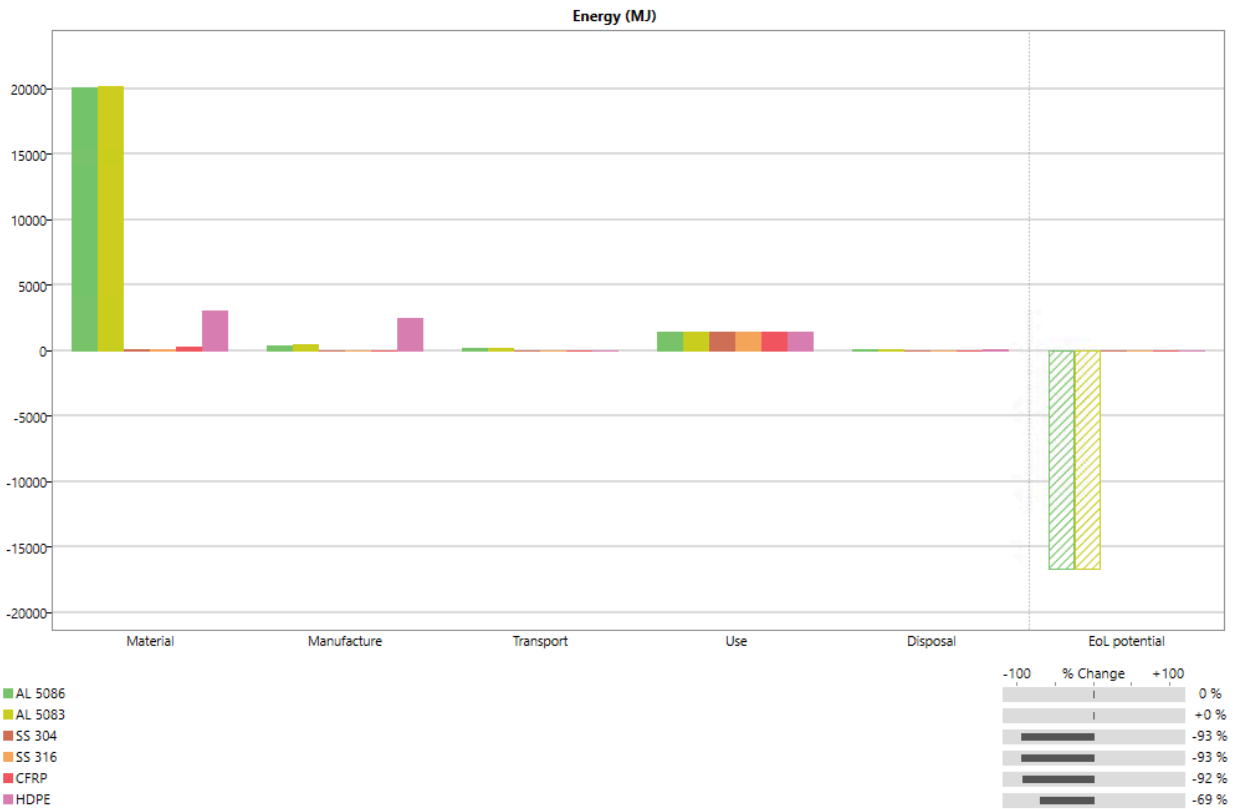
	CO2 total [kg]	CO2 fossil [kg]	CO2 biogen [kg]	CO2e [kg]	CH4 [g]	N2O [g]
Vehicle (tank to wheel)	0.2495	0.2324	0.01709	0.2365	0.0001840	0.01555
Fuel (well to tank)	0.03972	0.03884	0.0008834	0.04780	0.2555	0.006813
Total	0.2892	0.2712	0.01797	0.2843	0.2557	0.02237

Figur 18. Transportsträcka: Hönö till Lindholmen, (22km, lastbil 14t)

