



UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-M-2025/014-SE

Examensarbete 15 hp

Juni 2025

Utveckling av fastsättningssystem för modulär vertiport

En explorativ studie av fastsättningslösningar mellan
komplicerade metallytor

Anthon Alexandersson och Kalle Axelsson



UPPSALA
UNIVERSITET

Development of a fastening system for a modular vertiport

Anthon Alexandersson och Kalle Axelsson

Abstract

To meet future demands for sustainable transportation systems, new solutions for efficient transportation are required. One solution is the use of drones and eVTOL to enable efficient cargo and passenger transport. To support safe pick-up, drop-off and recharging, designated landing structures are needed. These designated landing structures are referred to as vertiports. The vertiport in this study is a modular solution consisting of a landing surface and a base frame. Due to the complex geometry of the base frame and the requirements of both easy assembly and disassembly, traditional fastening methods are not sufficient.

The purpose of this study was therefore to investigate and design a fastening system for a modular vertiport, focusing on two fastening interfaces: between the landing surface and the base frame within a module, and between separate vertiport modules.

The study was exploratory in nature, and data collection was carried out through literature reviews and interviews. This information was used to establish a product requirement specification to define the design requirements. This was followed by concept generation, concept selection and continued development of the most suitable concept into a final design proposal.

The result consists of two proposals to enable fastening between the landing surface and the base frame: one based on direct attachment using double-sided adhesive tape, and the other by an integrated bracket cut out from the base frame for redundancy. For attachment between modules: the proposed solution is a sheet metal component attached to the sides of the landing surface, also that by the use of double-sided adhesive tape which enabled the modules to be hooked together.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Micael Wikström Ämnesgranskare: Lars Degerman

Examinator: Henrik Hermansson

Sammanfattning

För att möta framtidens krav av ett hållbart samhälle utforskas alternativ inom transportsektorn. Ett av dessa alternativ är användandet av drönare och eVTOL för att effektivisera leverans- och persontransport. För att stödja detta behöver drönarna designade landningsplatser för att säkert utföra upphämtning, leverans samt laddning. Dessa landningsplatser har erhållit namnet vertiports. Den vertiport som ingår i denna studie kommer vara en modulär lösning som består av en landningsyta och en grundstomme. På grund av grundstommens komplicerade geometri samt krav på lätt monter- och demonterbarhet, duger inte traditionella fastsättningsmetoder.

Syftet med studien har således varit att undersöka och designa ett fastsättningssystem för en modulär vertiport där två områden av fastsättning undersöktes: fastsättning mellan landningsytan och grundstommen av en modul, samt fastsättning mellan olika moduler.

Studien var av explorativ karaktär och datainsamling genomfördes med litteraturstudier och intervjuer, vilket användes för att fastställa kraven på lösningsförslagen genom utformandet av en produktkravsspecifikation. Detta uppföljdes med en konceptgenerering, koncepturval samt vidareutveckling av lämpligast koncept till ett lösningsförslag.

Resultatet bestod av två slutgiltiga förslag för fastsättning mellan grundstommen och landningsytan, en genom direkt fastsättning med tejp samt en lösning med en integrerad vinkeljärnskonstruktion för redundans. För fastsättning mellan moduler bestod förslaget av en plåtdetalj som fästs på landningsytornas sidor med tejp, vilket möjliggör att moduler kan hakas fast i angränsande moduler. Resultatet visade på potentialen i modulära och demonterbara fastsättningslösningar, samt en process för utveckling av lösningsförslag.

Nyckelord: drönare, fastsättningslösning, fastsättningssystem, fästelement, konceptutveckling, kurvbockning, landningsyta, mekanik, modularitet, produktutveckling, vertiport

Förord

Innehållet i denna rapport fullgör ett examensarbete för högskoleingångsprogrammet inom maskinteknik på Uppsala universitet under vårterminen 2025, som genomfördes på uppdrag av Stilfold AB. Studien berörde utforskade områden för oss och det öppna upplägget utökade vår kunskap på ett positivt sätt, vilket vi både hoppas och tror kommer komma till användning hos företaget framöver.

Särskild tacksamhet vill riktas till vår handledare Micael Wikström som tog emot oss med öppna armar och föreslog uppdraget, samt Ricardo Sá Freire som gemensamt bidragit med värdefull feedback till studien. Likaså med tillhandahållandet av verkstad för verifiering, klarläggandet av deras patenterade tillverkningsteknik och möjligheterna att lägga upp arbetet på ett sådant sätt som gynnade alla involverade.

Vidare skall tack också riktas till Lars Degerman, programansvarig för maskinteknik på Uppsala universitet tillika ämnesgranskare för denna studie, som outtröttligt genererat konstruktiv återkoppling vid utformandet av denna vetenskapliga rapport. Tacksamhet tilldelas även kursare inom programmet och närstående som agerat bollplank och stöd genom vårterminen.

Uppsala, maj 2025

Anthon Alexandersson och Kalle Axelsson

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Problembeskrivning.....	2
1.3	Syfte.....	2
1.4	Frågeställningar	2
1.5	Avgränsningar	2
2	Teori.....	3
2.1	Vertiports	3
2.1.1	Generell beskrivning.....	3
2.1.2	Visuella hjälpmedel	4
2.2	Påverkan av väder	5
2.2.1	Risker med vindhastigheter.....	5
2.2.2	Luftmotståndskraft mot objekt.....	5
2.2.3	Korrosionsrisker i fuktig miljö.....	6
2.3	Materialkandidater till fastsättningssystem	7
2.3.1	Aluminium	7
2.3.2	Rostfritt stål	8
2.3.3	Brandklassning	8
2.4	Fogningsmetoder	9
2.4.1	Skruvförband	9
2.4.2	Svetsning	9
2.4.3	Självhäftande fästelement	9
2.5	Konceptsållningsmatris	10
3	Metod	11
3.1	Design av studien	11
3.2	Datainsamlingsmetod	11
3.2.1	Litteraturstudier	11
3.2.2	Intervjuer.....	12
3.2.3	Dokumentstudier	12
3.2.4	Verifiering av fästelement.....	12
3.3	Dataanalys	12
3.3.1	Dataanalys för metoder till frågeställning 1.....	12
3.3.2	Dataanalys för metoder till frågeställning 2 och 3.....	12

3.4	Validitet och reliabilitet	13
3.5	Etiska ställningstaganden	13
4	Förstudie.....	15
4.1	Stilfold.....	15
4.2	Underlag från Stilfold	15
4.3	Luftdragkraft.....	17
5	Kravspecifikationer.....	19
5.1	Kundbehov	19
5.2	Produktkrav	20
6	Konceptgenerering.....	21
6.1	Koncept för fastsättning mellan landningsyta och grundstomme.....	21
6.1.1	Koncept 1 – Mellanliggande plåtdetalj	21
6.1.2	Koncept 2 – Undre triangulär plåtdetalj	22
6.1.3	Koncept 3 – Direkt fastsättning.....	23
6.2	Koncept för fastsättning mellan moduler	24
6.2.1	Koncept 4 – Kvadratisk landningsyta	24
6.2.2	Koncept 5 – Parallelogramformad landningsyta.....	26
6.2.3	Koncept 6 – Ramverk	27
7	Konceptval.....	31
7.1	Utvärdering med konceptsällningsmatris	31
7.1.1	Utvärdering av koncept för fastsättning mellan landningsyta och grundstomme	31
7.1.2	Utvärdering av koncept mellan moduler	33
7.2	Val av fästelement.....	36
7.3	Verifiering av fästelement.....	36
8	Slutgiltigt förslag till fastsättningssystem	40
8.1	Helhetskoncept	40
8.2	Fastsättningslösning – Grundstomme mot landningsyta	41
8.3	Fastsättningslösning – Modul mot modul.....	42
9	Analys	43
9.1	Frågeställning 1 – Systemkrav	43
9.2	Frågeställning 2 – Grundstomme mot landningsyta	43
9.3	Frågeställning 3 – Modul mot modul	44
9.4	Utvärdering av lösningsförslag.....	45
10	Diskussion.....	48
10.1	Uppfylld av syfte.....	48

10.2	Metoddiskussion	49
10.3	Reflektion	51
11	Slutsatser	52
11.1	Förslag på fortsatt forskning/arbete	53
12	Referenser	54

Tabellförteckning

Tabell 2-1: Procent av tiden av relativ fuktighet vid olika temperaturer	6
Tabell 2-2: Materialegenskaper för aluminium (Callister Jr och Rethwisch, 2016)	7
Tabell 2-3: Materialklasser. Aluminium anses klassas A1 likt stål	9
Tabell 5-1: Tolkade kundbehov	19
Tabell 5-2: Produktkravsspecifikation	20
Tabell 7-1: Konceptsållningsmatris för fastsättning mellan landningsyta och grundstomme	31
Tabell 7-2: Konceptsållningsmatris för fastsättningslösning mellan vertiportens moduler	34
Tabell 7-3: Uppmätta värden på kontaktyta	38
Tabell 9-1: Produktkravsspecifikation med villkor	45

Figurförteckning

Figur 1-1: Framtidens vertiport? (Frick, 2022)	1
Figur 2-1: Illustration av OFV (Obstacle-free volume) (EASA, 2022).....	3
Figur 2-2: Bokstavsmarkering för a) vertiport (EASA, 2022) b) helikopter (Region Västerbotten, 2018)	4
Figur 2-3: Potentiell placering av ljussignaler (EASA, 2022).....	4
Figur 2-4: Vindlastzoner	5
Figur 2-5: Exempel på en utförd konceptsallningsmatris (Ulrich och Eppinger, 2016)	10
Figur 3-1: Processteg i examensarbetet.....	11
Figur 4-1: Patentbild 4 (av 5) från SE545199C2	15
Figur 4-2: Två kurvbockade plåtar till grundstomme från Stilfold	16
Figur 4-3: a) Sidvy av två ihopskruvade plåtar b) Ögonblicksbild av fysisk provning.....	16
Figur 4-4: Grundstomme för en modul bestående av fyra kurvbockade plåtar av Stilfold	17
Figur 4-5: SolidWorks Fluid Simulation på 1 m ² landningsyta.....	18
Figur 6-1: Mellanliggande plåt detalj mot grundstomme, a) exploderad vy b) ihopsatt vy	21
Figur 6-2: a) fastsättningskoncept 2 sidvy ihopsatt b) fastsättningskoncept 2 sidvy isär c) isolerad plåt detalj.....	22
Figur 6-3: a) Isometrisk vy av punktsvets b) Med transparent landningsyta.....	23
Figur 6-4: a) Koncept av landningsyta b) Täckplåt till byggnadsställning	24
Figur 6-5: a) Koncept av modulsammankoppling b) T-profil (Alutrade, 2025)	25
Figur 6-6: a) 4 landningsmoduler b) 4 landningsmoduler tillsammans med T-profiler	25
Figur 6-7: Koncept 5 (a) och koncept 4 (b), där grundstommens kurvade form synliggjorts..	26
Figur 6-8: a) Sidvy av L-profil b) Isometrisk vy av L-profil c) Sammansatt ramverk.....	27
Figur 6-9: Ramverk placerad uppe på Stilfolds grundstomme.....	28
Figur 6-10: a) Arbiträr landningsyta b) Transparent landningsyta placerad i ramverk.....	28
Figur 6-11: a) Clips b) Fem clips utplacerade symmetrisk längs ramverkets ena sida.....	29
Figur 6-12: Isometrisk vy av en vertiport om 2x1 meter.....	29
Figur 6-13: a) Genomskuren frontvy av vertiport b) Detaljvy på fastsättning av moduler	30
Figur 7-1: Tesa Powerbond (art. nr 55792)	36
Figur 7-2: Sidvy av prototyp, dubbelhäftande tejp applicerad	37
Figur 7-3: a) Sidvy på monterad plexiskiva b) Detaljvy på kontaktyta från tejp	37
Figur 7-4: a) Toppvy på skjutmått b) Detaljvy på skjutmått.....	38
Figur 7-5: Båglängder för en halv grundstomme	39
Figur 8-1: Fyra hopsatta moduler med en vertiportsymbol	40
Figur 8-2: a) Lösningförslag för integrerad vinkeljärnslösning b) Flera på samma grundstomme	41
Figur 8-3: Förslag till modulfastsättningslösning	42
Figur 8-4 a) Isometrisk vy av en modul b) Detaljvy av U-profiler c) Ihakade moduler d) Detaljvy av ihakning	42

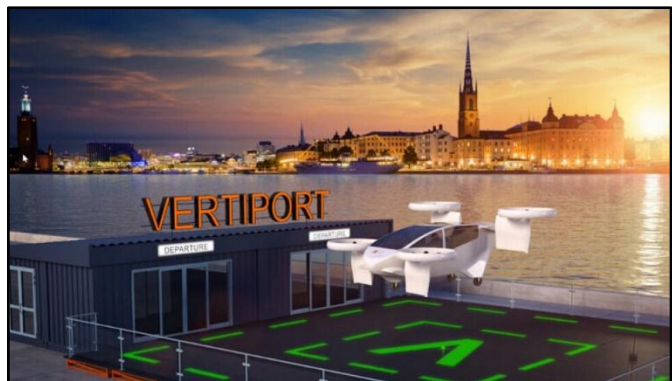
1 Introduktion

I detta kapitel introduceras vertiports och dess betydelse för framtidens transport- och leveransmöjligheter. Vidare specificeras problembeskrivning, syfte och ett antal frågeställningar baserade på dessa vilka alla tillsammans utgör grunden för rapportens efterföljande kapitel.

1.1 Bakgrund

Framtidens transportmedel är på ett eller annat sätt elektriskt drivet. Fram till år 2040 har Sverige ett mål om att ha ett energisystem som är helt förnybart och med det åligger en effektivisering av energianvändningen (Naturskyddsföreningen, 2021). Framför allt inom transportsektorn innefattar detta en drastisk förändring och reducering av antalet fossildrivna person- och lastbilar till förmån för mer miljövänliga, och förnuftigt använda, alternativ. Exempelvis kollektiva elbilspooler och spår-/cykeltrafik, primärt inom tätbebyggda områden (Östman, 2019). Redan nu sker planering av stadskärnor med detta i åtanke, men siktet är inte bara inställt på marknivå. Takytor ses som ett potentiellt användningsområde (Framtidens stadskärna, 2020) där leverans- och persontransport genom större drönare och Electric Vertical Take-Off and Landing-fordon (eVTOL:s) spelar en stor roll.

De mer vanligt förekommande drönarna i "öppen kategori" (EASA, 2024) för nöjes- och lågriskaktivitet är i stora drag reglerade efter dess vikt, användningsområde och pilot. De kan alltså i stort sett framföras och landas vart som helst så länge det är inom reglementet för drönarkategorin. Större drönare och eVTOL:s med deras tilltänkta användningsområden som nämndes i förra stycket å andra sidan klassar European Union Aviation Safety Agency som "certifierad" (EASA, 2025). Denna klass innehåller tekniska krav som likställs med traditionellt bemannade flygfarkoster gällande exempelvis belysning, ledningscentraler och landningsytor. Vertiports (Frick, 2022) är det vedertagna namnet på en futuristisk typ av landningsyta för drönare och eVTOLs vars funktionen liknar den hos helikopterplattformar, se figur 1-1. Den största skillnaden för användaren är att vertiports bör skapa en så smidig övergång i resekedjan som möjligt, oavsett om det gäller gods eller personer, samtidigt som den inte sticker ut för mycket i sin omgivning (Ehk och Åberg, 2023). Vidare skriver Global Market Insights att det förutspådda marknadsvärdet för vertiports beräknas vara omkring 10 miljarder USD till år 2032, jämfört med 400 miljoner USD år 2023 (Gujar och Kshirsagar, 2024).



Figur 1-1: Framtidens vertiport? (Frick, 2022)

Den optimala konstruktionen av vertiports är långt ifrån fastställd, men däremot existerar några grundläggande önskemål och funktioner. Ehk och Åberg skriver i sin rapport (2023) att placeringen av vertiports inte bara kan ske på olika byggnaders tak utan också öppnare ytor som

parker och naturreservat. Dessa olika typer av underlag (takkonstruktioner av betong, trä eller stål samt gräs, jord, sand eller berg när det gäller naturliga utemiljöer) ställer höga fastsättningskrav på en vertiport, samtidigt som diverse väder- och vindförhållanden måste behärskas. Slutligen ska möjligheter till laddning av luftfarkoster existera, personer ska kunna ta sig fram på landningsytan säkert och kommunikation till flygtorn finnas.

1.2 Problembeskrivning

Stilfold deltar i projektet Innovative Platform Origami Droneport (iPOD) som är koordinerat av Research Institutes of Sweden (RiSE). Avsikten är att utforska potentialen kring ett utnyttjande av Stilfolds patenterade kurvbockningsteknik som grundstomme, för att utveckla moderna och mobila vertiports av återvunnet aluminium (Vinnova, u.å). Traditionella helikopterplattformar konstrueras i jämförelse ofta som långsiktiga och/eller permanenta lösningar där själva förhöjningen, alltså grundstommen, av landningsytan ofta består av betong eller cement.

Stilfolds innovativa struktur kräver innovativa fastsättningslösningar där intresset för ett fastsättningssystem, som är lätt att montera och demontera, är högt. Detta samtidigt som säkerhets- och hållfasthetskrav som medföljer belastning från drönare och utomhusväder bör uppnås. Systemet ska dessutom vara skalbart och modulärt för att möta behovet av en skalbar landningsyta, oavsett storlek på drönare. Då enkel montering och demontering anses prioriterat önskas inte bara permanenta fogningsmetoder som svetsning och limning undvikas, likaså gäller användandet av mekaniska fästelement som kräver form- och lägestoleranssättning.

1.3 Syfte

Examensarbetets syfte är att designa system för fastsättning mellan Stilfolds grundstomme och landningsyta samt mellan vertiportmoduler.

1.4 Frågeställningar

1. Vilka krav behöver systemet uppfylla?
2. Hur kan en fastsättningslösning mellan Stilfolds grundstomme och landningsyta designas?
3. Hur kan en fastsättningslösning mellan vertiportens moduler designas?

1.5 Avgränsningar

Det slutgiltiga systemet presenteras genom CAD-modellering (Computer-Aided Design) utan något ritningsunderlag eller fysisk prototyp. Materialvalen inom systemet analyseras ej ur miljösynpunkt.

2 Teori

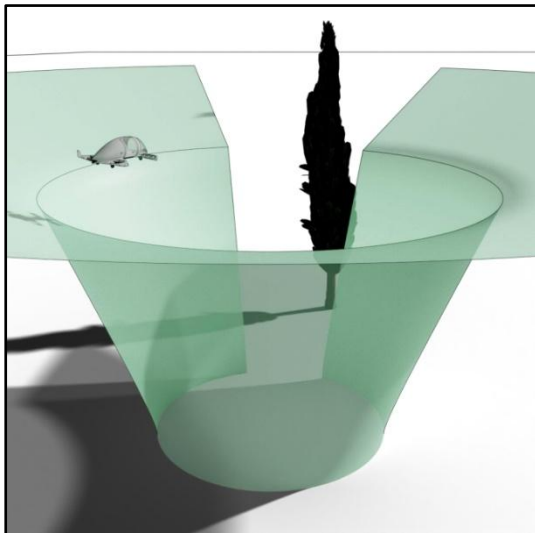
Här presenteras den teori som ligger till grund för arbetet. Genom en litteraturstudie har områden som regelverk, väder, material och beslutsmetoder utforskats. Kapitlet används som grund till utformandet av rapportens metod samt vid tolkning av rapportens analys och resultat. Vidare fungerar kapitlet som ett underlag för läsaren att förstå grundprinciper inom de relevanta områden som rapporten berör.

2.1 Vertiports

Klubbade lagkrav eller regelverk för vertiports är inget som existerar vid skrivandet av denna rapport. Däremot har European Union Aviation Safety Agency (EASA) publicerat ett dokument innehållandes rekommenderade riktlinjer för hur vertiports kan designas (EASA, 2022).