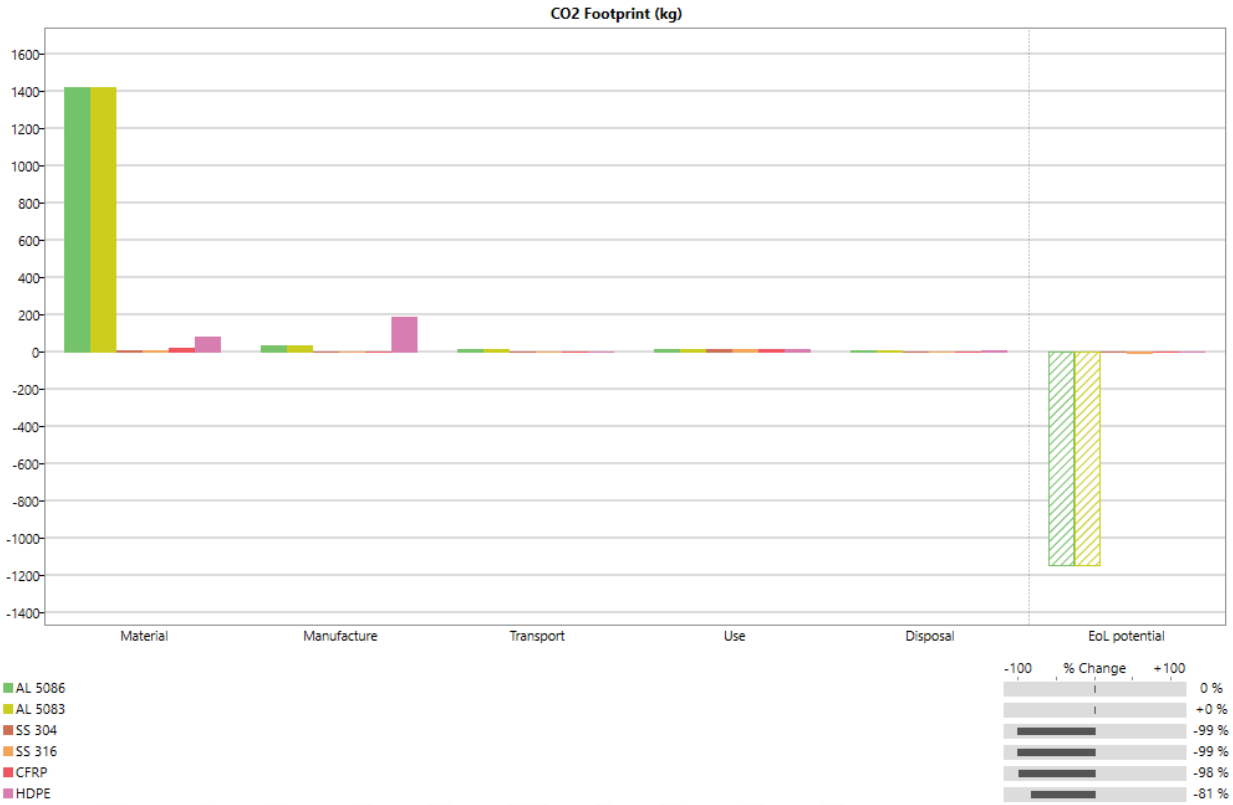
SS 304 och SS 316 från Göteborgs stål (<https://www.goteborgsstal.se/>, 2024).

	CO2 total [kg]	CO2 fossil [kg]	CO2 biogen [kg]	CO2e [kg]	CH4 [g]	N2O [g]
Vehicle (tank to wheel)	0.08269	0.07703	0.005665	0.07839	0.00006098	0.005155
Fuel (well to tank)	0.01316	0.01287	0.0002928	0.01584	0.08468	0.002258
Total	0.09586	0.08990	0.005957	0.09424	0.08475	0.007413

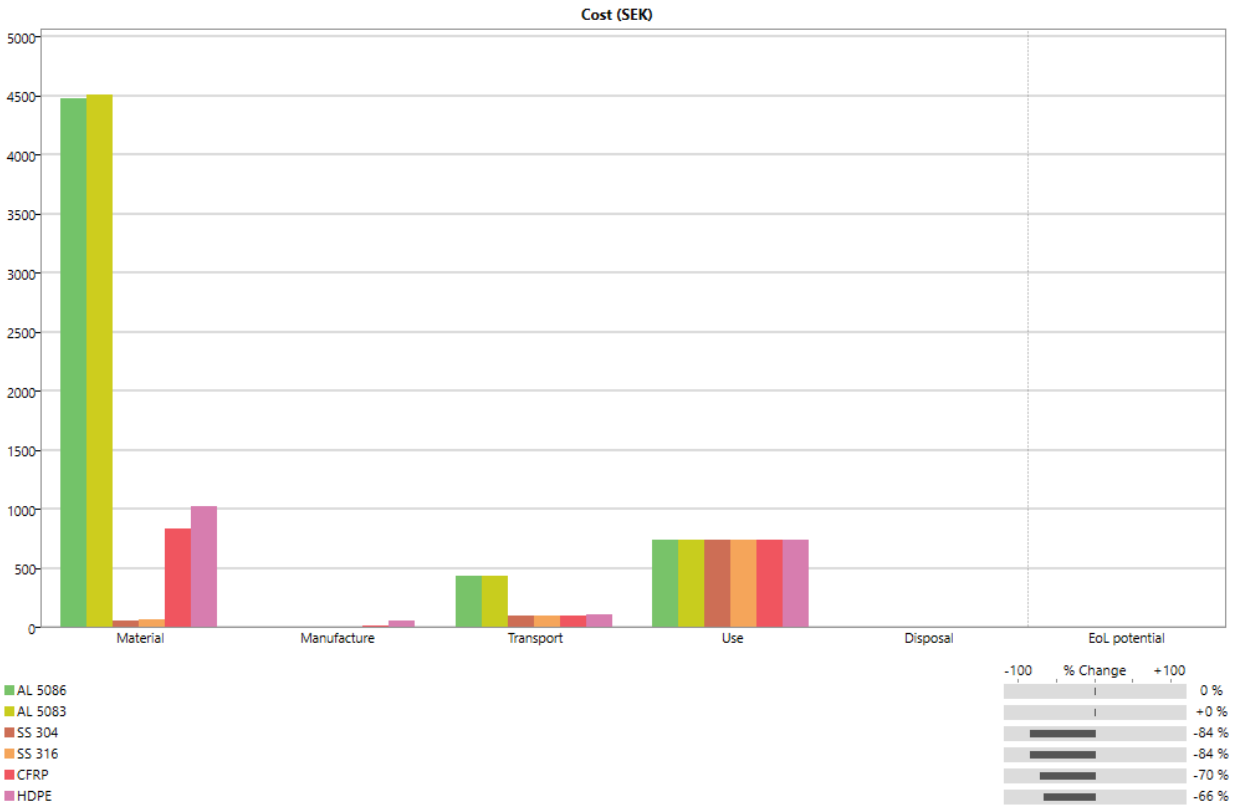
Figur 19. Transportsträcka: Gamlestaden till Lindholmen (7km, lastbil 14t)