2.1.1 Generell beskrivning

Vertiport definieras i EASA:s dokument som "...en yta på land, vatten eller annan struktur som används eller är menat att användas för landning, start och rörelse av VTOL-kapabla luftfarkoster." (EASA, 2022, s. 4) – författarnas översättning. Därmed tydliggörs komplexiteten vid utformandet av vertiports, att dess konstruktion både kan och behöver anpassas till dess specifika användningsområde.



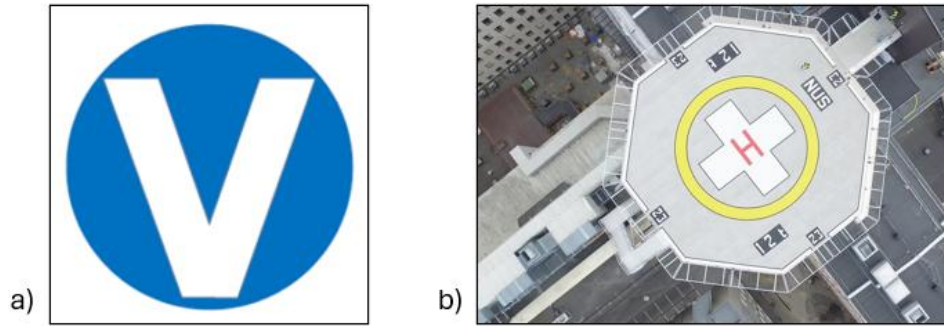
Figur 2-1: Illustration av OFV (Obstacle-free volume) (EASA, 2022)

Tyngdpunkten i EASA:s dokument uppfattas ligga i själva placeringen av vertiporten, samt dess omkringliggande miljö. Rekommendationen är att en trattformad avgränsning bör uppnås till vertiporten, som återfinns längst ner i trattens mittpunkt, se figur 2-1. Därigenom skapas en dedikerad och reserverad volym för att möjliggöra ett hinderfritt in- och utträdande till vertiporten av en eller flera VTOL:s. Det skall då spela mindre roll vad som finns i den omkringliggande miljön vare sig det är höghus eller trädtoppar. Genom att in- och utträdande tillåts från alla väderstreck menar EASA dessutom att drönares och eVTOL:s ljudpåverkan till sin omgivning kan optimeras.

Vidare innehåller EASA:s dokumentet rikligt med information om hur visuella hjälpmedel genom nya markeringar, färgkodningar och ljussignaler kan utformas. För denna studie beskrivs de relevanta visuella hjälpmedlen kortfattat i det kommande underavsnittet.

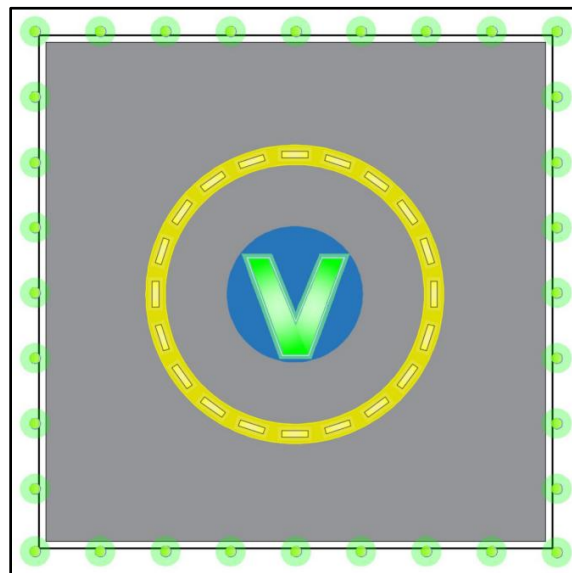
2.1.2 Visuella hjälpmedel

Den mest utmärkande, men kanske också den enklaste, skillnaden som föreslås av EASA (2022) och visas i figur 2-2a är att markera vertiporten med ett vitt "V" inuti en blå cirkel. Detta skiljer sig från helikopterplattans vita "H" (Transportstyrelsen, 2012). Gemensamt för dem båda är att bokstaven skall vara röd i stället för vit om landningsytan befinner sig i anknäring till sjukhus, se figur 2-2b.



Figur 2-2: Bokstavsmarkering för a) vertiport (EASA, 2022) b) helikopter (Region Västerbotten, 2018)

Vidare kan ljusindikatorer användas för att indikera om en vertiport är upphöjd från marken, vilken riktning in- respektive utträddande kan genomföras på ett säkert sätt och så vidare. I figur 2-3 visas ett förslag av flera gällande ljussignaler ifrån EASA:s dokument där de dessutom utförligt beskriver avstånd mellan ljuspunkter beroende på om individuella LED-strålkastare eller LED-slingor används.



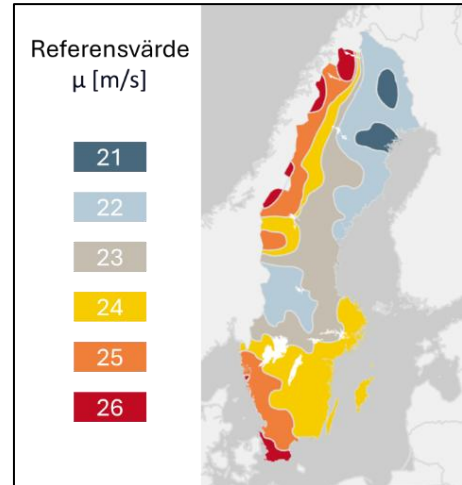
Figur 2-3: Potentiell placering av ljussignaler (EASA, 2022)

2.2 Påverkan av väder

För vertiports anses vindhastigheter ha en stor betydelse när det gäller hållfastheten och säkerheten (Ehk och Åberg, 2023), oavsett placering. Därtill spelar väta och korrosion en stor roll för livslängden hos material (Callister Jr och Rethwisch, 2016).

2.2.1 Risker med vindhastigheter

Förvaltningsmyndigheten Boverket har en interaktiv vindlastkarta (Boverket, 2025) där referensvärden på medelhastigheten μ redovisas och projiceras att återkomma en gång per 50 år, se figur 2-4. Dessa mätningar är utförda i intervaller om 10 minuter på 10 meters höjd och ger därmed en förhållandevis tillförlitlig fingervisning om att vindlasterna nationellt kan antas hålla sig inom ett smalt spann även framöver. Både medianen och medelvärdet av dessa nationella värden som visas i figuren ger ett referensvärde om 23,5 [m/s] när det gäller vindlaster, vilket enligt SMHI klassificeras som hård vind (SMHI, 2023). Stockholm, Göteborg och Malmö som anses vara de primära områdena som kan vara prioriterade för vertiports ligger alla över medelvärdet. Detta medför att vindlaster är av hög relevans för examenarbetets omfattning då fastsättningssystemet måste kunna stå emot höga krafter, om vind letar sig in i grundstommens konstruktion och sedermera försöker lyfta vertiportkonstruktionen. Naturligtvis måste vindlasterna på vertiporten analyseras mer noggrant där denna skall placeras, då vindlaster fluktuerar och stormbyar eller kastvindar kan vara mer eller mindre frekventa i det aktuella området.



Figur 2-4: Vindlastzoner

2.2.2 Luftmotståndskraft mot objekt

När det sker relativ rörelse mellan luftflöde och en kropp så uppstår en luftmotståndskraft (engelska: drag force). Storleken av luftmotståndskraften F_D beräknas enligt följande ekvation 2.1:

$$F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2 \quad (2.1)$$

Kraften F_D i ekvation 2.1 beror på den relativa hastigheten v , luftens densitet ρ , kroppens tvärsnittsarea A , och en experimentellt bestämd luftmotståndskoefficient C (Walker, Resnick och Halliday, 2014). Värden för luftmotståndskoefficienter för vanliga geometriska former går att avläsa i bilaga 1 (Hoerner, 1965).

2.2.3 Korrosionsrisker i fuktig miljö

Relativ fuktighet (Φ) är ett mått i procent som ”...beskriver mängden vattenånga i luften vid en viss temperatur i förhållande till den maximala mängden vattenånga vid samma temperatur.” (Wern, 2013, s. 16) och beskrivs i ekvation 2.2 (Wikipedia, u.å.). P_W är det aktuella blandningsförhållandet av vattenånga i den omgivande luften medan P_S är det mättade (saturated) blandningsförhållandet vid aktuell temperatur för mätningen.

$$\frac{P_W}{P_S} \times 100 = \phi \quad (2.2)$$

Vidare skriver Wern (2013) bland annat att den relativa fuktigheten är något högre i inlandet vintertid, samtidigt som andelen fukt ökar med sjunkande temperatur. Från samma rapport redovisas 148 738 mätningar i Helsingborg mellan åren 1996–2012 enligt tabell 2-1.

Tabell 2-1: Procent av tiden av relativ fuktighet vid olika temperaturer

Rel. Fukt. Temp.	15 %	25 %	35 %	45 %	55 %	65 %	75 %	85 %	95 %
30 °C	0.00	0.01	0.04	0.04	0.03	0.01			
25 °C	0.00	0.03	0.24	0.61	0.68	0.42	0.16	0.02	
20 °C	0.01	0.09	0.29	0.68	1.60	2.30	1.95	1.24	0.65
15 °C	0.01	0.07	0.31	0.60	1.51	2.82	4.40	5.97	5.64
10 °C	0.01	0.04	0.16	0.44	0.99	1.90	3.35	6.04	8.00
5 °C	0.00	0.04	0.08	0.27	0.60	1.25	2.85	7.12	11.01
0 °C		0.00	0.02	0.09	0.36	0.91	2.27	4.96	8.41
-5 °C			0.00	0.03	0.09	0.30	0.94	2.07	1.68
-10 °C					0.01	0.06	0.25	0.52	0.28
-15 °C							0.02	0.11	0.04
-20 °C							0.00	0.01	0.00

Gulmarkerade värden visar den vanligaste relativa fuktigheten vid en viss temperatur. 15% innebär spannet 10–20% och 25 °C innebär spannet 22,5–27,5 °C

Ovanstående tabell 2-1 i kombination med en rapport från SMHI (Schimanke m.fl., 2022) som menar på att medeltemperaturen i Sverige mellan åren 1990-2020 befann sig omkring 5 °C, resulterar i antagandet att den relativa fuktigheten i landet befinner sig allt som oftast >82,5 %.

Detta i sin tur pekar på att fastsättningssystemet inte bara behöver ta regn och dimma (förhållandevis rent vatten) i beaktning utan även snösmältning och saltvatten (vatten innehållandes diverse föroreningar). Då vertiports kommer vara en utomhuskonstruktion behöver riskerna som medföljer denna användningsmiljö, exempelvis rost och korrosion, elimineras – eller åtminstone minimeras.

2.3 Materialkandidater till fastsättningssystem

Då Stilfolds grundstomme består av återvunnen aluminium, analyseras i detta avsnitt kompatibla och lämpliga material med den metallen som utgångspunkt.

2.3.1 Aluminium

Då ingen aluminiumkvalitet angivits från Stilfold, fokuserar detta underavsnitt på tillgängliga data och information för *nyproducerat* aluminium och inte specifikt *återvunnet*. Även om aluminium anses oändligt återvinningsbart (RISE, u.å.), så spelar återvinningsprocessens renlighet stor roll. För att bibehålla aluminiumets egenskaper, behöver kontaminering från andra material undvikas.

Tabell 2-2: Materialegenskaper för aluminium (Callister Jr och Rethwisch, 2016)

E (GPa)	ν	G (GPa)
69	0,33	25

Aluminium är grundämne 13 i det periodiska systemet och karaktäriseras av sin låga densitet samt goda elektriska och värmeledningsförmåga. Aluminium som konstruktionsmaterial är däremot oftast en legering och består således av en liten mängd koppar, magnesium, kisel, mangan eller zink (Callister Jr och Rethwisch, 2016). Metallen har en stark oxiderande förmåga när den kommer i kontakt sin omgivande miljö och bildar ett tunt lager aluminiumoxid på sin yta som är väldigt korrosionsbeständigt. Detta gör aluminium till ett mycket lämpligt material vid utomhuskonstruktioner även om det inte är helt utan risker – vilket en forskargrupp i Japan undersökte.

2013 upptäcktes svår korrosion på flera broars skyddsräcken. Där hade skruvar och muttrar av stål använts till förmån för fästelement tillverkade av aluminium på grund av deras gynnsammare hållfasthetsegenskaper (Mrema, Itoh och Kaneko, 2019). Forskningsgruppen tillsatte två tidsbestämda experiment på ett respektive tre år, där 12 olika material och ytbehandlingar kombinerades. Dessa placerades utomhus och utsattes för regn, sol och salthavsstänk. Vid mätning av korrosionsdjup på aluminiumet för att kontrollera skadorna som uppstått användes laserscanning. Mätdata för respektive kombination plottades gemensamt i en graf så att jämförelser och slutsatser kunde dras. De fann (sammanfattningsvis) att...

- ...fästelement av rostfritt stål behandlade med ett ytskikt av zink som barriär för kontakt mot aluminiumet var det mest effektiva medlet.
- ...ett mellanskikt av vinylklorid (C_2H_3Cl) gav liknande effekt som det förstnämnda men mer forskning behövs innan ett definitivt utlåtande görs. Här går det också att argumentera för att det är ytterligare en komponent per genomgående hål, vilket i sig inte är särskilt kostnadseffektivt eller monteringsvänligt.
- ...undersidan av fästelementen – dit sol och vind inte nått i samma utsträckning – hade en högre grad av korrosion än ovansidan. Kan vara bra att ha i beaktning för *eventuella* fästelement som behövs för examensarbetets fastsättningslösning.

2.3.2 Rostfritt stål

Från föregående underavsnitt 2.3.1 framkommer det att fästelement av rostfritt stål är att föredra vid korrosiva utomhusapplikationer. Materialet är dessutom vanligt förekommande i medicinska användningar som proteser (Xu m.fl., 2024) och vid hantering av livsmedelsprodukter (Outokumpu, u.å) där kraven på sterilitet är mycket höga.

Via Svenska Institutet för Standarder (SiS, 2020) kan standarden EN ISO 3506-1, "Hållfasthetsföreskrifter för fästelement av korrosionsbeständigt rostfritt stål", hittas. Denna standard innehåller bland annat tydliga direktiv för vilka graderingar av rostfritt stål som är lämpliga att kombinera samt deras olika mekaniska egenskaper (se kapitel 7 i standarden). Där mekaniska fästelement behöver användas i fästsättningssystemet kommer standarden att användas för att hitta rimliga förslag.

2.3.3 Brandklassning

Då drönare är och eVTOLs kommer vara elektriskt drivna och utgöra fordonstyperna som använder vertiports, föreligger behovet av batteriladdning. Oavsett vilka material som kommer att presenteras senare i rapporten, måste deras brandegenskaper ha tagits i beaktning.

FSB Sverige som bland annat tillhandahåller beskrivningar, installationer och service gällande brandskydd, menar på att det "finns inga detaljerade riktlinjer vad gäller batteriladdning" (FSB, 2020). Boverkets allmänna föreskrifter (Sjælgren, 2021) å andra sidan hänvisar till delar av plan- och byggeförordningen (PBR, 2011:338), där antalet parkeringsplatser för markbundna fordon anges som en grund för att avgöra när och hur reglerna gäller. Vertiports skall dock hantera luftburna elfordon som beskrivet i avsnitt 2.1. Detta gör det mycket svårt att med säkerhet avgöra exakt vilka regler som behöver tas i beaktning vid utformandet av vertiports och som en följdverkan – utformandet av ett fästsättningssystem.

I boken *Bygga hus: Illustrerad bygglära* (Strandberg och Lavén, 2021) går författarna övergripande igenom kraven från Boverkets byggregler (BBR) längsta kapitel som är just brandskydd. Utöver verksamhets- och byggnadsklasser, som finns att läsa i bilaga 2, så redovisas material och produkter i sex huvudgrupper med tillhörande tilläggsklasser i tabell 2-3. Någon prioritet för verksamhets- och byggnadsklasser kommer denna rapport inte att beakta, då *placeringen* av vertiporten inte är en del av syftet men där komplexiteten för uppdraget önskas belysas.

Stilfolds grundstomme skall som beskrivet i inledningen till avsnitt 2.3, bestå av återvunnen aluminium. Metallen är att anse obrännbar då den faller inom kategorin A1 i tabell 2-3.

Tabell 2-3: Materialklasser. Aluminium anses klassas A1 likt stål

Huvudklass	Rökklass	Droppklass	Egenskap	Exempel på material
A1			Obrännbart	Betong, tegel, glas, metall
A2	s1, s2, 23	d0, d1, d2	Obrännbart	Obehandlad eller målad gipsskiva, mineralull
B	s1, s2, 23	d0, d1, d2	Brännbart	Träullsplattor
C	s1, s2, 23	d0, d1, d2	Brännbart	Gipsskiva med papperstapet, brandskyddsmålad spånskiva
D	s1, s2, 23	d0, d1, d2	Brännbart	MDF-board, obehandlad träpanel
E			Brännbart	

2.4 Fogningsmetoder

Avsnittet beskriver utforskandet av olika fogningsmetoder som tas i beaktning vid konceptgenereringen i kapitel 6.

2.4.1 Skruvförband

Skruben är ett av de vanligaste maskinelementen och betraktas som ett moget maskinelement (Olsson, 2015). För att ett skruvförband ska fungera krävs att man borrar ett genomgående hål i de delar som ska fästas ihop, samt skapa gängor för skruven att klämma ihop delarna. Det senare kan ske med hjälp av en lös mutter, en fastsatt blindnitmutter eller att det genomgående hålet självt gängas förutsatt att det finns tillräckligt med gods för detta. Eftersom borrning av hål innebär att en del material avlägsnas minskar den del av materialet som kan potentiellt bära last. Detta försvagar den sammanfogade strukturen. Om hålplacering sker vid exempelvis en bockningsradie, som redan är påverkad av hög stresskoncentrationer (Jarfors, 2006), kommer risken för sprickbildning vid belastning att öka.

2.4.2 Svetsning

Svetsning är en permanent fogningsmetod för att sammanfoga komponenter, med eller utan ett tillsatsmaterial. Genom en lokal upphettning så smälts komponenterna ihop, vilket kan uppnå god hållfasthet för ihopsättning. Metoden används huvudsakligen på stål och aluminium, där stål är det vanligaste. På grund av den höga temperaturen som förekommer vid svetsning kan området omkring den svetsade ytan få försämrade hållfasthetsegenskaper. Detta då de höga temperaturerna leder till korntillväxt i materialet (Jarfors, 2006).

2.4.3 Självhäftande fästelement

Tejpbaserade lösningar för ihopsättning av komponenter kan vara en lämplig lösning då det varken förutsätter hål i komponenten vid användning av skruv, eller upphettning vid användning av svetsning. Monteringstiden blir därmed mindre i och med färre processteg. För att tejp ska

vara effektiv krävs större ytor där tejp kan appliceras. Beroende på hållfasthetskrav, kemiska krav, vattentålighet, så existerar flera olika tejplösningar med olika styrkor och egenskaper. Exempelvis tejplösningarna 3M VHB (*Very High Bond*) är vattentålig, tål upp mot 480 kPa i dragspänning mot en aluminiumyta samt tål höga temperaturer under en begränsad tid (3M, u.å).

Limning är ett annat exempel på självhäftande fästelement som utmärks bland annat av dess lätta vikt, resistens mot utmattning samtidigt som den har ljud- och vibrationsdämpande egenskaper. Andra fördelar är möjligheterna att binda samman olika materialtyper med irreguljära ytor eller komplicerade former (Ring Groth, 2001). Nackdelarna med limning å andra sidan är att det ställs väldigt höga krav på renlighet och då det oftast är en flytande komponent, kan appliceringen vara väldigt avancerad. Skillnader i exempelvis geometri, en triangelformad limsträng kontra en platt limsträng, kommer resultera i differenser både i härdningstid och vidhäftningsförmåga. En rapport från Miljöinstitutet gällande PUR-limning av bilglasrutor (Antonsson, Ancker och Christensson, 2002) visar vidare på att varken montering eller demontering är helt riskfritt, då isocyanater från denna typ av lim frisläpps och kan vara skadligt för hälsan.

2.5 Konceptsållningsmatris

Då frågeställning 2 och 3 innefattar utveckling av olika fastsättningslösningar medföljer konceptgenerering och konceptsållning för att välja vilket koncept som skall vidareutvecklas. För detta användes en konceptsållningsmatris som beskrivs av Ulrich och Eppinger (Ulrich och Eppinger, 2016). Konceptsållningsmatrisen, baserad på *Pughs konceptvalsmatris*, är en metod som har använts länge och resulterar i bättre designresultat i jämförelse med andra enkla konceptvalsmetoder (Frey m.fl., 2009). Konceptsållningsmetoden inleds med att definiera de viktiga egenskaper och krav för koncepten (urvalskriterier) där ett koncept utses som referens följt av att övriga koncept jämförs mot detta baserat på varje egenskap. Koncepten rangordnas för val av bästa koncept för vidareutveckling (Ulrich och Eppinger, 2016). Upplägget av en typisk Pughs matris går att se enligt figur 2-5.

Selection Criteria	Concepts						
	A Master Cylinder	B Rubber Brake	C Ratchet	D (Reference) Plunge Stop	E Swash Ring	F Lever Set	G Dial Screw
Ease of handling	0	0	–	0	0	–	–
Ease of use	0	–	–	0	0	+	0
Readability of settings	0	0	+	0	+	0	+
Dose metering accuracy	0	0	0	0	–	0	0
Durability	0	0	0	0	0	+	0
Ease of manufacture	+	–	–	0	0	–	0
Portability	+	+	0	0	+	0	0
Sum +’s	2	1	1	0	2	2	1
Sum 0’s	5	4	3	7	4	3	5
Sum –’s	0	2	3	0	1	2	1
Net Score	2	–1	–2	0	1	0	0
Rank	1	6	7	3	2	3	3
Continue?	Yes	No	No	Combine	Yes	Combine	Revise

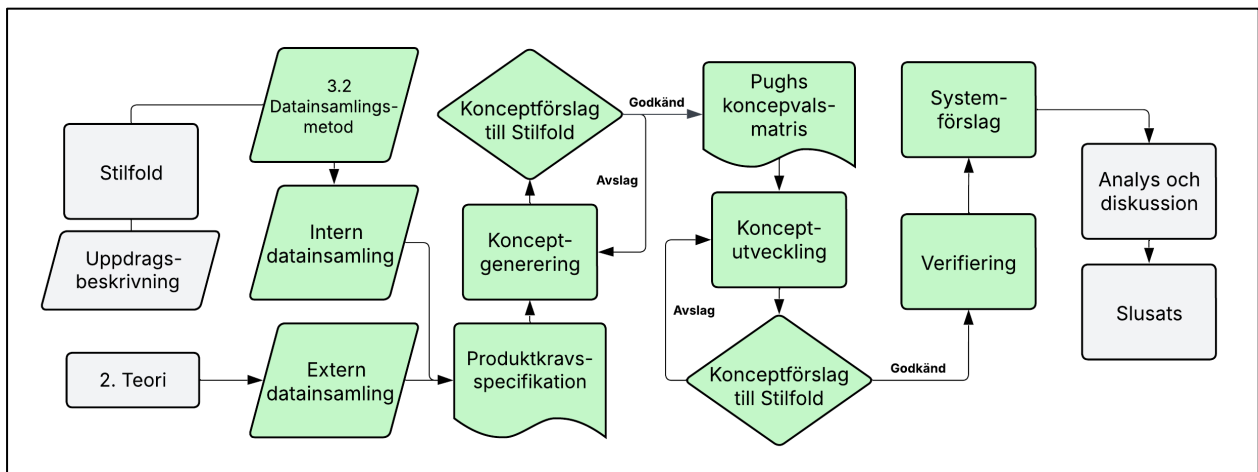
Figur 2-5: Exempel på en utförd konceptsållningsmatris (Ulrich och Eppinger, 2016)

3 Metod

Kapitlet beskriver de metoder som användes för att besvara rapportens frågeställningar. Ordningsföljden av arbetet, datainsamlingsmetoder och -analys, validitet och reliabilitet av dessa samt de etiska ställningstagandena som gjort under processen beskrivs.

3.1 Design av studien

I figur 3-1 visualiseras arbetsprocessen som utformade rapportens struktur och innehåll. Gröna symboler syftar till steg 2 (av 6) i produktutvecklingsprocessen (Ulrich och Eppinger, 2016) och hur delar av detta steg användes för att besvara syfte och frågeställningar. Övrigt arbete som genomfördes, särskilt från produktutvecklingsprocessen genom sin gråa ifyllnad och markerar ändpunkterna för omfattningen av examensarbetet. Datainsamling utfördes och analyserades vilket ledde till en produktkravspecifikation som utgjorde underlaget till konceptsallningsmatrisen. Från denna vidareutvecklades lovande koncept iterativt tillsammans med uppdragsgivaren Stilfold tills de uppfyllde produktkravspecifikationen och verifierades. Det slutliga konceptet sammanställdes därefter till en digital prototyp i form av en CAD-modell med materialval som resultat, innan en tolkning av resultatet avslutningsvis genomfördes.



Figur 3-1: Processteg i examensarbetet

3.2 Datainsamlingsmetod

Utomhuskonstruktioner är ett väletablerat område där flertalet metoder och tekniker existerar för de flesta applikationer. Däremot var denna studies syfte outforskat vilket ledde till att dess metoder präglades av en explorativ karaktär (Säfsten och Gustavsson, 2019), primärt genom digital formgivning med hjälp av filer på Stilfolds grundstomme.

3.2.1 Litteraturstudier

Studiens teoretiska innehåll grundade sig i en litteraturstudie som genomfördes inför koncept-utvecklingsprocessen och utgörs av kapitel 2, se även figur 3-1. Då vertiports inte hade några

konkreta konstruktionsregler, låg fokuset i stället på materialval och hur detta behövde beaktas för att hantera omväxlande utomhusmiljöer.

3.2.2 Intervjuer

Under studien genomfördes uppföljningsmöten med Stilfold, digitalt via Microsoft Teams eller på plats hos företaget, med högst två veckors mellanrum i formen av ostrukturerade intervjuer. Mötenas syfte var att skapa en kontinuerlig dialog där bland annat kvalitativa data erhöles för framtagandet av kravspecifikationer och framtagna koncept granskades. Detta så att en samstämmighet kunde nås gällande studiens innehåll och relevans för företagets behov och fortsatta produktutveckling.

3.2.3 Dokumentstudier

För att skapa en djupare förståelse kring studiens utmaningar genomfördes en dokumentstudie genom granskning av Stilfolds CAD-filer för deras konceptuella grundstomme. Denna insamlade data omfattade gränssnittet mellan grundstomme-landningsyta och dess proportioner då inget ritningsunderlag fanns tillgängligt.

3.2.4 Verifiering av fästelement

Efter konceptgenerering och fastslaget primärt fästelement, genomfördes praktiska mätningar och teoretiska beräkningar som jämfördes med simulerade värden från förstudien i avsnitt 4.3. Detta för att verifiera om fästelementet var lämpligt för att uppfylla studiens syfte.

3.3 Dataanalys

För den data och information som samlades in genom metoderna beskrivna i avsnitt 3.2 genomfördes olika varianter av dataanalys för att bearbeta den insamlade informationen till att besvara frågeställningarna.

3.3.1 Dataanalys för metoder till frågeställning 1

Till denna frågeställning låg tyngdpunkten i att beakta krav och riktlinjer för fästelement som har beskrivits i underavsnitt 2.3.2. Rätt fästelement på rätt plats och i rimlig kvantitet är väsentliga kriterier för att klara de olika påfrestningarna som lyfts i avsnitt 2.2 och 2.3. Utifrån den insamlade data från intervjuer och litteraturstudier utformades kundbehov som därefter tolkades till produktkrav genom en produktkravsspecifikation. Denna användes för att besvara frågeställning 1.

3.3.2 Dataanalys för metoder till frågeställning 2 och 3

Dataanalys för den andra frågeställningen – ”hur kan en fastsättningslösning mellan Stilfolds grundstomme och landningsyta designas?” – bestod av att bearbeta de olika koncepten som genererades under datainsamlingen. De olika koncepten konstruerades i CAD-format och FEM-analys genomfördes för att samla data över konceptens hållfasthetsegenskaper. En produktkravspecifikation utformades från datainsamlingen som definierade viktiga egenskaper

för koncepten. Denna användes sedan i konceptsällningsmatrisen vilket resulterade i ett vinnande koncept för vidareutveckling.

Vidareutvecklingen utfördes genom att iterativa förbättringar utifrån produktkravsspecifikation och feedback från uppdragsgivare Stilfold. Om kraven inte var uppfyllda jämfördes designen före och efter, för att avgöra om ändringen förbättrade eller försämrade resultatet. Om resultatet förbättrades fortsatte den iterativa utvecklingen med ändringen, medan konceptet återställdes till den tidigare iterationen om resultatet försämrades. Då konceptet uppfyllde kraven av produktkravspecifikationen diskuterades resultatet med Stilfold för synpunkter, vilket slutligen resulterade i ett slutgiltigt lösningsförslag. På samma sätt som beskrivits upprepades arbetsprocessen för att besvara frågeställning 3 – ”hur kan en fastsättningslösning mellan vertiportens moduler designas?”.

3.4 Validitet och reliabilitet

Rapportens validitet är väsentlig för att styrka dess innehåll och värde gentemot Stilfold, då studiens syfte hade en specifik karaktär genom att den riktade sig mot uppdragsgivarens unika behov. En stor del av arbetet genomfördes i konceptgenereringen vilket satte höga krav på korrekt definierade kravspecifikationer, som granskades genom intervjuer på företaget. Triangulering av datainsamlingen, som ska resultera i likvärdig data när olika källor använts (Säfsten och Gustavsson, 2019), genomfördes vid löpande möten med Stilfold. Regelbunden översyn av dokumentstudierna och en verifiering av slutresultatet som tillsammans bidrar till en ökad tillförlitlighet.

Reliabiliteten stärks genom en tydlig metodbeskrivning för att möjliggöra ett upprepande av studien och få liknande resultat. Transparens och tydlighet vid beräkningar och simuleringar, med tydligt definierade parametrar, kommer vara den viktigaste åtgärden för att säkerställa upprepbarhet. Metoder som konceptgenerering och konceptsällning är kreativa respektive intuitionsstyrda, något som begränsar att samma design uppnås som resultat vid utförandet av metoden.

3.5 Etiska ställningstaganden

Detta examensarbete är utfört av författare som inte har något egenintresse i resultatet av arbetet. Allt arbete har utförts på ett objektiva och transparent tillvägagångssätt där det är applicerbart. En åtgärd var att tydligt motivera poängsättningen som utfördes vid avsnitt 7.1, för att påvisa en rättvis och systematisk utvärdering.

Stilfold har visionen att vara föregångare för en grönare framtid genom innovativ design och tillverkningsprocesser, med det egenuttalade uppdraget att transformera industriell tillverkning för att minska klimatavtryck och ökad effektivisering (Stilfold, u.å.). Genom att medverka i produktutvecklingsprocessen för vertiports, kommer studiens innehåll på ett (förhoppningsvis) positivt sätt bidra till företagets syfte genom att främja möjligheterna till en grön transformation inom transportsektorn.

Stilfold har under intervjuer nämnt att drönarplattformen kan användas till militärt syfte. Författarnas ställningstagande är att de arbetat med fokus på civila och samhällsnyttiga användningsområden, men att tekniken kan vidareutvecklas för militär användning har beaktats genom att reflektera över risken och hur plattformen kan användas.

Tydlig kommunikation med Stilfold över konfidentiell information har genomförts för att hantera vad som får ingå i rapporten och vad som är sekretessbelagt. Ingen konfidentiell eller företagskänslig information har tagits med i rapporten utan godkännande.

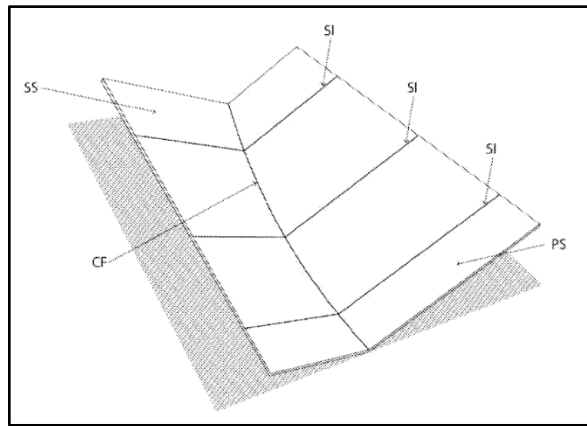
4 Förstudie

Projektet iPOD utforskar nya tillverkningsmetoder och applikationer genom Stilfolds patenterade kurvbockningsteknik. Således beskrivs i detta kapitel tekniken kortfattat och deras konstruktion som skall utgöra den mest kraftbärande komponenten i projektet.

4.1 Stilfold

Stilfold är ett svenskt teknik- och designföretag grundat år 2020 av Tue Beijer och Jonas Nyvang och har sitt säte i Nacka Strand, Stockholm. Företaget har patenterat sin tillverkningsmetod (SE545199C2 (PRV, 2023)) som internt kallas kurvbockning.

Metoden bygger på att metallplåt formas genom att ett hjul med varierbar kraft pressar plåten ovanifrån samtidigt som två stödhjul verkar underifrån. Principen liknar den traditionella metallformningstekniken som utförs med hjälp av ett engelskt hjul (Huang m.fl., 2023), skillnaden är att Stilfolds metod tillåter justering av vinkeln mellan stödhjulen. Detta ger en kombination av drag- och tryckspänningar i plåten på vardera sida av den bockade kanten, vilket möjliggör böjda geometrier som inte kan åstadkommas med traditionell bockningsteknik vilket syns i figur 4-1.

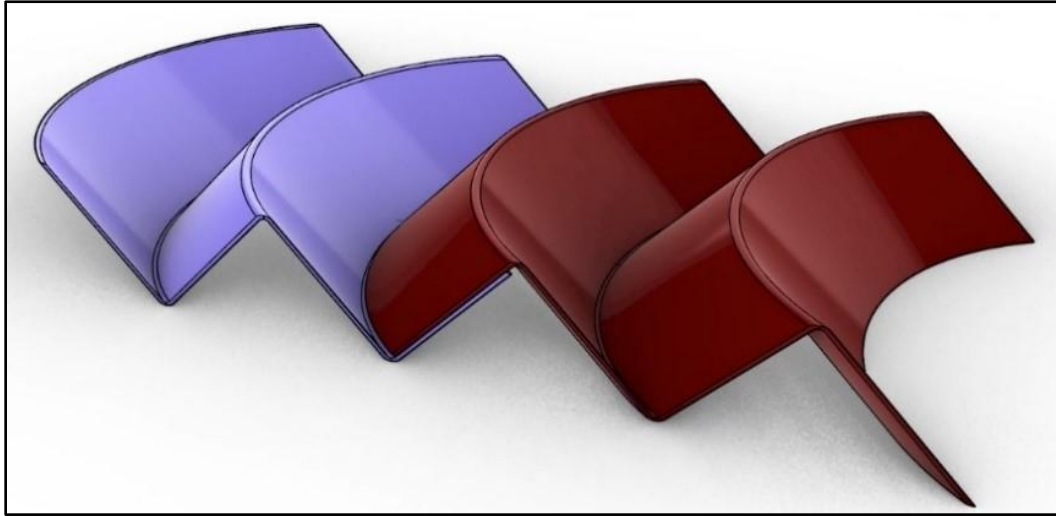


Figur 4-1: Patentbild 4 (av 5) från SE545199C2

Ena halvan längs den bockade kanten får en konvex form medan den andra får en konkav form, vilket tydliggörs av grundstommens innovativa struktur i figur 4-2 och 4-3.

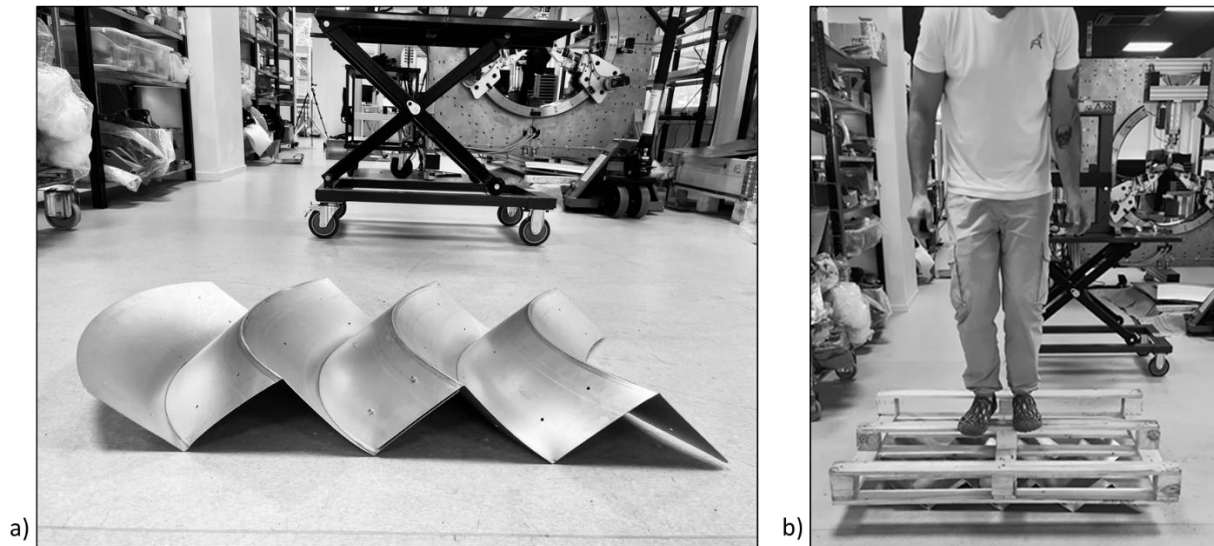
4.2 Underlag från Stilfold

Stilfold har bidragit med filer och bildmaterial som använts under arbetet för konceptgenerering och design. Renderingen i figur 4-2 visar hur två kurvbockade plåtar (förtydligade med olika färger) är tänkta att sitta ihop. Utformningen på plåtarna är identiska, skillnaden i figuren är att den ena är vänd upp och ned. Den *överlappande* plåtytan är designad något kortare än resterande ytor vilket gör att vardera plåts "topp" respektive "dal" linjerar horisontellt. Vidare är det också mellan dessa ytor som Stilfold själva i detta stadie planerat att fästa samman de två kurvbockade plåtarna som utgör 50% av en grundstomme.



Figur 4-2: Två kurvbockade plåtar till grundstomme från Stilfold

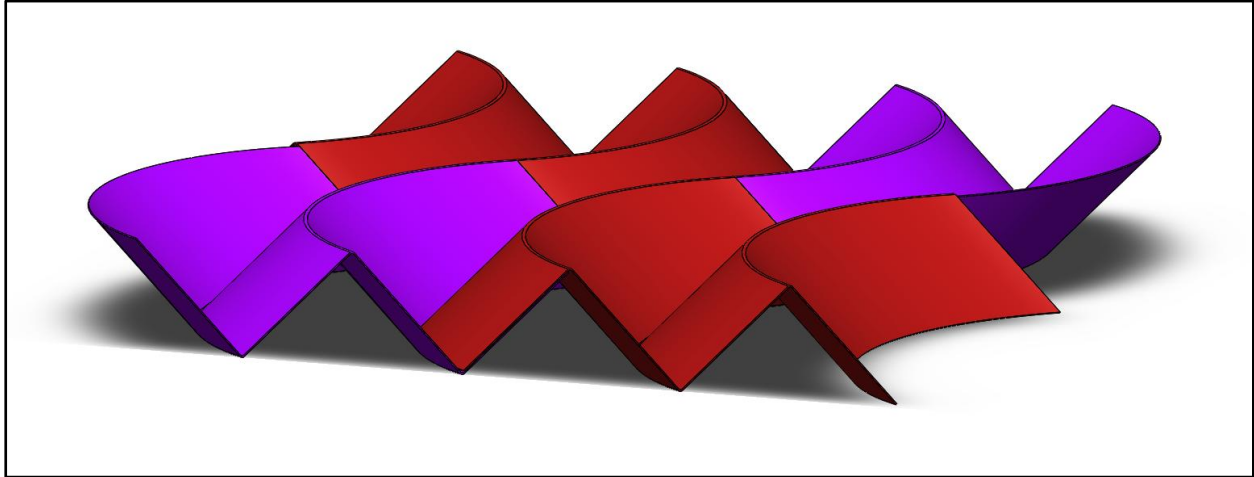
I figur 4-3a visas en första fysisk prototyp där två aluminiumplåtar med en tjocklek av 1,5 mm användes och som sattes samman med skruv och mutter, vilket ger måtten 1000x500x125 mm (LxBxH) med en massa lägre än 3 kg. För att påvisa konstruktionens robusthet placerades en provisorisk landningsyta uppe på grundstommen och vertikal kraft genom persontyngd applicerades statiskt (stillastående) och dynamiskt (hoppande) på aluminiumplåtarna enligt figur 4-3b.