Figur 20. Energiförbrukning hos samtliga material

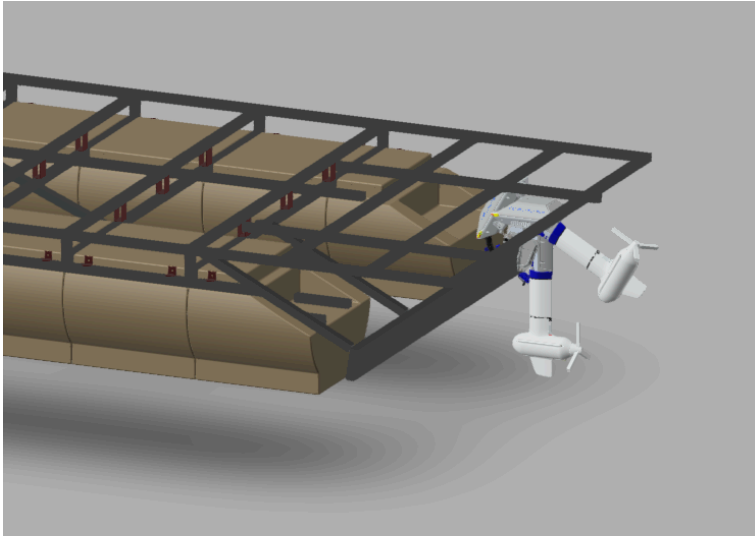


Figur 21. Miljöpåverkan hos samtliga material

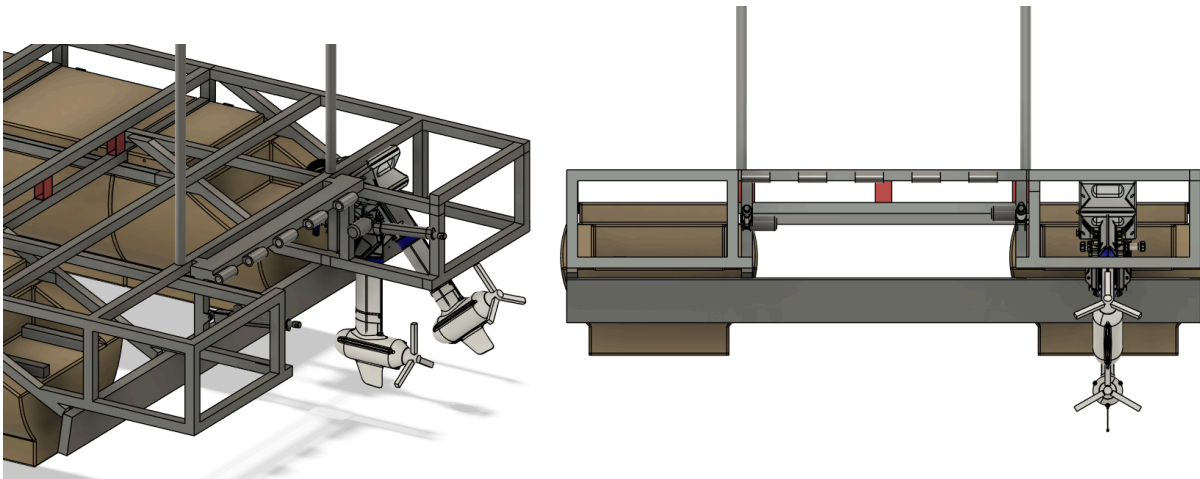


Figur 22. Kostnad hos samtliga material

G - Konceptbilder ramkonstruktion

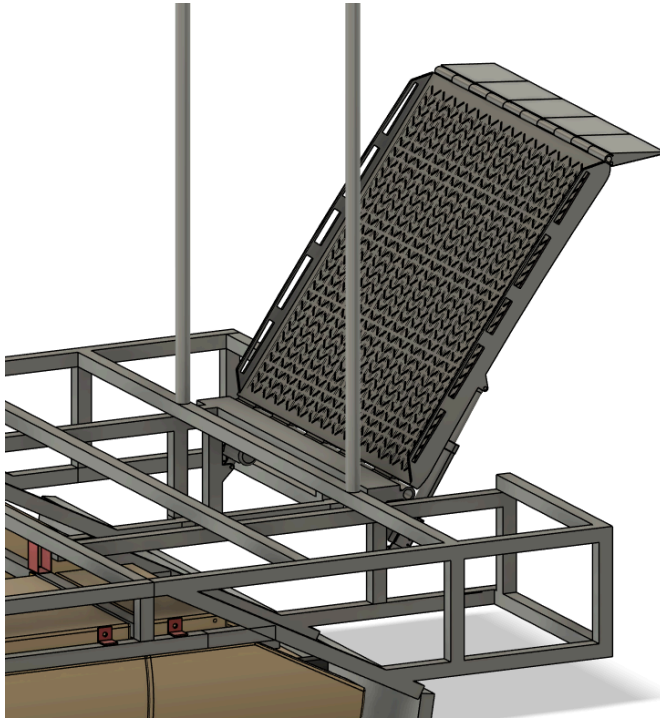


Figur 23. Ramens akter före justering

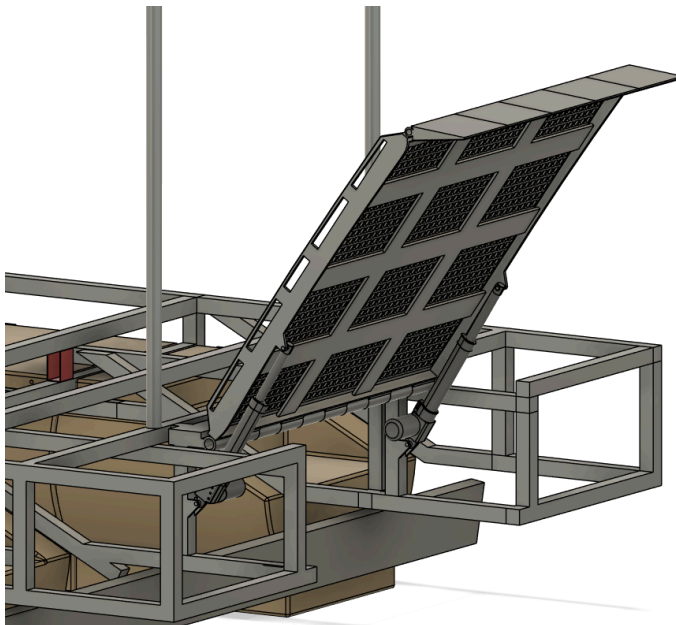


Figur 24. Ramens akter efter anpassning för landgång och svängdörrar

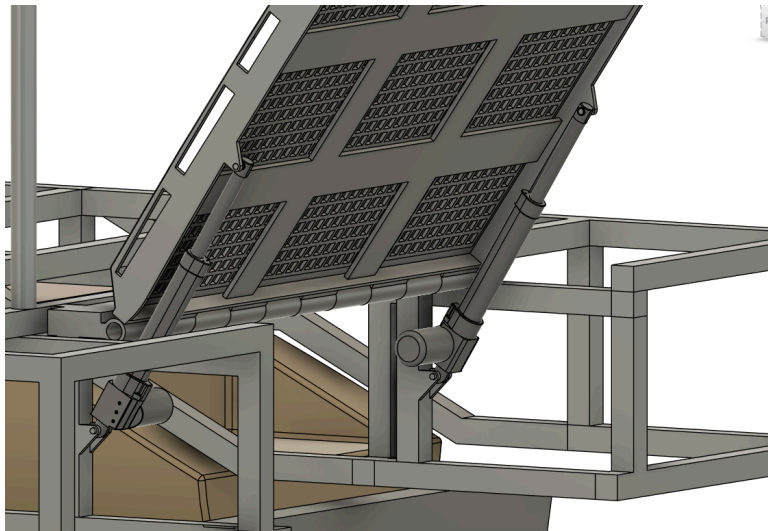
H - Konceptbilder koncept 10



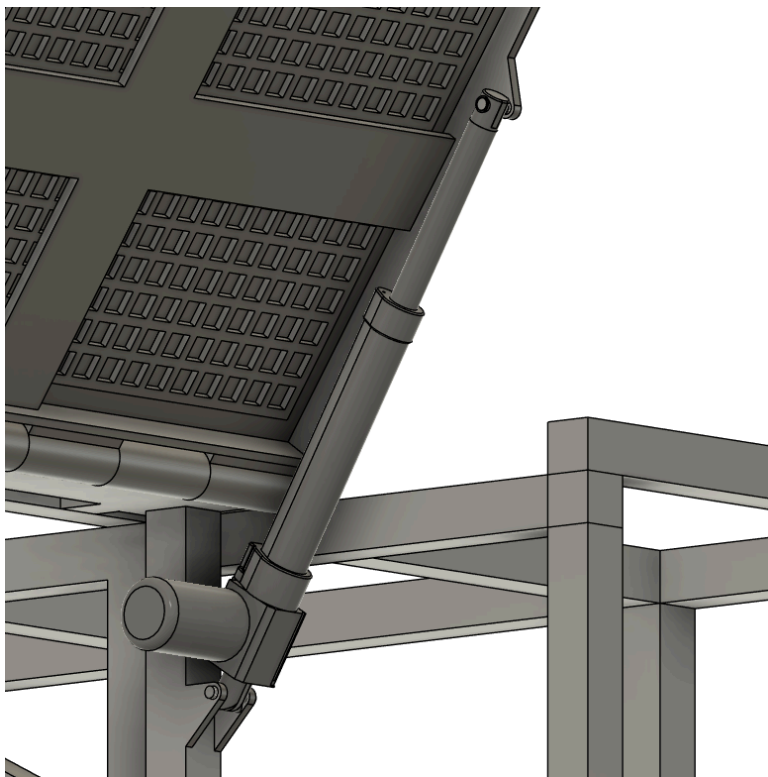
Figur 26. Landgång med mönstrad platta för att motverka halka.



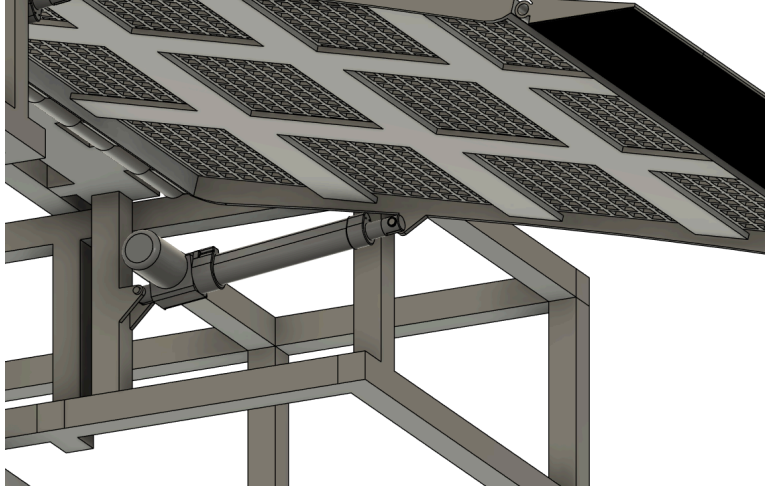
Figur 27. Landgången vid uppfällt läge (55°)