Figur 4-3: a) Sidvy av två ihopskruvade plåtar b) Ögonblicksbild av fysisk provning

En viss fjädrande effekt kunde ses vid dynamisk last då grundstommen vid testet inte på något sätt var förankrat i golvet den placerats på. Konstruktionen extraherades och kontraherades längsledes (åt höger och vänster i figur 4-3a) men återgick till sin ursprungliga form när lasten togs bort.

Med en prototyp som initialt visat sig fungera praktiskt sattes 4 kurvbockade plåtar ihop för att bilda en fullständig grundstomme som kommer användas för en modul, enligt figur 4-4 där de individuella plåtarna är färglagda för lättare urskiljning. Måtten för en grundstomme, för en modul, är därmed 1000x1000x125 mm (LxBxH). Dessa mått och denna form kommer utnyttjas för dimensionering av fastsättningslösningar.



Figur 4-4: Grundstomme för en modul bestående av fyra kurvbockade plåtar av Stilfold

4.3 Luftdragkraft

En risk gällande landningsytan och vind uppmärksammades. Vind kan orsaka en kraft som får landningsytan att glida av grundstommen. Lösningen för fastsättning mellan grundstomme och landningsyta ansvarar för att överkomma denna risk. En luftdragkraft beräknades med två metoder, ekvation 2.1 utnyttjades för att beräkna en kraft, vilket sedan även simulerades med SolidWorks inbyggda funktion, *SolidWorks Fluid Simulation*, för att undersöka om resultatet från ekvationen var rimligt.

För att beräkna det värsta utfallet av luftdragkraft valdes riktningen av vinden vinkelrät underifrån landningsytan. Gränssnittet för landningsytan är i den situationen kvadratisk, vilket enligt bilaga 1 innebär att luftmotsståndskoefficienten för landningsytan är 1.05. I teoriavsnitt 2.1 om vindhastighet i Sverige redovisas det högsta referensvärdet av vindhastighet till 26m/s. Arealen av en landningsyta är 1 m². Densiteten av luft antogs vara 1.21 kg / m³ (Walker, Resnick och Halliday, 2014). Insättning av dessa värden i ekvation 2.1 ger följande,

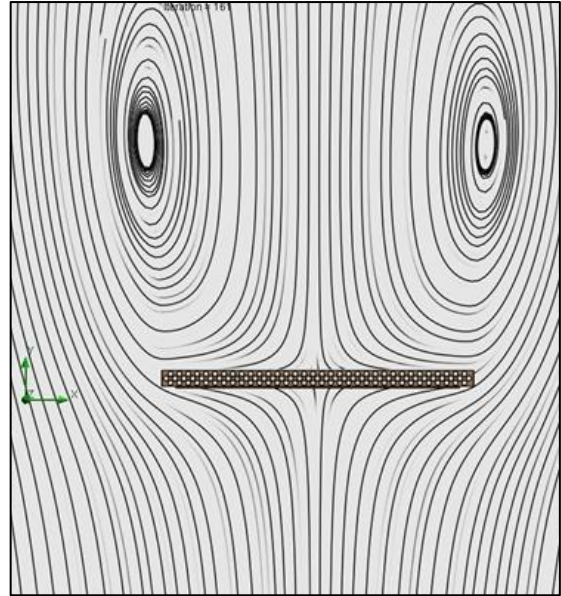
$$F_D = \frac{1}{2} \times 1,05 \times \frac{1,21 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 1 \text{ m}^2 \times \left(\frac{26 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2 \cong 430 \text{ N} \quad (4.1)$$

Då landningsytan är en platta, så är formen ett mellanting av en kub och en tvådimensionell kvadrat. Luftmotsståndskoefficienten är i verkligheten mellan 1.05 av en kub och 2.05 av en

tvådimensionell kvadrat, enligt bilaga 1. En luftmotståndskoefficient på 2.05 ger därmed ett övre gränsvärde på luftdragkraften genom insättning av samma värden i ekvation 2.1,

$$F_D = \frac{1}{2} \times 2,05 \times \frac{1,21 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 1 \text{ m}^2 \times \left(\frac{26 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2 \cong 840 \text{ N} \quad (4.2)$$

För en platta bör kraften hamna inom ett intervall av 430N och 840N enligt produkt av beräkning 4.1 respektive 4.2. *SolidWorks Fluid Simulation* användes för att approximera ett noggrannare värde. Givna parametrar var en kvadratmeter stor kvadratisk platta av aluminium, 55mm tjock. Simuleringen resulterade i en kraft på 520 N fördelad över landningsytan vilket faller inom det teoretiska intervallet beräknat med ekvation 2.1. Ett tvärsnitt av luftens rörelse går att se i figur 4-5.



Figur 4-5: *SolidWorks Fluid Simulation* på 1 m² landningsyta

5 Kravspecifikationer

För att kunna presentera relevanta koncept, behövs ett ramverk att utgå ifrån. I detta kapitel specificeras kundbehoven som tolkades och en produktkravsspecifikation togs fram inför konceptgenerering.

5.1 Kundbehov

Då vertiports som tidigare nämnts ännu befinner sig i sin linda är fullt definierade krav svårt att precisera. I tabell 5-1 redovisas en sammanställning av de kundbehov som gavs från uppdragsgivaren efter att frågor ställts i samband med intervjutillfälle. Dessa kundutlåtanden tolkades därefter till kundbehov.

Tabell 5-1: Tolkade kundbehov

Nr	Fråga	Kundutlåtande	Tolkat behov
1	Hur stora skall modulerna vara?	Ytarea som är mindre eller lika med 1x1 meter (1 m ²).	Modulernas yttersta mått skall vara max 1x1 meter.
2	Hur ska modulerna monteras ihop?	Prefabricering av moduler i fabrik, ihopsättning av moduler på slutposition.	En del av monteringen ska ske i fabrik för att underlätta montering på slutposition.
3	Hur viktigt är det att modulerna går att stapla volymeffektivt vid transport?	Ganska viktigt, kompakt konstruktion är att föredra av miljö- och kostnadsskäl.	Fastsättningssystemet får inte ha en skrymmande form och/eller storlek.
4	Vilket material bör landningsytan bestå av?	Ett lämpligt material, så länge brandskyddsregler följs och hållfastheten klaras.	Boverkets byggregler skall uppnås.
5	Inom vilka miljöer kommer vertiporten användas?	Olika miljöer. Tak i stadsmiljöer, öppna ytor av varierande underlag, vid hav respektive inland etc.	Materialen till fastsättningssystem skall vara robusta.
6	Hur viktigt är det att modulerna är lätta att montera på slutposition?	Viktigt! Modulerna bör kunna flyttas och fästas samman enkelt för hand av ett fåtal personer.	Enkla och få fästelement är att föredra.
7	Hur viktigt är det att modulerna är lätta att demontera från slutposition?	Vid militär applikation är det mycket viktigt då snabba förflyttningar är ett måste. Vid civil applikation är snabbhet sekundärt, men bör vara fortsatt enkelt.	Enkla och få fästelement är att föredra.
8	Hur stor betydelse är möjligheten att återvinna vertiporten för er?	Ganska stor. Då vi arbetar med återvunnet aluminium till grundstommen finns det ett värde i att vertiporten på nytt går att återvinna.	Vid utjänad användning skall vertiportens alla delar och komponenter återvinnas.

5.2 Produktkrav

När kundbehoven antecknats och tolkningen av dessa genomförts, kunde en produktkravspecifikation tas fram. Mätbara eller fasta värden saknas varpå en förhållandevis öppen tolkning tilläts. Denna tolkning visas i tabell 5-2.

Tabell 5-2: Produktkravspecifikation

Produktkrav	Kundutlåtande	Egenskap
1a	1	Modulernas yttersta mått skall vara max 1x1 meter.
1b	1	Fastsättningssystemet skall tillåta skalbarhet.
2a	2	Antalet monteringssteg i prefabricering skall vara max 10 [st]
2b	2	Montering vid slutposition ska innefatta ≤ 20 [st] komponenter.
3a	3	Landningsytan och dess fastsättningslösning bör bygga max 100 [mm] i Z-led.
3b	3	Fastsättningssystem och eventuella fästelement skall kunna fraktas volymeffektivt i rektangulära kartonger/lådor.
4a	4	Landningsytan skall klara brandskyddsreglerna från BBR*
4b	4	Landningsytan skall tåla belastning, hantering och användning av luftfordon.
4c	4	Landningsytan skall inte ge upphov till galvanisk korrosion.
5a	5	Olika typer av nederbörd skall kunna hanteras av fastsättningssystemet.
5b	5	Vindkrafter ≤ 520 [N] skall kunna hanteras av fastsättningssystemet.
6	6	Antalet monteringssteg i slutposition skall vara max 10 [st]
7	7	Tiden att demontera en modul i slutposition skall vara max 60 [s]
8	7,8	Fastsättningssystemets olika komponenter skall kunna demonteras och rengöras.

*Boverkets byggregler

6 Konceptgenerering

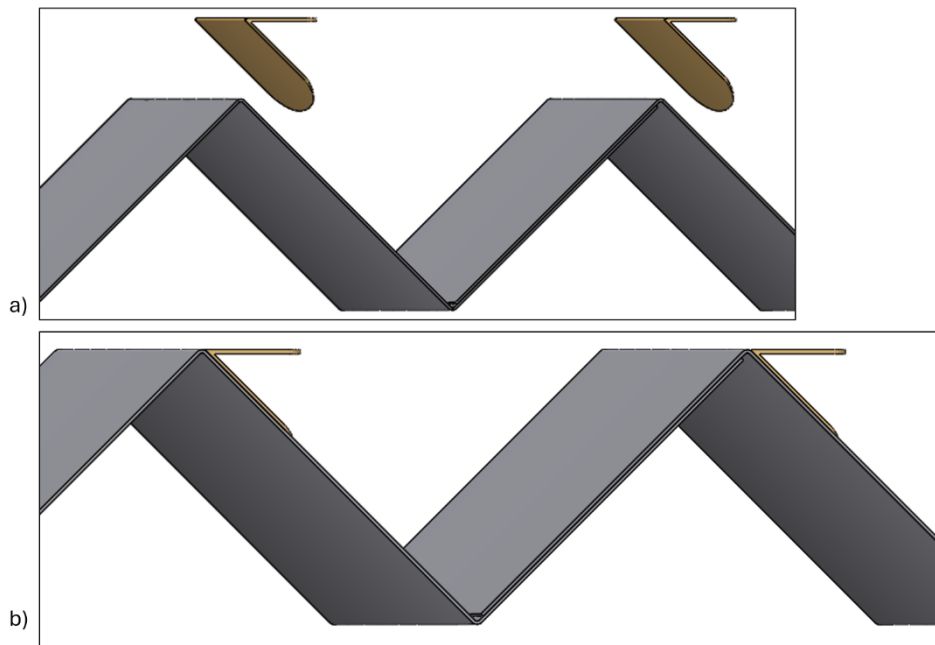
I detta kapitel redovisas resultatet av konceptgenereringen som kommer utnyttjas till att besvara frågeställning 2 och 3. Idéer för fastsättningslösningar mellan grundstommen och landningsytan (frågeställning 2) samt mellan moduler (frågeställning 3). Det som betraktats och visualiserats är konceptens funktionalitet så att de kan användas i nästa kapitel 7, konceptval, för vidare analys.

6.1 Koncept för fastsättning mellan landningsyta och grundstomme

I detta avsnitt presenteras tre olika koncept för att adressera frågeställning 2. Samtliga koncept delar samma funktion, fastsättning av den kurvade grundstommen och den plana landningsytan. Koncepten möjliggör användningen av olika fästelement, vilket kommer utvärderas i nästa kapitel 7.

6.1.1 Koncept 1 – Mellanliggande plåtdetalj

Koncept 1, mellanliggande plåtdetalj, består av en plåtdetalj placerad mellan grundstommen och landningsytan enligt figur 6-1. Konceptet utgår från att möta den kurvade ytan från grundstommen och den plana landningsytan. Det leder till ett stort gränssnitt, vilket möjliggör användning av tejp eller lim som fästelement. Genom lämplig placering av hål på landningsyta, grundstomme och plåtdetalj kan fästelement så som skruv- och mutterförband vara ett alternativ för hopsättning. Om modulen inte behöver tas isär så är svetsning ett alternativ.

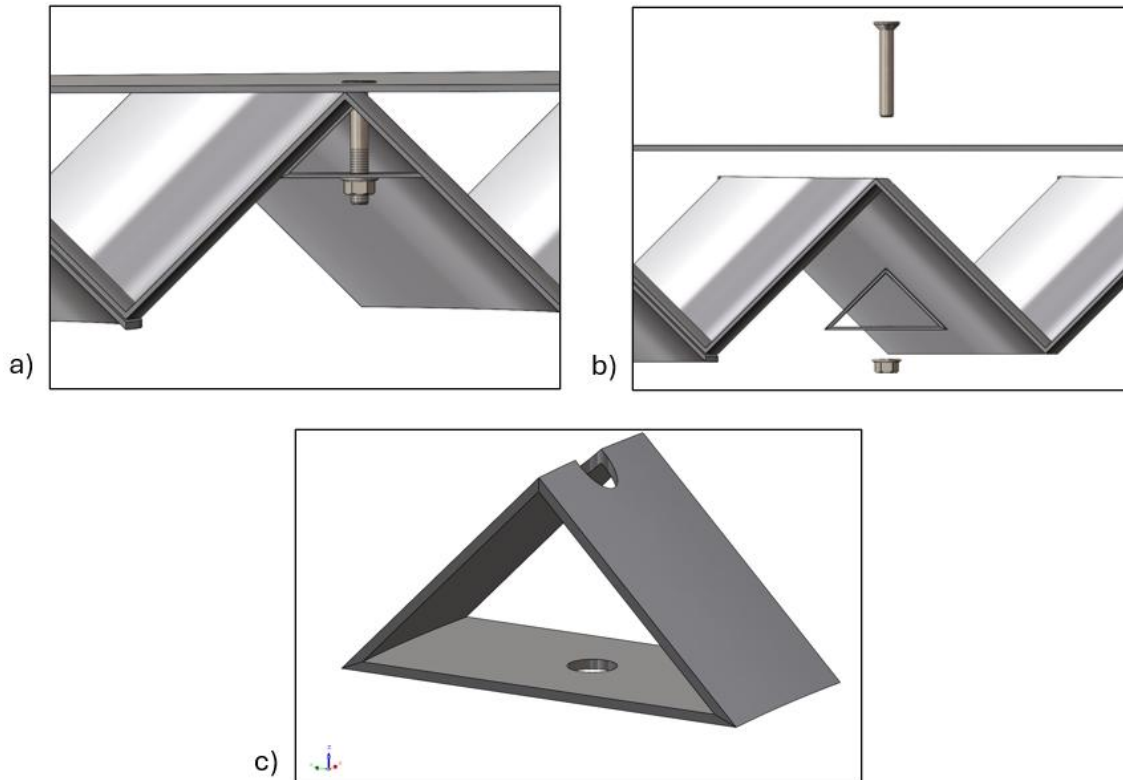


Figur 6-1: Mellanliggande plåtdetalj mot grundstomme, a) exploderad vy b) ihopsatt vy

Konceptets form behöver vara kurvad enligt grundstommens gränssnitt. Ett annat alternativ är att låta ytan som möter grundstommen vara plan, för att sedan låta plåtdetaljen deformera när om skruvförband används för att pressa ihop ytorna. Alternativt kan tejp användas, vilket kan fylla utrymmet mellan den kurvade grundstommen och den plana plåtdetaljen.

6.1.2 Koncept 2 – Undre triangulär plåtdetalj

Konceptets funktion skiljer sig från koncept 1 genom att placeringen av plåtdetaljen blir under både landningsytan och grundstommen enligt figur 6-2. Konceptet bygger på att landningsytan och plåtdetaljen hålls ihop med ett skruv- och mutterförband. Sidorna av plåtdetaljen ska följa det kurvade gränssnittet av grundstommen. Konceptet kräver ett hål i den bockade kanten av grundstommen och landningsytan.

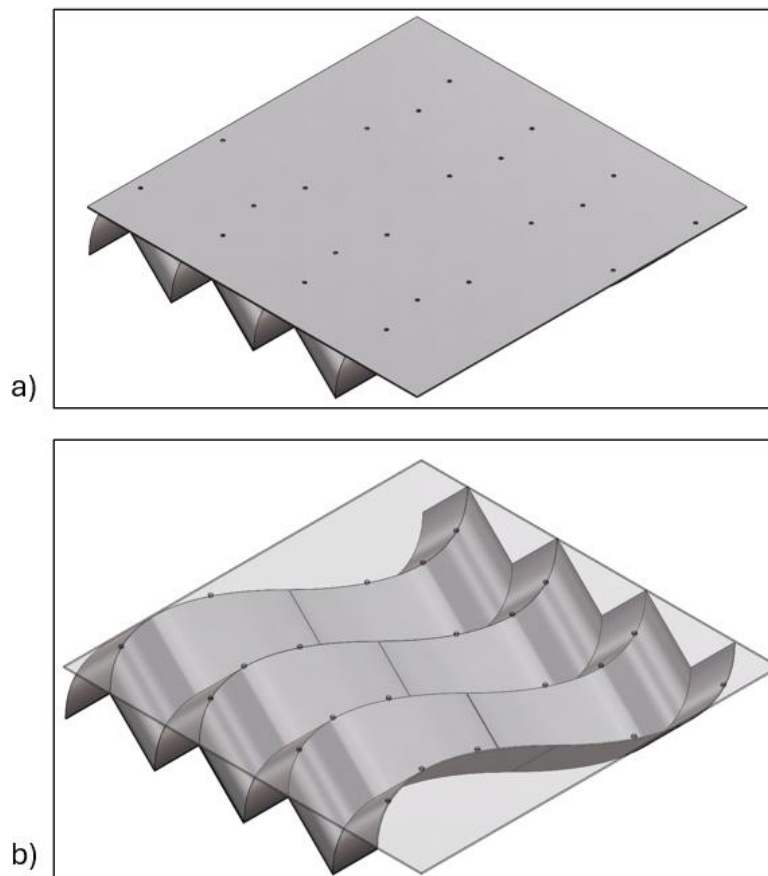


Figur 6-2: a) fastsättningskoncept 2 sidvy ihopsatt b) fastsättningskoncept 2 sidvy isär c) isolerad plåtdetalj

Koncept 2 har en form som liknar en likbent triangel och behöver vara kurvad enligt grundstommens gränssnitt, se figur 6-2c. Detta kan utföras genom att utnyttja Stilfolds teknik och först kurvbocka en plåt till ett "V" utifrån gränssnittet. Därefter fästs den underliggande plana plåtbiten genom förslagsvis svetsning. Konceptet, om utvald, kräver vidareutveckling utifrån tillverkningsbegränsningar som bockningsradier i stället för de vassa kanterna som i figur 6-2c.

6.1.3 Koncept 3 – Direkt fastsättning

Koncept 3 är att undvika en extra detalj, som koncept 1 och 2, genom att i stället fästa landningsytan direkt på grundstommen. Figur 6-3 är en idé av hur lösningen kan ske genom punktsvetsning. Genom att placera hål utifrån grundstommens kontaktyta med landningsytan kan svetsning med enkelhet ske ovanifrån. Ett annat alternativ är att utnyttja skruvar genom placering av motsvarande hål i grundstommen. Hålen i grundstommen kan vara gängade eller så behövs muttrar på motsatt sida av grundstommen. Ett ytterligare alternativ är att utnyttja dubbelhäftande tejp på kontaktytan mellan landningsytan och grundstommen.