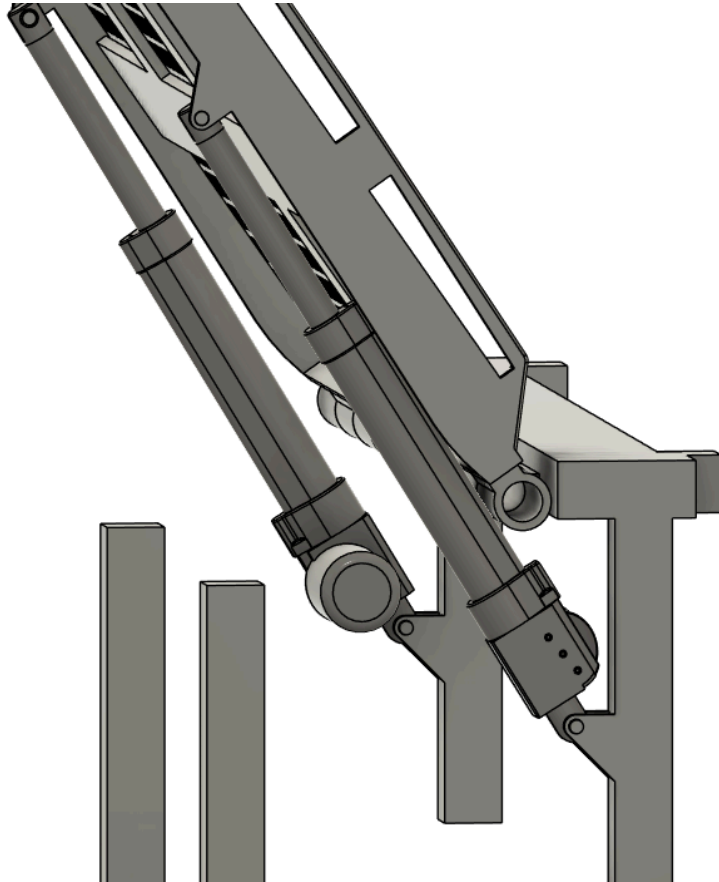
Figur 28. Landgångens underrede vid uppfällt läge.



Figur 29. Ställdon utfälld (189.341 mm) gänga till gänga: 611.458 mm

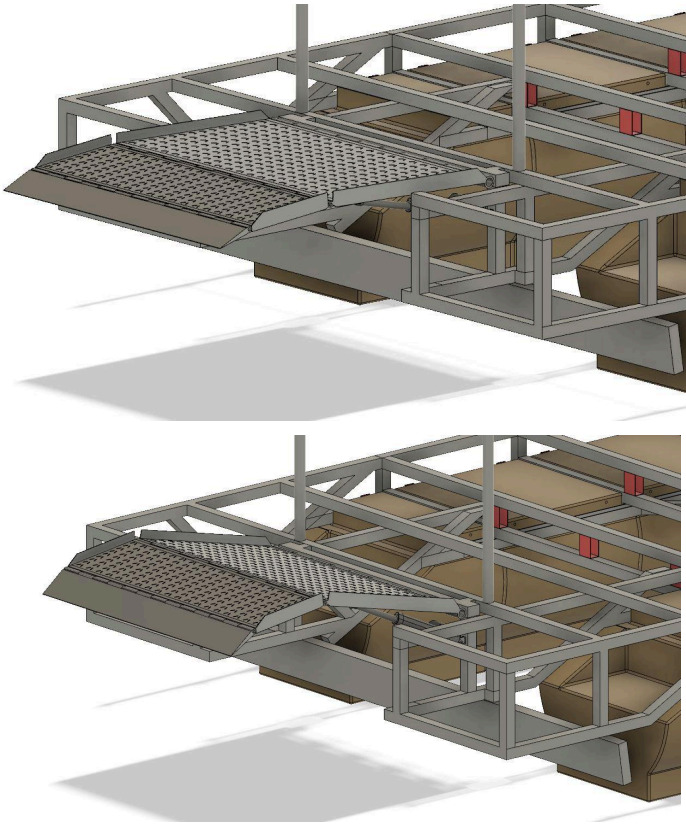


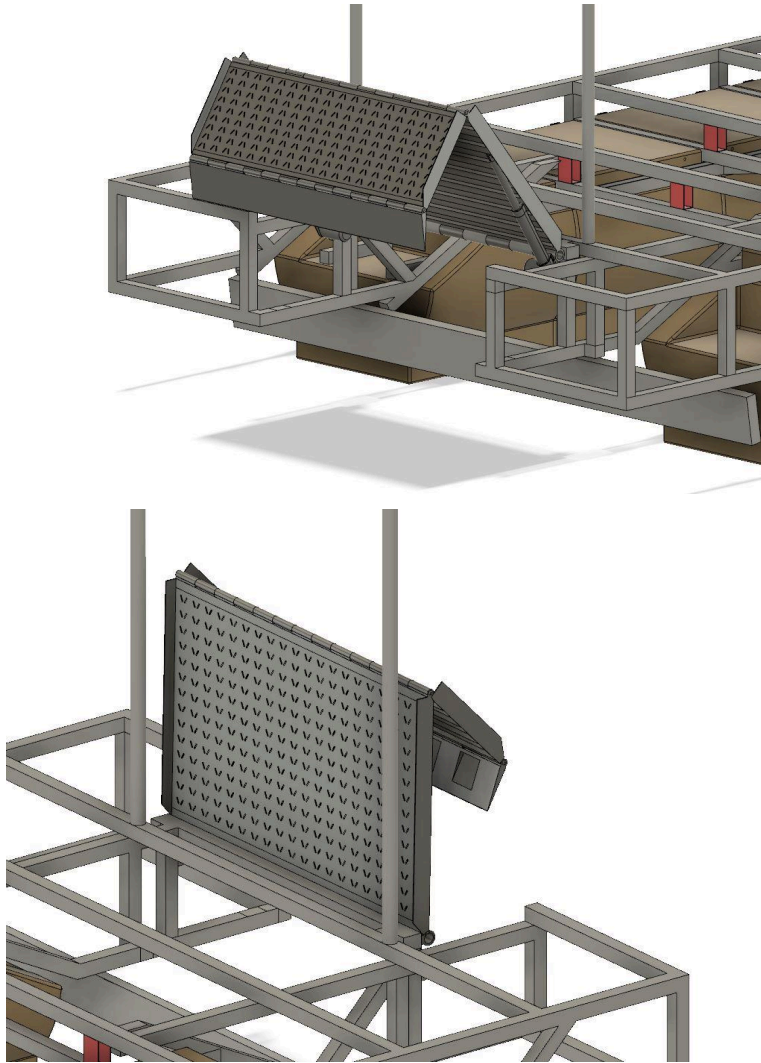
Figur 30. Ställdon nedfälld (29.068 mm) gänga till gänga: 451.253mm