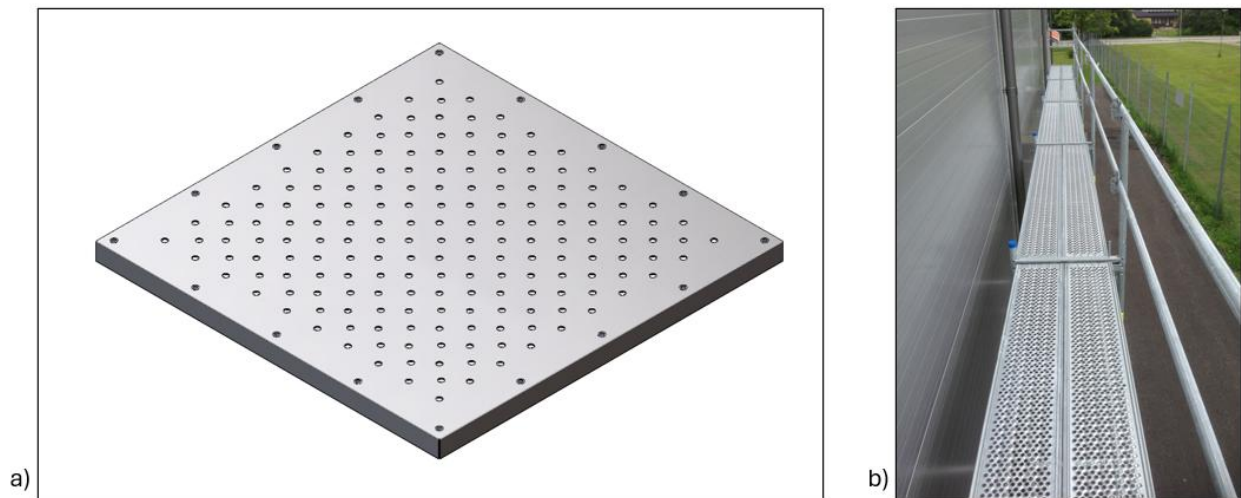
Figur 6-3: a) Isometrisk vy av punktsvets b) Med transparent landningsyta

6.2 Koncept för fastsättning mellan moduler

Följande avsnitt innehåller resultatet från den konceptgenerering som utförts åt frågeställning 3, konceptens funktion är att lösa fastsättningen mellan olika moduler.

6.2.1 Koncept 4 – Kvadratisk landningsyta

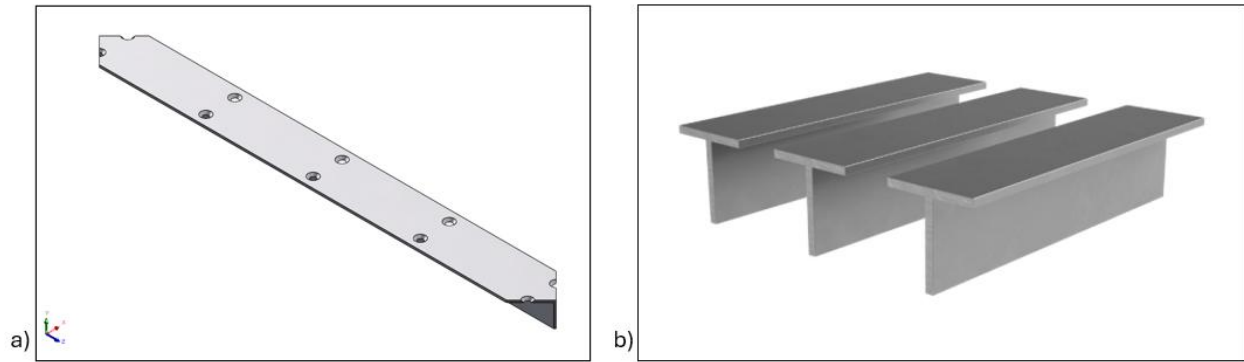
Konceptförslaget består av en kvadratisk plåt där utformningen är inspirerad av byggnadsställningars täckplåtar, se figur 6-4b. Styrka byggs in i den rostfria tunnplåten genom kantböckningar samtidigt som stansning tillför positiva effekter som halkskydd och passage av vind för att minimera lyftkrafter. Längs konceptets kanter i figur 6-4a finns laserutskurna hål för blindnitmuttrar vilket skapar en fastsättningsmöjlighet mellan modulernas landningsytor.



Figur 6-4: a) Koncept av landningsyta b) Täckplåt till byggnadsställning

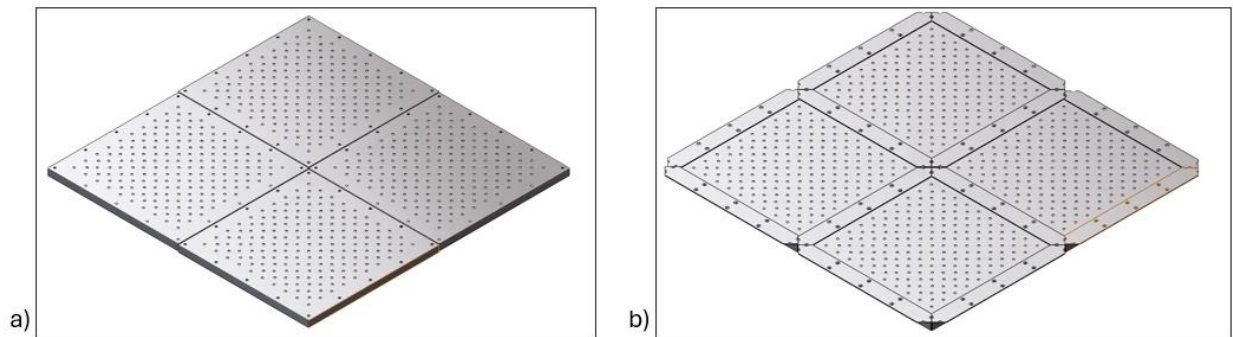
Fastsättning mot grundstommen i detta koncept 4 kan genomföras tillsammans med koncept 1 och 2, som beskrivet i underavsnitt 6.1.1 respektive 6.1.2. När det gäller direkt fastsättning, underavsnitt 6.1.3, fungerar nästan alla metoder. Svetsning kan inte appliceras här, då det inte är möjligt att foga samman aluminium och rostfritt stål genom den tekniken.

För att vertiportmodulerna skall kunna fästas ihop behövs någon form av sammankopplande komponent, se figur 6-5a. T-profiler av extruderad aluminium, exempel i figur 6-5b, har en förhållandevis slimmad design samtidigt som hållfastheten bibehålls. Försänkta hål som linjerar med blindnitmuttrarnas position från figur 6-4a har designats in och ändarna är kapade i 45° för att kunna byggas ut modulärt, vilket visas i figur 6-6. De yttersta hålen kommer vara svåra eller t.o.m. omöjliga att bearbeta på en verklig detalj men är inte avgörande för konceptets idé i detta skede.



Figur 6-5: a) Koncept av modulsammankoppling b) T-profil (Alutrade, 2025)

Dessa två komponenter, kvadratisk plåt och T-profil, är tänkta att skruvas ihop med försänkta skruvar och på så sätt fästas samman mekaniskt som synes i figur 6-6. Detta bör möjliggöra en enkel och modulär montering och demontering av flera vertiportsmoduler.

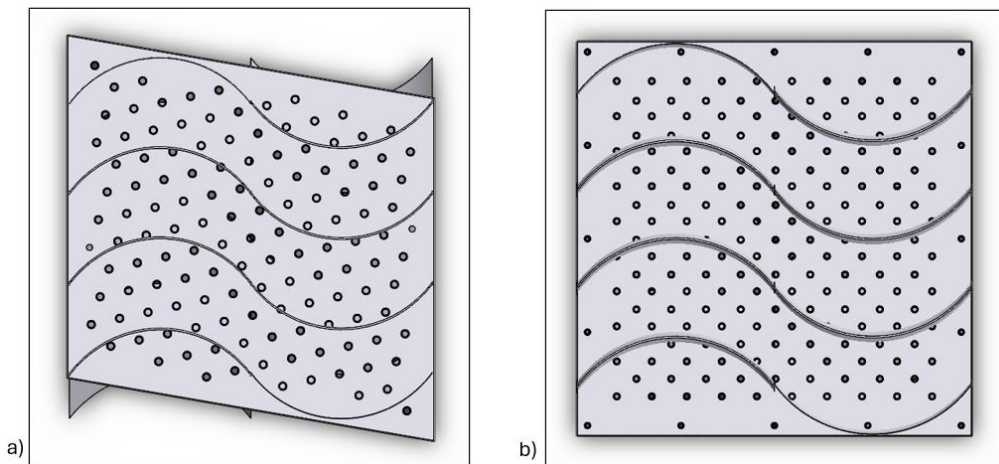


Figur 6-6: a) 4 landningsmoduler b) 4 landningsmoduler tillsammans med T-profiler

6.2.2 Koncept 5 – Parallelogramformad landningsyta

Liksom föregående koncept 4, utgår detta koncept från samma inspirationskälla. Likaså vad det gäller användandet av blindmuttrar och T-profiler för att koppla samman de olika modulerna.

Skillnaden, som visas i figur 6-7, är att koncept 5 är parallelogramformad jämfört med koncept 4 som är kvadratisk. Parallelogramformen medför att "överhänget" blir mindre, nedre vänster hörn samt övre höger hörn i figur 6-7a. Därigenom bör böjkrafterna på landningsytan minska där stöd från grundstommen undertill saknas, i jämförelse med korresponderande hörn i figur 6-7b. I och med detta följer en annan kapning av T-profiler då landningsytans hörn är cirka $2 \times 80^\circ$ och $2 \times 100^\circ$, vilket enbart beskrivs i text här och har inte designats i samband med konceptgenereringen.

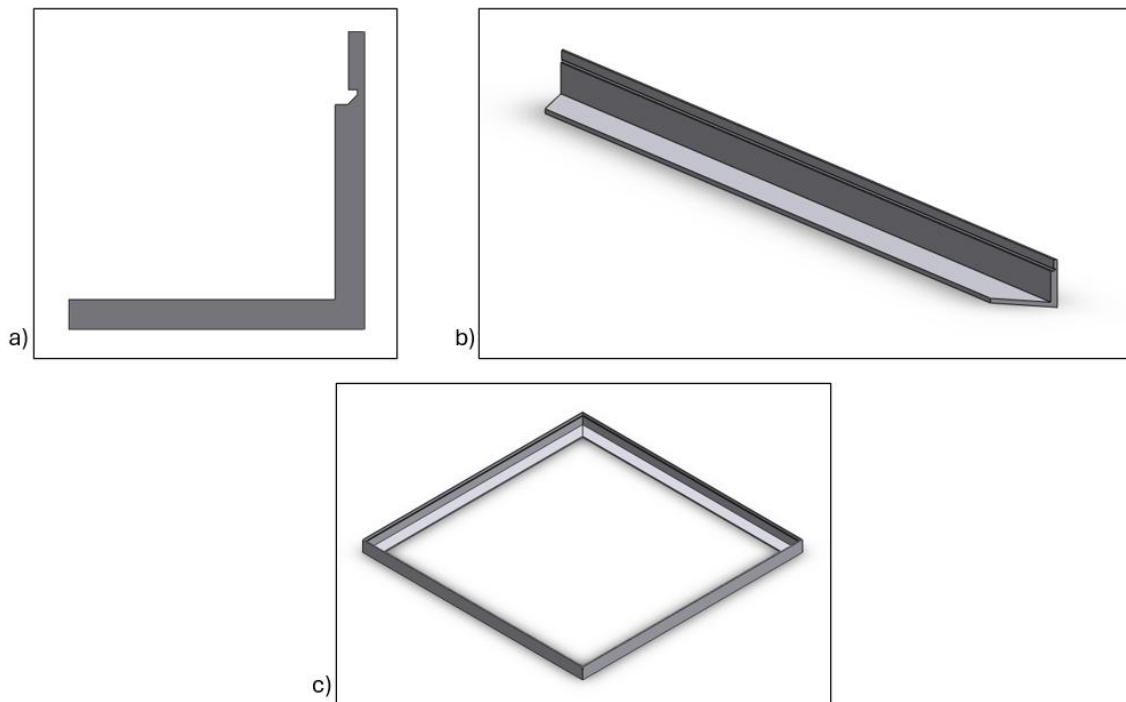


Figur 6-7: Koncept 5 (a) och koncept 4 (b), där grundstommens kurvade form synliggjorts

6.2.3 Koncept 6 – Ramverk

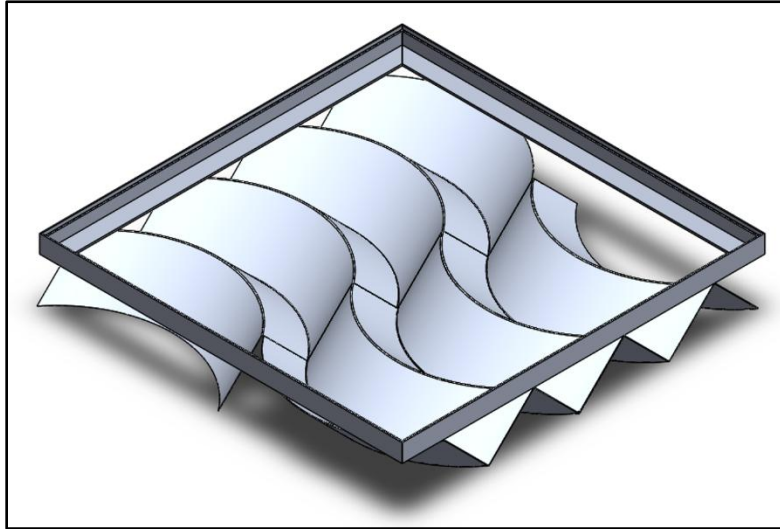
Ett alternativ till att bygga in hållfasthet och fästning i själva landningsytan och indirekt låsa konstruktionen till stålmaterial, är att konstruera en typ av "vagga" där skivor eller plattor tillverkade av exempelvis plast eller komposit kan fästas.

Tvärt emot koncept 4 och 5 där landningsytan utformade aluminiumprofilerna, initieras detta koncept av profilerna och sedermera landningsytan. Figur 6-8 visar hur en L-profil bearbetats på två sätt: slitsat spår på dess invändiga lodräta yta (a) för att möjliggöra fästning mellan moduler, samt snedkapade ändar i 45° vinkel (b). Därefter kan fyra av dessa svetsas ihop till ett ramverk (c).



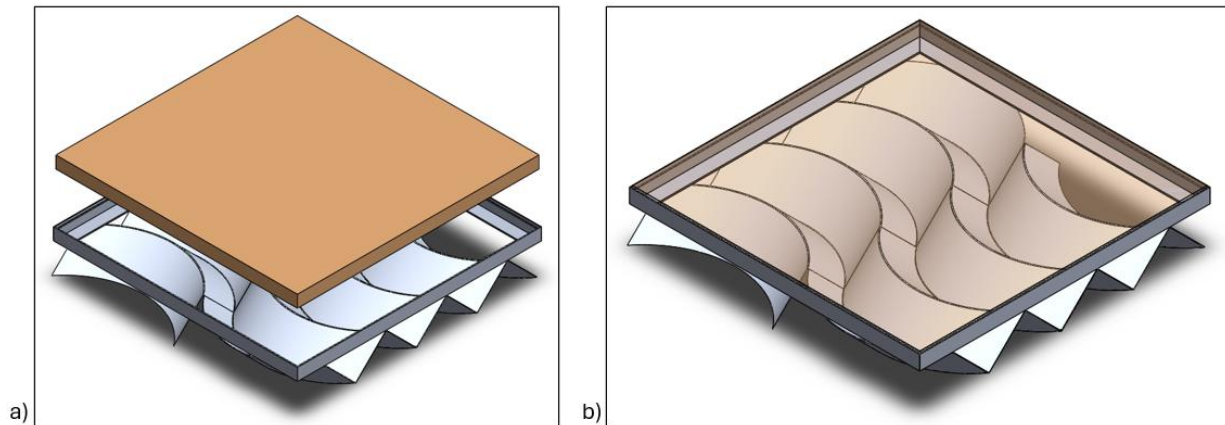
Figur 6-8: a) Sidvy av L-profil b) Isometrisk vy av L-profil c) Sammansatt ramverk

Tack vare att L-profilerna består av aluminium, kan svetsning genomföras mot grundstommen vilket inte var möjligt i koncept 4 eller 5. Vidare kan konceptkomponenten som presenterades i underavsnitt 6.1.1 utnyttjas, dock visar figur 6-9 enbart hur ramverket placerats digital på ett godtyckligt sätt.



Figur 6-9: Ramverk placerad uppe på Stifolds grundstomme

Därefter designades en arbiträr landningsyta, se figur 6-10, som placerades inuti ramverket. Fästningen mellan landningsytan och ramverket är här i första hand avsedd att ske genom tejpning och i andra hand limning, alltså med självhäftande fästelement. När dessa är sammansatta bildas en homogen enhet och en stor, plan kontaktyta mot grundstommens alla toppar skapas. Lämpligtvis utnyttjas även här självhäftande fästelement. Så länge ytterdimensionerna mot ramverket bibehålls kan invändig struktur för exempelvis kabeldragning, ljusslingor eller viktbesparingshåll utformas helt efter behov.

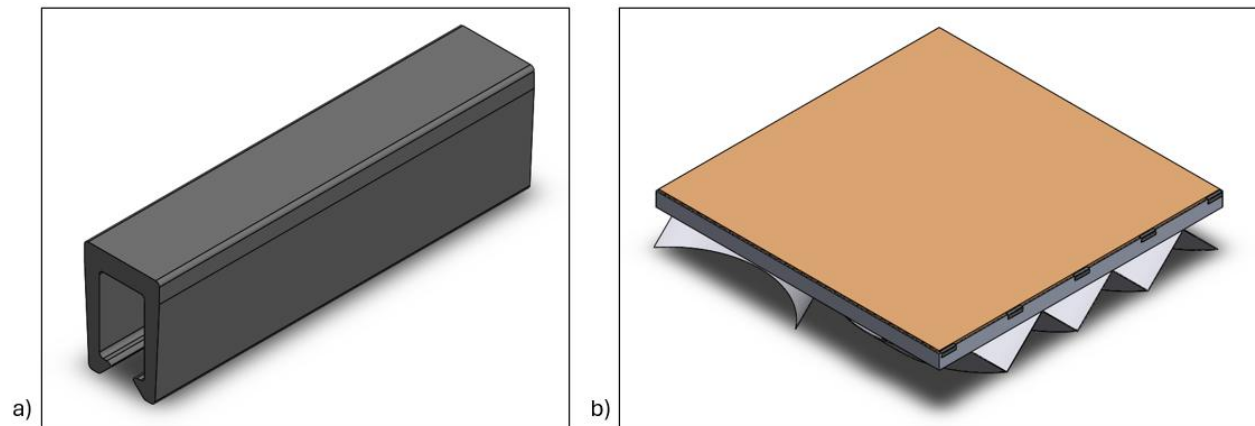


a)

b)

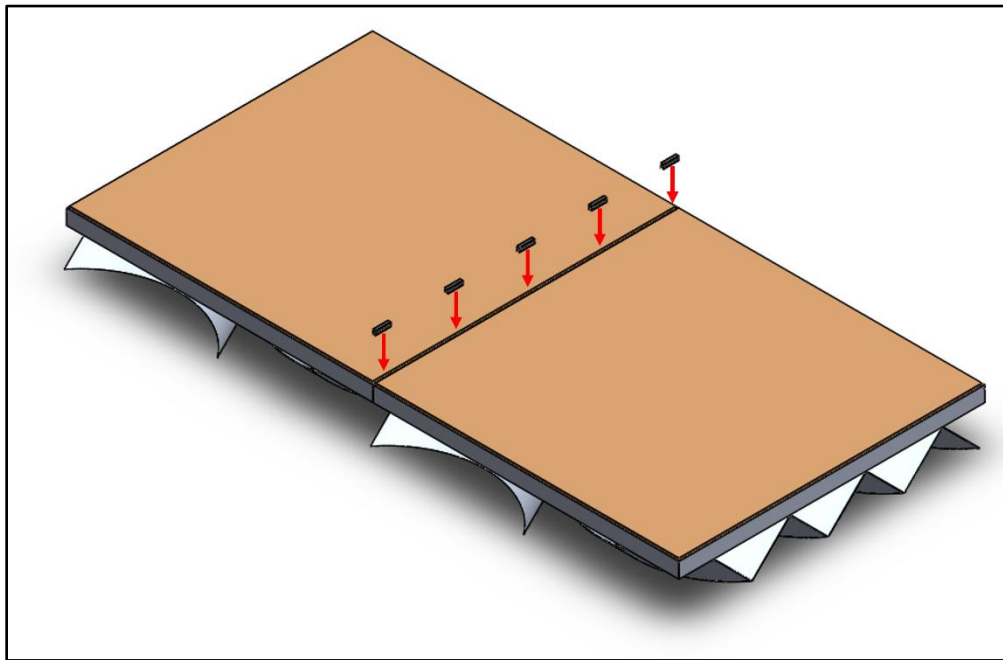
Figur 6-10: a) Arbiträr landningsyta b) Transparent landningsyta placerad i ramverk

Fästningslösningen mellan modulerna vid expansion av vertiportmodulen är här tänkt att ske genom ett specialdesignat clips, figur 6-11a, som matchar formen av det slitsade spåret i L-profilen från figur 6-8a. I detta skede är uppskattningen att clips bör räcka för att hålla ihop modulerna sidledes, då de vertikala krafterna som vertiporten kommer att utsättas för bör tas upp av Stifolds grundstomme. Det ska understrykas att varken materialval eller form av clipset inte på något sätt är definitivt.