Figur 31. Ställdon och fästningar

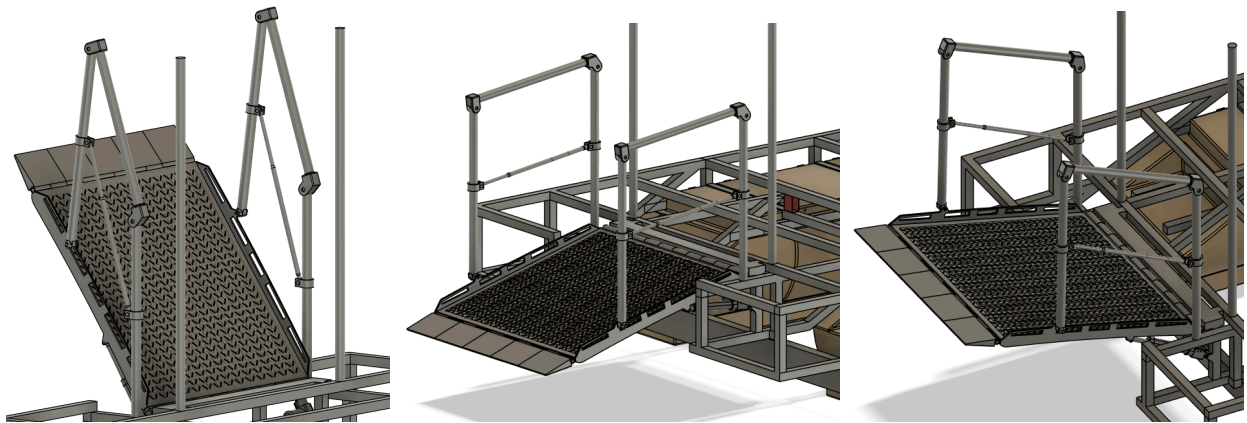
I - Konzeptbilder konzept 28



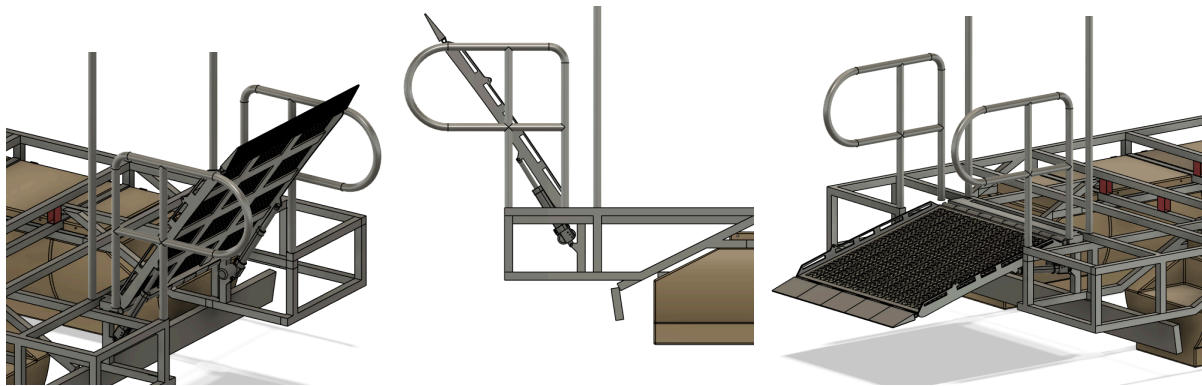


Figur 33. Uppfällning av landgång.

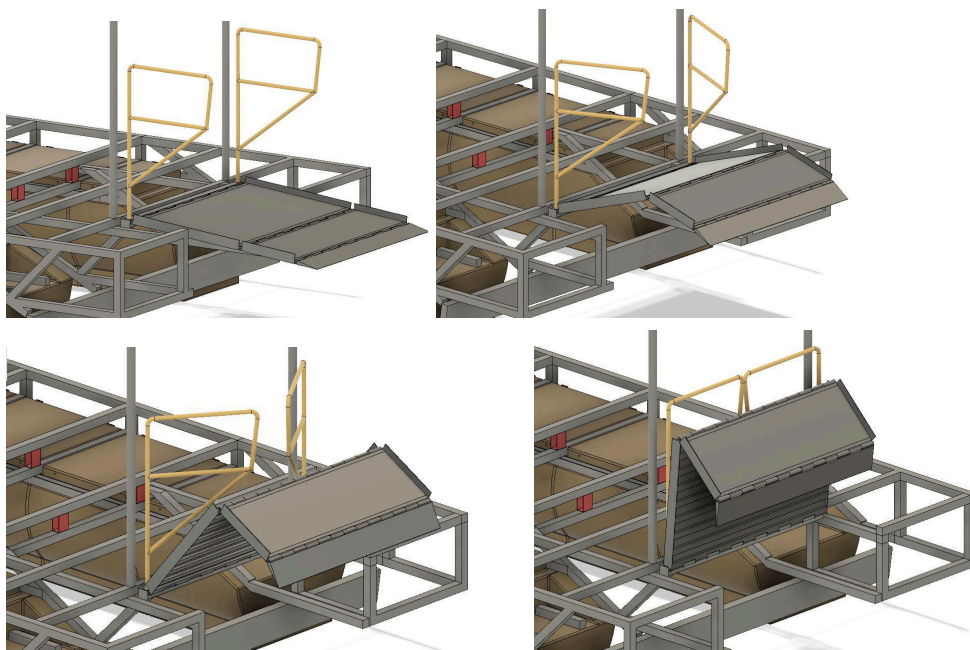
J - Konceptbilder räcken



Figur 35. Uppfällbara räcken



Figur 36. Fasta räcken



Figur 37. Infällbara räcken