Figur 6-11: a) Clips b) Fem clips utplacerade symmetrisk längs ramverkets ena sida

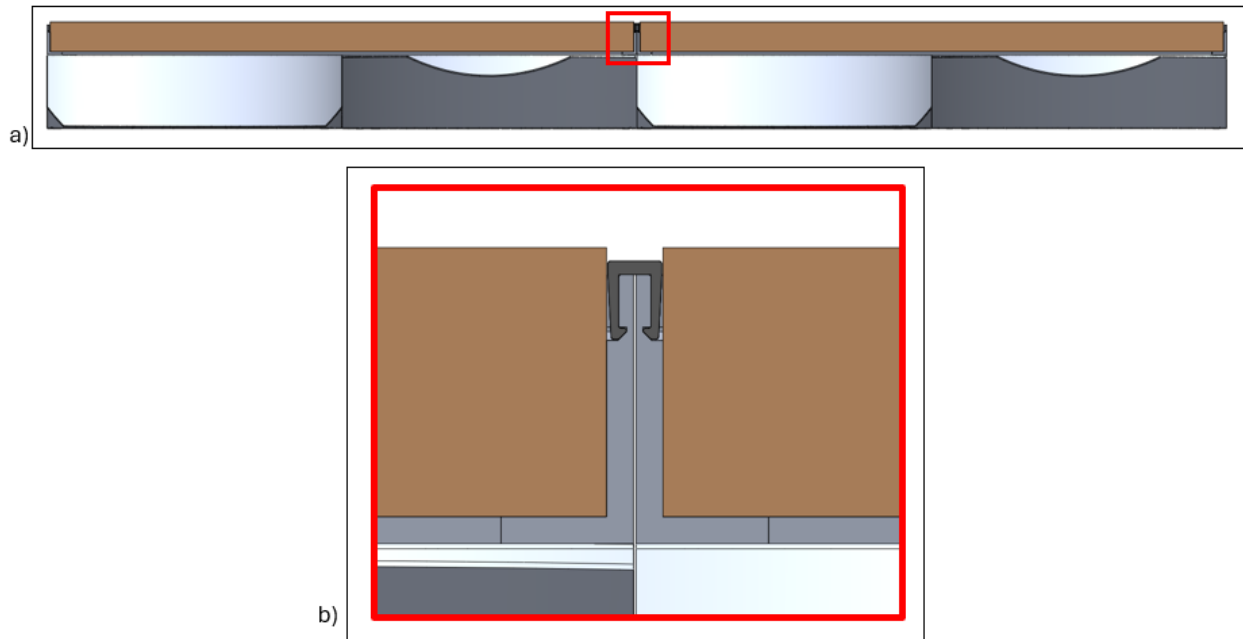
Figur 6-12 visar en duplicerad modul som placerats intilliggande för att simulera första steget i en utbyggnation. Fastsättningen mellan modulerna tydliggörs här genom att de fem clipsen från figur 6-11b placerats strax ovanför modulerna, varpå de röda pilarna illustrerar att de har en sammankopplande funktion. Detta genom att clipsen monteras nedåt och hakar i två angränsande L-profiler.



Figur 6-12: Isometrisk vy av en vertiport om 2x1 meter

Slutligen presenteras en genomskärning av modulerna, från figur 6-12, och en detaljvy på hur clipsen låser ramverken mot varandra syns i figur 6-13. Här åskådliggörs principen för fastsättning mellan moduler men ingen toleranssättning för montering eller demontering har beaktats.

Detsamma gäller för clipsets godstjocklek kontra längden av dess "krokar", då de måtten avgör hur fjädrande ett clips blir.



Figur 6-13: a) Genomskuren frontvy av vertiport b) Detaljvy på fastsättning av moduler

7 Konceptval

Konceptens för- respektive nackdelar som genererats i förgående kapitel, behöver vägas mot varandra för att kunna avgöra vilket av dem som är lämpligt att utveckla vidare. Genom att sätta upp koncepten i tabellform med olika urvalskriterier, skapas en enkel och följsam översikt.

7.1 Utvärdering med konceptsallningsmatrix

En konceptsallningsmatrix användes för att jämföra de olika koncepten utifrån urvalskriterier. Utifrån produktkravsspecifikationen identifierades grupper av krav som sedan tolkades till följande urvalskriterier:



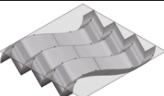
- **Konstruktionskomplexitet.** En uppskattning kring hur svårt konceptet är att tillverka, geometri och form. Enklare tillverkning är fördelaktigt.
- **Tekniska krav.** Risk för korrosion. Krav på brandsäkerhet.
- **Mekaniska krav.** Hållfasthet, uppnår vindkrav.
- **Monterbarhet.** Antal komponenter som ska monteras, monteringssteg.
- **Demonterbarhet.** Tid för demontering. Går överhuvudtaget att demontera.

Då arbetet saknar en ursprunglig produkt som referens så har ett av koncepten valts som referenskoncept.

7.1.1 Utvärdering av koncept för fastsättning mellan landningsyta och grundstomme

Då koncepten möjliggör användningen av olika fastsättningsmetoder så togs dessa i beaktning vid jämförelsen som egna koncept med egen betygsättning enligt tabell 7-1.

Tabell 7-1: Konceptsallningsmatrix för fastsättning mellan landningsyta och grundstomme

Urvalskriterium								
	Koncept 1			Koncept 2		Koncept 3		
	Skruv	Svets	Tejp	Skruv	Skruv	Svets	Tejp	
Konstruktionskomplexitet	0	0	0	0	+	+	+	
Tekniska krav	0	0	-	0	0	0	-	
Mekaniska krav	0	+	+	-	-	+	+	
Monterbarhet	0	-	+	0	0	-	+	
Demonterbarhet	0	-	+	0	0	-	+	
Summa								
+	0	1	3	0	1	2	4	
0	5	2	1	4	3	1	0	
-	0	2	1	1	1	2	1	
Nettoresultat	0	-1	2	-1	0	0	3	
Rankning	3	4	2	4	3	3	1	

Följande är motiveringar för den poängsättning som avviker från 0, då poängsättning av 0 innebär liknande nivå av prestanda som referenskonceptet. Koncept 1 med skruvförband är referenskonceptet. Resterande koncept jämförs mot denna.

Koncept 1 med svetsförband:

- **Mekaniska krav:** Svetsning är en lösning som ger goda hållfasthetsegenskaper, vilket konstaterades i underavsnitt 4.3.2 (+).
- **Monterbarhet:** Svetsning vid montering kräver mycket mer utrustning än att skruva ihop grundstommen och landningsytan. Svetsning kräver en strömkälla, skyddsgas och har en längre monterings tid med förberedning (-).
- **Demonterbarhet:** Svetsning är en permanent fogningsmetod, demontering skulle kräva skärande bearbetning, vilket hade varit opraktiskt och tidskrävande (-).

Koncept 1 med tejp:

- **Tekniska krav:** Tejp är mindre tålig vid brand i jämförelse med ett skruvförband. Vid underavsnitt 4.3.3 undersöktes tejp som ett alternativ, där det konstaterades att vissa 3M VHB tejper tål högre temperaturer under en begränsad tid. Enligt specifikation för ASTM D3654 kan tejp tåla 93 °C med begränsad vikt i ungefär 7 dygn. 149 °C under fyra timmar med begränsad statisk belastning (3M, u.å) (-).
- **Mekaniska krav:** Tejp förutsätter inga hål i grundstommen eller landningsytan. Då grundstommen har flera stora ytor finns det mycket plats för att styra hur mycket tejp klarar av ur perspektivet av hållfasthet (+).
- **Monterbarhet:** Tejp möjliggör en väldigt snabb fastsättning och montering, inga ytterligare verktyg behövs, beroende på renlighet av grundstommens yta och landningsytan kan de behöva strykas av innan appliceringen av tejp (+).
- **Demonterbarhet:** Gällande tejp finns det varianter som har mycket höga hållfasthetsegenskaper vid drag och skjuvning, men är svaga när änden av tejp dras av i en rätvinklig riktning (3M, u.å). Tejp är dessutom inte designad för att motstå vridning. Även om tejp håller för permanent användning så finns det möjlighet att demontera tejp. Beroende på mängden tejp så kan detta vara lättare än att demontera skruvarna som behövs för koncept 1 (+).

Koncept 2 med skruvförband:

- **Mekaniska krav:** Lösningen förutsätter hål placerade genom grundstommens toppar dvs bockningsradier, vilket kommer påverka hela grundstommens hållfasthet, något som nämndes vid underavsnitt 4.3.1. Risken är att bockningsradien redan är utsatt för hög stresskoncentration, vilket ökar risken för sprickbildning vid belastning (-).

Koncept 3 med skruvförband:

- **Konstruktionskomplexitet:** Koncept 3 bygger på direkt fastsättning mellan grundstomme och landningsyta, vilket undviker en extra komponent. Konstruktionskomplexitet är därmed lättare (+).

- **Mekaniska krav:** Lösningen förutsätter hål placerade genom grundstommens toppar dvs bockningsradier, vilket kommer påverka hela grundstommens hållfasthet, något som nämndes vid underavsnitt 4.3.1. Risken är att bockningsradien redan är utsatt för hög stresskoncentration, vilket ökar risken för sprickbildning vid belastning (-).

Koncept 3 med svetsförband:

- **Konstruktionskomplexitet:** Koncept 3 bygger på direkt fastsättning mellan grundstomme och landningsyta, vilket undviker en extra komponent. Konstruktionskomplexitet är därmed lättare (+).
- **Mekaniska krav:** Samma motivering som för koncept 1 med svetsförband, svets ger goda hållfasthetsegenskaper (+).
- **Monterbarhet:** Samma motivering som för koncept 1 med svetsförband, svetsning kräver utrustning som gör det svårare för montering i jämförelse med referenskoncept (-).
- **Demonterbarhet:** Samma motivering som för koncept 1 med svetsförband, svets är en permanent fogningsmetod (-).

Koncept 3 med tejp:

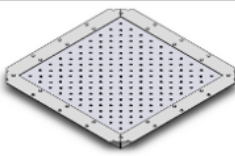
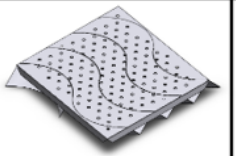
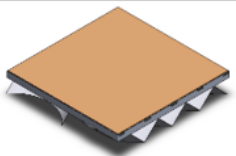
- **Konstruktionskomplexitet:** Koncept 3 bygger på direkt fastsättning mellan grundstomme och landningsyta, vilket undviker en extra komponent. Konstruktionskomplexitet är därmed lättare (+).
- **Tekniska krav:** Samma motivering som koncept 1 med tejp, tål höga temperaturer sämre än referenskoncept (-),
- **Mekaniska krav:** Samma motivering som koncept 1 med tejp, kräver inga hål i grundstommen som tar bort material och försämrar hållfasthetsegenskaper (+).
- **Monterbarhet:** Samma motivering som koncept 1 med tejp, tejp möjliggör snabb fastsättning utan ytterligare verktyg (+).
- **Demonterbarhet:** Samma motivering som koncept 1, går att demontera (+).

Från tabell 7-1 går det att avläsa resultatet av konceptsällningsmatrisen, där koncept 3 med tejp som fastsättningsmetod framstår lämpligast med högst resultat och blir därmed utgångspunkten för vidareutveckling till det slutgiltiga lösningsförslaget i kapitel 8. Då koncept 1 med tejp hade ett poäng mindre kommer detta inkluderas som ett alternativt förslag till det slutgiltiga lösningsförslaget.

7.1.2 Utvärdering av koncept mellan moduler

För fastsättning mellan moduler och dess landningsyta användes samma urvalskriterier som i underavsnitt 7.1.1. Som synes i tabell 7-2 utgör koncept 4 referens och koncept 5 respektive 6 ställs emot detta.

Tabell 7-2: Konceptsallningsmatris för fastsättningslösning mellan vertiportens moduler

Urvalskriterium			
	Koncept 4	Koncept 5	Koncept 6
Konstruktionskomplexitet	0	-	0
Tekniska krav	0	0	+
Mekaniska krav	0	+	-
Monterbarhet	0	-	+
Demonterbarhet	0	0	0
Summa			
+	0	1	2
0	5	2	2
-	0	2	1
Nettoresultat	0	-1	1
Rankning	2	3	1

Koncept 4 och 5 är väldigt liknande sett till material och konstruktion. De små skillnader som finns uppskattas ha tillräckligt stor påverkan för att en evaluering av koncept 5 skall kunna göras:

- **Konstruktionskomplexitet.** Då själva landningsytan inte är symmetriskt utformad medför detta vissa komplikationer vid bockning och stansning. Gällande T-profilerna är kapning i en annan vinkel än 45° inte nödvändigtvis särskilt avancerat. Men på grund av de dubbla vinklarna (80° och 120°) tillkommer en viss omställning av maskineri och extra manuell handpåläggning, därigenom uppstår en marginellt högre komplexitet. (-)
- **Tekniska krav.** Inget annorlunda jämfört med koncept 4. Rostfritt stål, skruvar och blindnitmuttrar för utomhusbruk samt aluminiumprofiler är densamma. (0)
- **Mekaniska krav.** En tajtare design runt Stilfolds grundstomme borde minimera böjkrafter som uppstår i landningsytans olika hörn jämfört med koncept 4 vilket anses positiv. Vind- och lyftkrafter bör vara likvärdiga. Vidare bedöms tunnplåten fördela ut de vertikala krafterna vid belastning av luftfordon likvärdigt ner till Stilfolds grundstomme. (+)
- **Monterbarhet.** Liksom för konstruktionskomplexiteten talar koncept 4:s symmetri till dess fördel. Att behöva kontrollera en extra gång både vid prefabricering och vid montage på slutposition så att rätt sida bearbetas och monteras korrekt medför att koncept 5 är något svårare att montera. (-)
- **Demonterbarhet.** Inget annorlunda jämfört med koncept 4. Skruva loss skruvar och montera bort T-profilerna som fäster samman modulerna. (0)

Koncept 6 har som beskrivet i underavsnitt 6.2.3 ett något annorlunda tänk. Clips (snäppfästen) framför skruvförband och olika skivor eller plattor tillåts:

- **Konstruktionskomplexitet.** Liksom koncept 4 som består av två huvudkomponenter, landningsytan och en modulsammansättande T-profil, har även detta koncept två huvudkomponenter. L-profilen av aluminium behöver även här kapas och bearbetas och anses därför ha likvärdig komplexitet då den har symmetri. Svetsning kan genomföras manuellt eller via automation och betraktas motsvara arbetsbördan av kantböckning och stansning. Clipset bör kunna tillverkas i längder genom extrudering, antingen av plast eller aluminium. (0)
- **Tekniska krav.** Aluminium och plast är korrosionssäkra material, detsamma gäller för de självhäftande fästelement som föreslås. Eftersom inget rostfritt stål används här, är risken för korrosion mot grundstommen eliminerat. Självhäftande fästelement som behärskar utomhusmiljöer, alltså motståndskraftiga mot UV-ljus samt väta, existerar och har beskrivits i underavsnitt 2.4.3. (+)
- **Mekaniska krav.** Vertikala krafter från luftfarkoster och fordon spelar här mindre roll för ramverket, liksom i koncept 4 och 5 anses all kraft gå genom landningsytan och Stilfolds grundstomme. Vindkrafter kan här ha en större påverkan, korrekt applicering och mängd av självhäftande fästelement är ett måste. (-)
- **Monterbarhet.** Symmetrin hos ramverket är till fördel vid prefabricering, likaså gäller för borttagandet av mekaniska fästelement då ingen hålpassning eller dylikt behöver beaktas. Snarare ges en generös tolerans där repeterbarheten vid tillverkning snarare beror på monterings tekniken, vare sig den är manuell eller automatiserad. Montering vid slutposition kräver ingen skruvdragare eller dylikt, enbart handkraft för att trycka fast clips skall räcka. (+)
- **Demonterbarhet.** För att demontera modulerna behövs enbart clipsen lossas vilket bör kunna genomföras för hand alternativt med ett bändande verktyg, när dessa konstruerats med toleranser. Få komponenter som lossas samtidigt som det går fort anses positivt. Vid demontering av ramverk från grundstommen (inför återvinning) finns å andra sidan lite negativa aspekter jämfört med koncept 4. Används tejpling bör ramverket (och underförstått även skivan eller plattan) kunna vridas loss från grundstommen förhållandevis enkelt, likaså vid rengöring av tejprester från de respektive kontaktytorna. Utnyttjas limning däremot kan det behövas värmas upp för lättare demontering, liksom att det är svårare att få ytorna helt fria från lim. Detta påverkar återvinningsbarheten vilket nämndes i underavsnitt 2.3.1. (0)

Med dessa argument för poängsättning i konceptsallningsmatrisen, står koncept 6 för fastsättning mellan moduler som en knapp segrare och blir utgångspunkten för vidareutveckling till det slutgiltiga lösningsförslaget i kapitel 8.

7.2 Val av fästelement

Vid de kontinuerliga uppföljningsmötena med Stilfold, som beskrivet i underavsnitt 3.2.2, presenterades förslagen från konceptvalsprocessen och deras för- respektive nackdelar lyftes från båda parterna. Resultatet av dessa möten var att enkel design föredrogs, finmekaniska koncept med snäva form- och lägestoleranser skulle undvikas. Detta ledde till att tejp som det primära fästelementet fastställdes, i och med fördelarna av enkel montering och färre tillverkningssteg i jämförelse med andra fästelement.

Dessutom framkom det under detta skede att landningsytan kommer utvecklas av en extern partner. Landningsytan kan komma att bestå av en platta med integrerade LED-lampor för digital styrning av belysning. Ett annat alternativ skulle kunna vara att variera olika plattor, där några moduler har plattor med integrerade LED lampor och laddningsfunktion till eVTOL, medan andra moduler består av förenklade plattor. Behovet blev därmed en generell fastsättningslösning som kan användas för mellan modulerna, för att framtidssäkra projektet oavsett vilken landningsyta som tas fram senare i iPOD-projektet.

7.3 Verifiering av fästelement

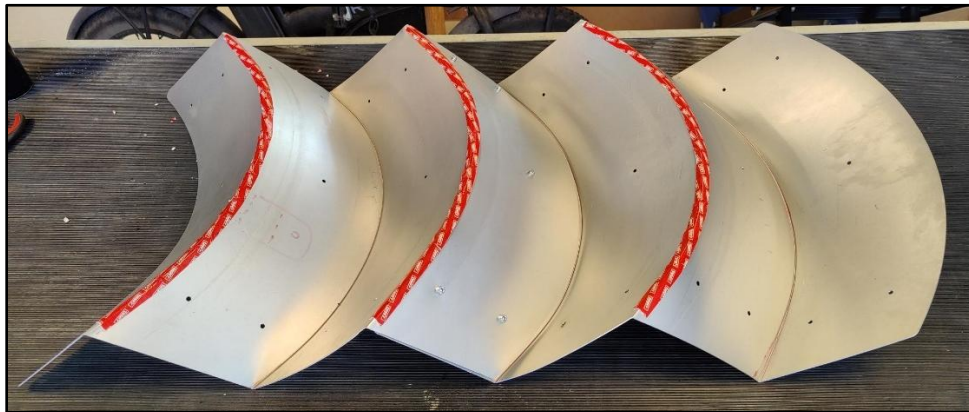
I avsnitt 4.3 approximerades en kraft från vindbelastning som fastsättningslösningen måste överkomma med ett värde av 520 N per 1x1m modul. Då grundstommens toppar är bockade och därmed har en bockningsradie så blir den teoretiska kontaktytan mellan grundstommen och landningsytan en linjelast. Tejpen kommer vid applikation att deformeras, vilket skapar en gemensam kontaktyta som tejpens binder ihop. Hur mycket tejpens deformeras beror på tejpens mekaniska egenskaper, vilket varierar beroende på tejpvariant.

För att uppskatta hur stor denna kontaktyta kan bli, genomfördes ett praktiskt test. Dubbelhäftande tejp från tillverkaren Tesa 19 mm bred användes då den hade en annonserad styrka om 100 kg/m (0,1 kg/mm), se figur 7-1. Balansen mellan styrka, tillgänglighet och kostnad ansågs rimligt för detta test.



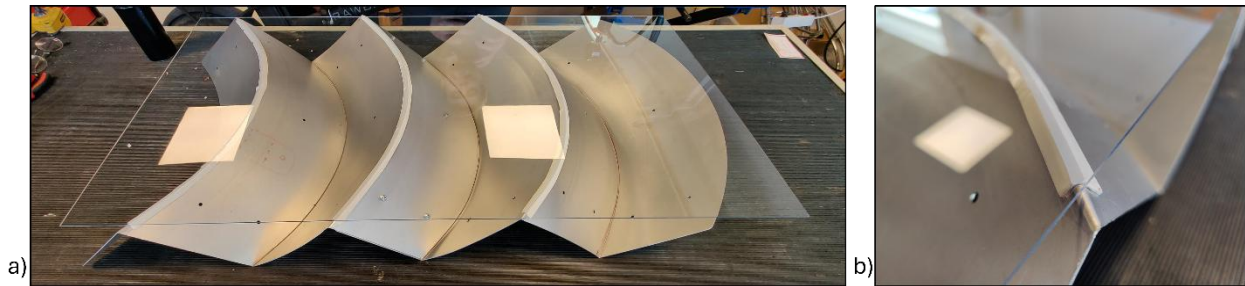
Figur 7-1: Tesa Powerbond (art. nr 55792)

Grundstommens aluminium rengjordes med Kemetyl T-röd för att säkerställa en effektiv vidhäftning. Tejpens center applicerades över majoriteten på båglängdens sträcka och trycktes därefter ned emot grundstommen för en så fullständig vidhäftning som möjligt, se figur 7-2. Båglängden till höger i samma figur exkluderades från testet av två anledningar: höjden linjerar ej horisontellt med de övriga topparna på grundstommen samt att kanten ansågs vara för skarp för att ge tillförlitliga mätningar.



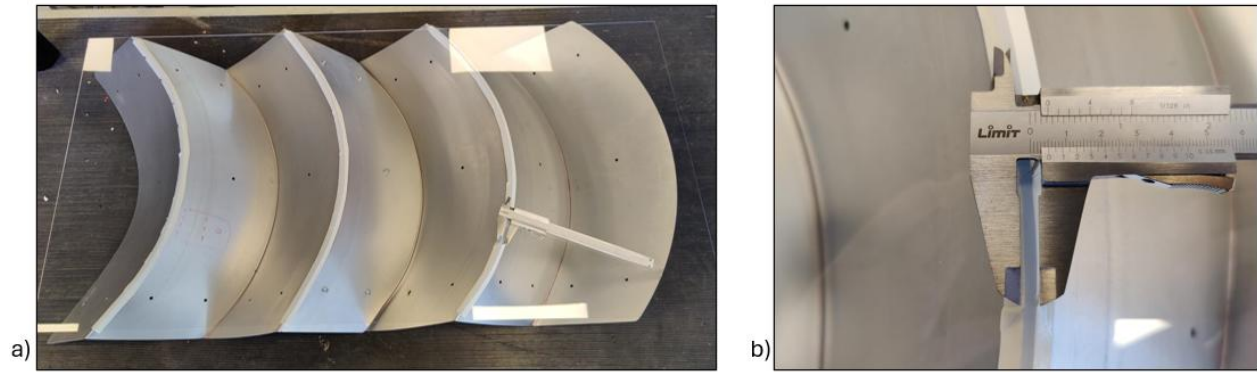
Figur 7-2: Sidvy av prototyp, dubbelhäftande tejp applicerad

Därefter drogs tejpens röda skyddsplast bort och en plexiskiva med måtten 1000x500x2 mm för att simulera en landningsyta lades uppepå. Med handkraft trycktes skivan vertikalt nedåt mot grundstommen varpå tejpens faktiska kontaktyta fastställdes. Figur 7-3 visar resultaten av dessa processteg.



Figur 7-3: a) Sidvy på monterad plexiskiva b) Detaljvy på kontaktyta från tejp

Tack vare den genomskinliga produkten, kunde mätning med skjutmått genomföras på vad som ansågs vara ett tillräckligt tillförlitligt sätt. Avrundning till halva millimetrar valdes då faktorer som hur hårt det vertikala trycket var vid appliceringen och tjocklek på tejp spelar in i hur bred kontaktytan kan bli. Se figur 7-4 för mätinstrumentsanvändning.



Figur 7-4: a) Toppvvy på skjutmått b) Detaljvy på skjutmått

5 punkter valdes ut för varje båglängd och mätvärdena noterades där dessa mättes, se tabell 7-3 samt bilaga 3. En genomsnittlig bredd ($b_{\bar{x}}$) på kontaktytan om 4,1 mm beräknades genom ekvation 7.1.

Tabell 7-3: Uppmätta värden på kontaktyta

Mät punkt	Båglängd			[mm]
	1	2	3	
1	5,0	4,5	4,0	
2	4,5	4,0	3,5	
3	4,5	4,0	4,0	
4	4,0	3,5	3,5	
5	4,0	4,0	4,5	

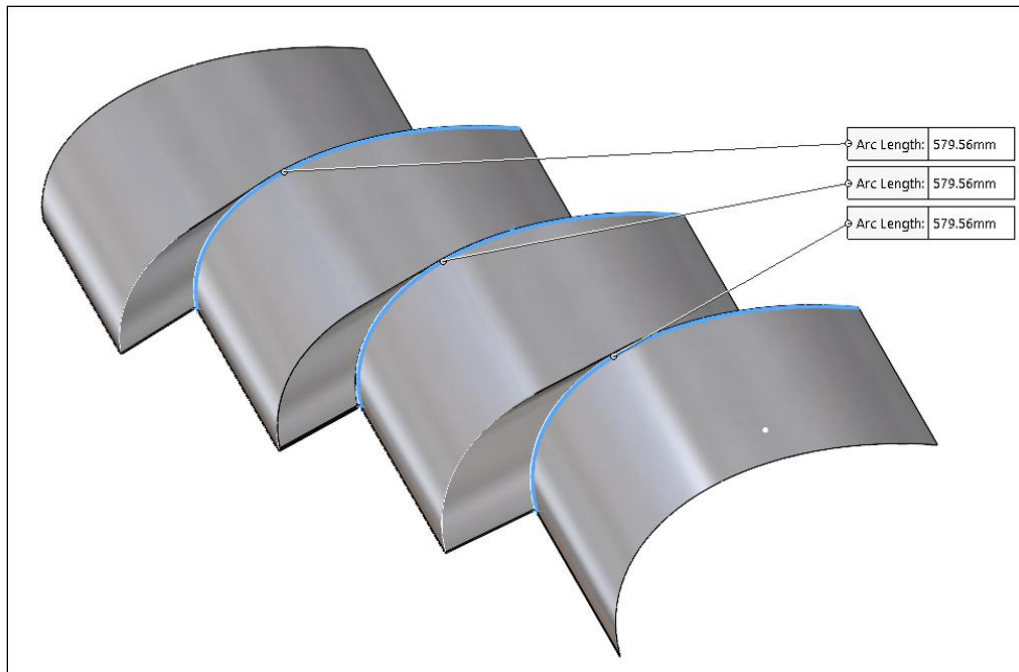
$$b_{\bar{x}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{5,0 + 4,5 + \dots + 4,5}{15} = 4,1 \text{ mm} \quad (7.1)$$

Då hela tejpens bredd bevisligen inte är i kontakt med landningsytan behöver dess verkande styrka per mm räknas om. Ekvation 7.2 redogör att enbart 22 % av tejpens potential utnyttjas vid denna bredd vilket används i ekvation 7.3 som resulterar i en utnyttjad tejpstyrka på 0,022 kg/mm.

$$\frac{4,1 \text{ mm}}{19 \text{ mm}} = 0,2157 \dots \cong 22 \% \quad (7.2)$$

$$\frac{0,1 \text{ kg} \times 0,2157 \dots}{\text{mm}} \cong 0,022 \text{ kg/mm} \quad (7.3)$$

Gränssnittet mellan grundstommen och landningsytan för en halv modul, som matchar den fysiska prototypen för verifikationen, går att avläsa ur figur 7-5 där varje båglängd är 580 mm lång enligt SolidWorks – avrundat till heltal. Summan av dessa tre sträckor blir 1740 mm och för en hel modul om 1x1 m², se figur 4-4, blir sträckan alltså 3480 mm.



Figur 7-5: Båglängder för en halv grundstomme

Fortsättningsvis behöver tejpens totala fästkraft (F_{tejp}) över kontaktytan om $1 \times 1 \text{ m}^2$ beräknas och jämföras mot den simulerade vindkraften (F_D) i avsnitt 4.3, för att kunna dra en slutsats om tejpning är en tänkbar fästningslösning. Kvoten i ekvation 7.3 och summan av samtliga båglängder hos en modul, 3480 mm, används i ekvation 7.4, med tyngdaccelerationskonstanten å $9,82 \text{ N/kg}$ som omvandlingsfaktor.

$$F_{tejp} = 9,82 \text{ N/kg} \times 0,022 \text{ kg/mm} \times 3480 \text{ mm} = 751,819 \dots \cong 752 \text{ N} \quad (7.4)$$

$$752 \text{ N} > 520 \text{ N} = F_{tejp} > F_D \quad (7.5)$$

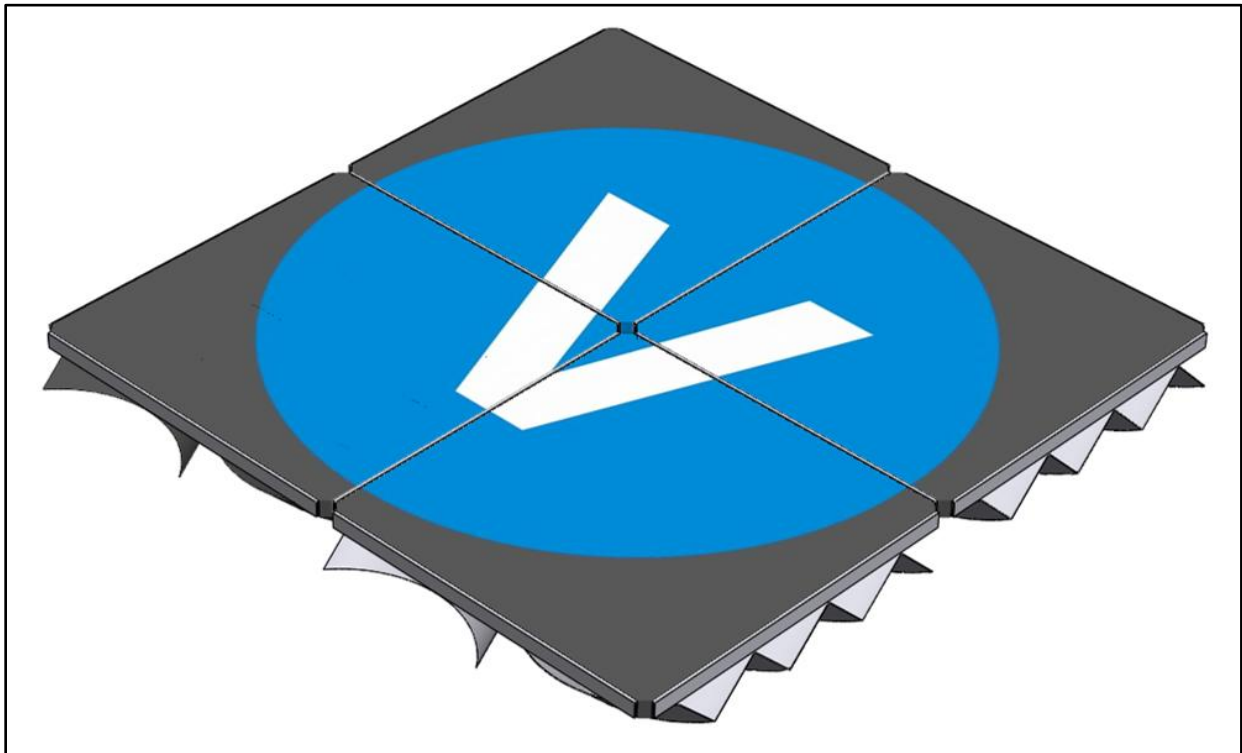
Ekvation 7.5 bekräftar att styrkan av tejpens överkommer den simulerade vindkraften från avsnitt 4.3.

8 Slutgiltigt förslag till fastsättningssystem

I detta kapitel redovisas resultatet av vidareutvecklingen av koncepten i kapitel 6, som skedde utifrån utvärderingen i kapitel 7.

8.1 Helhetskoncept

Figur 8-1 visar fyra ihopsatta moduler, som skapar en landningsyta med måtten 2x2 meter, med en vertiportmarkering enligt förslag i underavsnitt 2.1.2. Fastsättningslösning mellan grundstomme och landningsyta, som utgår från direkt fastsättning med tejp med ytterligare plåtdetaljer för redundans, beskrivs utförligare i avsnitt 8.2 och går inte att urskilja i figur 8-1. Extruderade aluminiumprofiler utgör fortsatt de sammankopplande komponenterna mellan moduler och är fästa på sidorna av de svarta landningsplattorna. Dess utformning, tänkt funktion och fästelement har reviderats ytterligare och beskrivs utförligare i avsnitt 8.3.

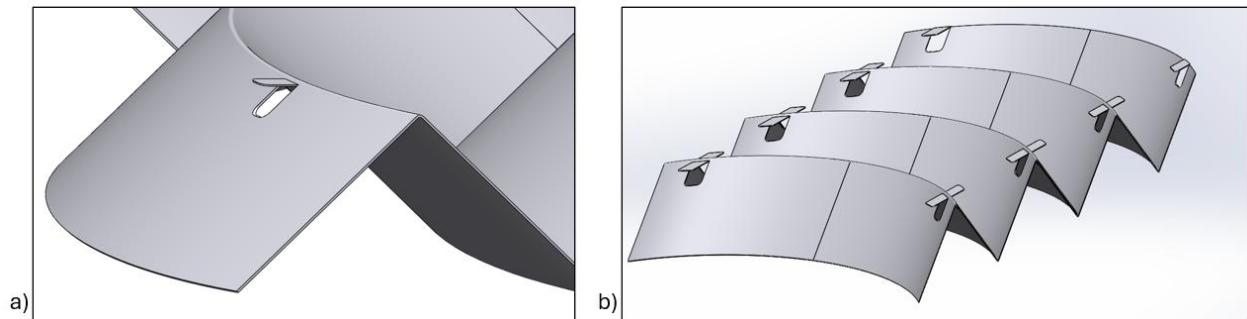


Figur 8-1: Fyra hopsatta moduler med en vertiportsymbol

8.2 Fastsättningslösning – Grundstomme mot landningsyta

Arbetet i kapitel 7 resulterade i konstaterandet av att tejp som fästelement är lämpligt. Utvärderingen utförd med konceptsökningsmatrisen vid underavsnitt 7.1.1 resulterade i att två koncept till lösningar lyftes för vidareutveckling. Lösningen som rankades högst vid utvärderingen utgick från att landningsytan fästs direkt på topparna av grundstommen. Lösningen utnyttjar tejp som fästelement. Figur 7-1, 7-2 och 7-3 från verifieringen visar tydligt vart placering av tejpens föreslås vara mellan grundstomme och landningsyta.

Utöver förslaget av direkt fastsättning mellan landningsytan och grundstommen så lyftes också en lösning utifrån koncept 1 från underavsnitt 6.1.1, en vinkeljärnslösning mellan landningsytan och grundstommen, som ett alternativ.

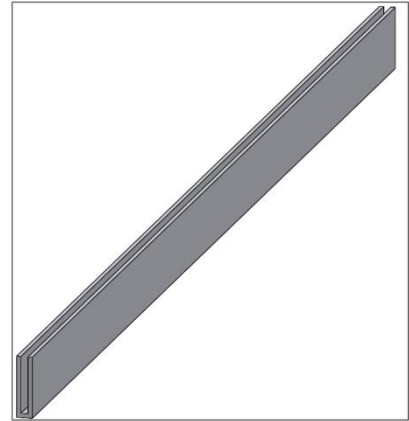


Figur 8-2: a) Lösningförslag för integrerad vinkeljärnslösning b) Flera på samma grundstomme

Diskussion med Stilfold ledde till att denna vidareutvecklades till en integrerad vinkeljärnslösning, enligt figur 8-2a, som är laserskuren ur grundstommen och uppvikt för att undvika extra komponenter. Denna yta kan då agera som redundans vid användning av tejp mot landningsytan genom att skapa mer yta flera av dessa viks upp från grundstommen, se figur 8-2b.

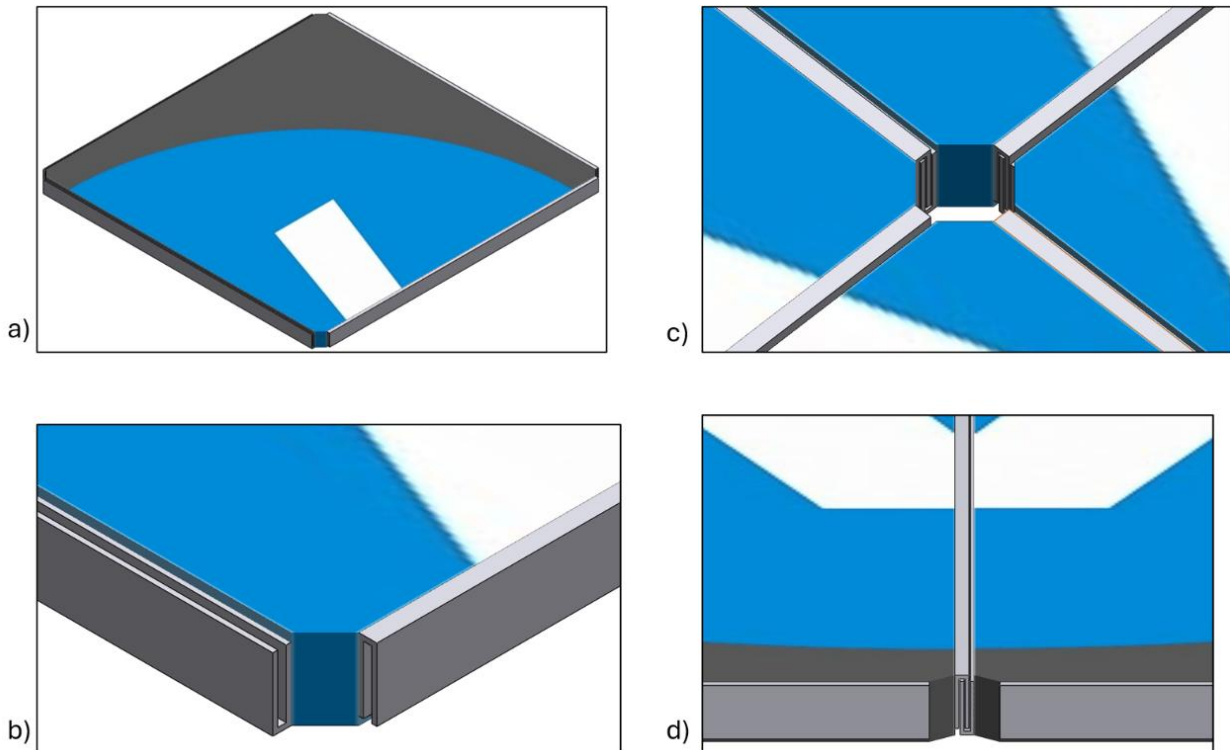
8.3 Fastsättningslösning – Modul mot modul

Utvärderingen i underavsnitt 7.1.2 påvisade fler fördelar än nackdelar för koncept 6 gentemot koncepten 4 och 5. Givet informationen i avsnitt 7.2 om att landningsytan skulle utvecklas av en extern partner, togs beslutet att beskåda landningsyta som en "svart låda" (Wikipedia, u.å.) och en ny arbiträr landningsplatta designades i SolidWorks. Således skiftade fokus till att enbart vidareutveckla aluminiumprofilernas form och fastsättning. Ramverket i underavsnitt 6.2.3 med L-profiler reviderades till en enklare, obearbetad U-profil och illustreras i figur 8-3. Denna lösning undviker sammansättning till ett ramverk för landningsplatta att monteras i.



Figur 8-3: Förslag till modulfastsättningslösning

I stället utnyttjas även här dubbelhäftande tejp för att fästa fyra likadana profiler mot landningsplattans vertikala ytor, se figur 8-4a. På två angränsande ytor monteras profilerna som ett U, på de motstående sidorna monteras dem som ett \cap , något som förtydligas i figur 8-4b. Genom att designa profilen något lägre än landningsplattans höjd (oavsett vilken höjd det blir), kan profilerna haka i varandra, något som syns i figur 8-4c och figur 8-4d.



Figur 8-4 a) Isometrisk vy av en modul b) Detaljvy av U-profiler c) Ihakade moduler d) Detaljvy av ihakning

Således krävs inga verktyg eller skruvförband för att förankra modulerna i varandra.

9 Analys

Förslaget fastsättningssystem presenteras och analyseras i detta kapitel. Resultaten kopplas till sin respektive frågeställning samt berörda teoriavsnitt.

9.1 Frågeställning 1 – Systemkrav

Utifrån datainsamlingen i avsnitt 3.2 upprättades en lista över kundbehov och en produktkravsspecifikation som till stor del låg till grund för studiens riktning och innehåll. Frågeställningarna i den förstnämnda specifikationen hölls öppna för att så mycket information som möjligt skulle kunna delges. Tolkningen av denna information som gjordes till produktkravsspecifikationen fortsatte hållas förhållandevis öppen där det ansågs nödvändigt, och sattes något snävare där det uppskattades möjligt. Detta för att inte begränsa konceptgenereringsprocessen där alla förslag välkomnades och granskades.

9.2 Frågeställning 2 – Grundstomme mot landningsyta

Utifrån produktkravsspecifikationen utfördes en konceptgenerering som gav tre koncept för frågeställning 2. För koncept mellan grundstomme och landningsyta togs även fästelement i beaktning vid konceptval då fastsättningslösningarnas egenskaper berodde till stor del på fästelementen. Konceptsållningsmatris, enligt teoriavsnitt 2.5, användes för att utvärdera och rangordna koncepten med poängsättning enligt tabell 7-1, med motivering av poängsättning enligt tillhörande underavsnitt 7.1.1. Koncepten och motivering redovisades för Stilfold. Det lämpligaste förslaget för att uppfylla funktionen bestod av direkt fastsättning av landningsytan mellan grundstommens toppar med tejp som fästelement, vilket visas tydligt med figur 7-2, figur 7-3 och figur 7-4 i avsnitt 7.3.

Utifrån det högst poängsatta konceptet utfördes en verifiering på en prototyp av grundstommen. Detta för att mäta kontaktytan som skapades av tejp mellan grundstommen och landningsytan och därmed också styrkan av fästelementet. Processen och resultatet av beskrivs i avsnitt 7.3. Styrkan av tejp som fästelement vid direkt fastsättning mellan landningsyta och grundstomme beräknades genom ekvation 7.4. En approximerad kraft från vind beräknades, med formel 2.1 från teoriavsnitt 2.4, och simulerades vid avsnitt 4.3 benämnt luftdragkraft. En jämförelse av styrkan av tejp och kraften från vindsimuleringen utfördes genom ekvation 7.5 i avsnitt 7.3, där det konstaterades att styrkan av tejp överkommer kraften av vind.

Den näst högst poängsatta lösningen från resultatet av konceptsållningsmatrisen enligt tabell 7-1, konceptet av en mellanliggande plåtdetalj placerad mellan grundstomme och landningsyta, vidareutvecklades till en integrerad lösning som beskrivs vid avsnitt 8.1. Denna lösning lyftes som ett alternativ till det första förslaget av att tejpa ihop landningsytan direkt mot grundstommen.

Genom två utvecklade lösningsförslag så har frågeställning 2 "Hur kan en fastsättningslösning mellan Stilfolds grundstomme och landningsyta designas?" uppfyllts.

9.3 Frågeställning 3 – Modul mot modul

Liksom i föregående avsnitt, låg produktkravsspecifikationen till grund för de genererade koncepten i avsnitt 6.2. Med avsnitt 7.2 i åtanke, där enklare design uppmuntrades, presenterades det slutgiltiga lösningsförslaget i avsnitt 8.3, som visar på att lösningsförslaget mellan modulerna blivit mindre och mindre komplext. Från flertalet mekaniska fästelement med form- och lägestoleranskrav, till en ihakande aluminiumprofillösning som illustreras i figur 8.3.

Denna typ av ihakning kräver inga monteringsverktyg och eftersom de inte låses fast, tillåts en viss rörelse i alla belastningsriktningar mellan modulerna vilket bör minimera spänningar och öka livslängden på vertiporten. Då aluminium är en metall anses den ingå inom brandklassen A1 som beskrevs i underavsnitt 2.3.3 och är obrännbart, samtidigt som det är korrosionsbeständigt och lämpligt för utomhusbruk. Tejp å andra sidan är inte obrännbart, även om det finns de tejper som är värmetåliga och beskrevs i underavsnitt 2.4.3. Analysen påvisar att dock denna fastsättningslösning uppfyller frågeställning 3, "Hur kan en fastsättningslösning mellan vertiportens moduler designas?", samt studiens syfte.

9.4 Utvärdering av lösningsförslag

Det slutgiltiga helhetskonceptet analyseras här stegvis efter produktkravsspecifikationen – tabell 9.1. Produktkrav som utmärkts med orange transparent fyllning har på något sätt inte eller delvist inte uppnåtts av lösningsförslaget som presenterats i kapitel 8.

Tabell 9-1: Produktkravsspecifikation med villkor

Produktkrav	Kundutlåtande	Egenskap	Uppnått
1a	1	Modulernas yttersta mått skall vara max 1x1 meter.	Ja
1b	1	Fastsättningssystemet skall tillåta skalbarhet.	Ja
2a	2	Antalet monteringssteg i prefabricering skall vara max 10 [st]	Ja
2b	2	Montering vid slutposition ska innefatta ≤ 20 [st] komponenter.	Ja
3a	3	Landningsytan och dess fastsättningslösning bör bygga max 100 [mm] i Z-led.	Delvis
3b	3	Fastsättningssystem och eventuella fästelement skall kunna fraktas volymeffektivt i rektangulära kartonger/lådor.	Ja
4a	4	Landningsytan skall klara brandskyddsreglerna från BBR*	Nej
4b	4	Landningsytan skall tåla belastning, hantering och användning av luftfordon.	Nej
4c	4	Landningsytan skall inte ge upphov till galvanisk korrosion.	Nej
5a	5	Olika typer av nederbörd skall kunna hanteras av fastsättningssystemet.	Ja
5b	5	Vindkrafter ≤ 520 [N] skall kunna hanteras av fastsättningssystemet.	Ja
6	6	Antalet monteringssteg i slutposition skall vara max 10 [st]	Ja
7	7	Tiden att demontera en modul i slutposition skall vara max 60 [s]	Delvis
8	7,8	Fastsättningssystemets olika komponenter skall kunna demonteras och rengöras.	Ja

*Boverkets byggregler

1a. Max-dimensionerna om 1000x1000 mm fastställdes i och med utformningen av Stilfolds grundstomme. Fastsättningssystemet har konstruerat efter dessa dimensioner och skulle grundstommen ändras till mindre längd- och breddmått, kan fastsättningssystemet enkelt anpassas till detta.

1b. Då fastsättningslösningen mellan grundstomme-landningsyta föreslås genomföras av tejping behövs enbart kortare tejplängder. Aluminiumprofilerna som utgör modulfastsättningen är symmetriskt konstruerade, vilket medför att längd- och/eller höjdanpassningar är okomplicerade.

2a. Tejp, till skillnad från lim som beskrivet i avsnitt 4.3.3, tillverkas och levereras med förutbestämda dimensioner. Avsnitt 7.3 visar på enkelheten vid montering där det första monteringssteget var att säkerställa en tillfredsställande vidhäftningsyta genom rengöring. Därpå applicerades tejp på vardera av de tre bågglängderna där det går att argumentera om detta ska tillskrivas som ett eller tre monteringssteg, likaså vid avtagandet av den röda skyddsplasten. Påläggandet av landningsytan vid verifieringens genomförande var det nästkommande och triviala steget. Vid faktisk fabriksproduktion av vertiportmoduler i ett senare skede är sannolikheten stor att en mer noggrann applicering av landningsyta för att upprätthålla repeterbarhet behövs, men detta beaktades inte vid verifieringens genomförande. Resultatet av denna beskrivning resulterar i som mest åtta monteringssteg vilket stämmer överens med produktkravet.

2b. För att fästa samman en vertiportmodul i detta lösningsförslag med en annan krävs enbart två aluminiumprofiler. Som mest kan en modul ha fyra profiler. Detta förutsätter användningen av tejp som fästelement. Kravet är därmed uppfyllt.

3a. Lösningsförslaget mellan landningsyta-grundstomme kommer som mest att bygga ett par millimeter, det beror helt på vilken tejp som väljs i ett senare skede. Det integrerade vinkeljärnet bygger ingenting i höjdd. Lösningsförslaget mellan modulerna anpassas efter höjden på landningsytan och designas av extern partner, vilken inte har något definierat höjd i detta skede. Kravet anses uppnått med de förutsättningarna som finns, men kan ej bekräftas.

3b. Fastsättningssystemet som presenterats i kapitel 8 består av tejp och U-profiler. Då prefabricering av moduler är planerat, medför detta att inget behövs fraktas separat. Skulle det förmodan krävas separat fraktning av någon oförutsedd anledning, är detta genomförbart med detta fastsättningssystem. Detta sker volymeffektivt och kravet är därmed uppfyllt.

4a. Då frågeställningen i tabell 5-1, kundbehov, relaterade till landningsytan och inte själva fastsättningssystemet bidrog det till att detta produktkrav kom att bli mindre relevant efter informationen som delgavs i avsnitt 7.2. Icke desto mindre så bestod koncept 4 och 5, som beskrivits i underavsnitt 6.2.1 och 6.2.2, av rostfritt stål och aluminium, vilka båda hamnar inom materialklassen A1 och definieras som obrännbart, se tabell 2-3. Det genererade konceptet i underavsnitt 6.2.3 designades landningsytan med ett arbiträrt material där enbart dess dimensioner var av betydelse, utan någon djupare analys gällande brandsskyddsklassning.

4b. Likaså här, som nyss beskrivet i produktkrav 4a, blev frågeställningen gällande landningsyta något överflödig. Belastning av drönare och eVTOL:s skall hanteras av Stildfolds grundstomme och dess utformning där landningsytan i stället agerar som en fördelare av belastning.

4c. Detta produktkrav uppnåddes delvis genom lösningsförslaget som presenterades i avsnitt 8.3. Aluminiumprofilerna i lösningsförslaget riskerar inte korrosion då de inte är i fysisk kontakt med något annat material än just aluminium (varandra). Eftersom landningsytan är att betrakta som en "svart låda", kan den ge upphov till galvanisk korrosion beroende på vilket material som väljs där. Som beskrivet i experimentet av den japanska forskningsgruppen i underavsnitt 2.3.1, uppstår galvanisk korrosion först i samband med att aluminium angränsas till ett material med en annan potentialskillnad där den omgivande miljön agerar som en katalysator för detta förlopp.

5a. Fastsättningssystemet kommer behärska nederbörd. Som beskrivet vid underavsnitt 2.4.3 om självhäftande fästelement så nämns det att VHB tejp från 3M är vattentåliga.

5b. Utifrån utförd verifiering, som beskrivs under avsnitt 7.3, uppmättes kontaktytan som bildades av tejp mellan grundstommen och landningsytan. Utifrån kontaktytan så beräknades den potentiella kraft som håller ihop landningsytan och grundstommen. Resultatet beräknades i ekvationerna 7.1-7.4 där resultatet jämfördes i ekvation 7.5 med uppmätt kraft från vind genom simulering i avsnitt 4.3. Fastsättningssystemet behärskar vindkraften på 520 N.

6. Med svaren till 2a och 2b som beskriver monteringssteg vid prefabricering respektive antalet komponenter, så innefattar slutmonteringen att fästa aluminiumprofilerna enligt lösningsförslaget för fastsättning mellan moduler. Placering av tejp på sidorna av landningsytan, följt av att upp till 4 aluminiumprofiler fästs med mot tejp. Detta innefattar som mest 8 monteringssteg, vilket uppfyller kravet.

7. Detta krav mättes inte inom omfattningen av rapporten då inga kompletta moduler fanns att tillgå. Då lösningsförslaget inte innehåller några mekaniska fästelement, uppskattades i stället tiden att haka loss fyra moduler från en centralt placerad modul, för maximal besvärighet, ta max 60 sekunder.

8. Med tejp som fästelement kommer alla komponenter gå att demontera helt utan eller med ett fåtal verktyg. En parentes gällande demontering vid verifieringen som utfördes vid avsnitt 7.3: det upplevdes problemfritt att ta bort "landningsytan" samt alla tejpster för hand. Det bör tilläggas att tejp vid verifieringen var monterad totalt i cirka 10 minuter och utsattes inte för några externa påfrestningar som föråldring genom UV-strålning eller väta. Dessa faktorer har sannolikt en viss påverkan för demonteringsmöjligheterna inför återvinning.

10 Diskussion

Med ett presenterat lösningförslag och en analys av detta, diskuteras här resultaten och hur väl de relaterar till studiens syfte. Vidare utförs en överläggning av studiens metod och tillvägagångssätt samt en reflektion.

10.1 Uppfyllnad av syfte

Studiens mål var att ta fram system för fastsättning inom och mellan vertiportmoduler med Stilfolds grundstomme som utgångspunkt. Litteraturstudien resulterade i att det inte fanns några direkt tekniska förhållningsregler inför konceptgenereringen, följaktligen existerade inte heller några konkurrerande produkter för analys och jämförelse. Extern påverkan genom väder och användningsmiljö hade stor betydelse i detta skede av iPOD-projektet och påverkade val av fästelement samt material. Vidare formade detta kundbehoven och vilka kriterier systemet önskades uppfylla. Det bör nämnas att då de tekniska direktiven inom iPOD ännu inte definierats helt gavs det väldigt fria tyglar inför konceptgenereringen. Detta var bra då få förslag avvisades men även negativt, då tid lades på koncept som visade sig vara ouppnåeliga eller svåra att genomföra praktiskt. De kontinuerliga mötena resulterade därför i meningsfulla dialoger som utvecklade koncepten till något som både uppfyllde studiens syfte samt uppdragivarens behov.

Genom att utnyttja tejpning som det primära fästelementet uppnås flera delar av studiens syften. Det är lättmonterad då det inte krävs några specialverktyg samtidigt som det har en låg vikt och är hälsosammare ur en arbetsmiljösynpunkt som beskrivet i underavsnitt 2.4.3. Att tejp tar bort behovet av form- och lägestoleranser på flertalet ställen på vertiporten ses som ytterligare fördelar då det förenklar tillverkningen, vilket är mer ekonomiskt och effektivt. Däremot kan svårighetsgraden vid demonteringen, för återvinning, variera beroende på vald tejpens vidhäftningsegenskaper och hur dessa åldrats under användning av vertiporten. Demonteringen av vertiportsmoduler uppskattas vara mycket lätt under förutsättningarna att profilsystemet på något sätt skyddas från främmande föremål och korrosion, vilket fastställdes under mötena. Lösningförslaget i avsnitt 8.3 i sin nuvarande utformning är inte på något sätt skyddad från nederbörd varpå risken för vattenansamlingar i aluminiumprofilerna och onödig påfrestning av tejpens vidhäftningsförmåga mot landningsytan är uppenbar. Då landningsytan inte fastställts togs beslutet att inte undersöka hur en skyddande komponent kunnat utformas, utan fokus lades på enkel montering och demontering mellan moduler.

10.2 Metoddiskussion

Under utförandet av datainsamlingen så blev intervjuerna den datainsamlingsmetod som gav mest data och därmed utformade till stor del alla kundbehov. I och med att dessa tolkades till produktkrav, vilka sedan styrde utvecklingen av koncept samt vidareutvecklingen av koncept, så hade intervjuerna ett stor inflytande på resultatet. Metoden fungerade bra då vi fick många möjligheter att diskutera med Stilfold för att styra projektet i en riktning som de var nöjda över. En brist som kan diskuteras kring detta är om intervjuerna tog för mycket plats för att en godtycklig triangulering av metoder genomfördes. Samtidigt som tidigare forskning kring fastsättningslösningar (som var relevant inom detta arbete) var begränsat eller obefintligt, var det inte förvånande att intervjuer med uppdragsgivaren hade sådant inflytande på arbetet utan snarare förväntat.

Verifieringen utförd i avsnitt 7.3 utfördes för att bekräfta hur väl tejp som fästelement direkt på landningsytan skulle fungera som en lösning. Syftet med verifieringen var att undersöka hur stor kontaktytan blev, samt utifrån det beräkna styrkan av tejpens som lösning. Detta kan sedan vara en utgångspunkt för att avgöra hur stor del av grundstommen som faktiskt behöver tejpas samtidigt som funktionen upprätthålls. Det som fungerade bra med metoden var att tydligt visualisera kontaktytan, men brister existerar i utförandet vid mätningar av kontaktytans bredd. Avläsning av bredden med skjutmått genom en plexiskiva skapar höga risker för avläsningsfel, vilket var en bidragande anledning till att vi valde avrundning av decimalerna till intervaller om 0,5 mm. Att mäta med fler decimaler hade varit missvisande för metodens faktiska noggrannhet. Antagandet av att uppmätt data var normalfördelad hade gett möjlighet till ytterligare analys utifrån stokastikteori, men då olika tejper kommer leda till olika stora kontaktytor, hade ytterligare analys bidragit minimalt.

Konceptställningsmatrisen var en lämplig metod för att rangordna koncepten vid kapitel 7. Metoden, som beskrivs i avsnitt 2.5, tillåter användningen av viktning av kriterium då olika kriterium kan vara mer eller mindre viktiga. I denna rapport valdes inte viktning att användas då utformade kriterium ansågs ha likvärdig vikt och betydelse. Detta är ett beslut som togs utifrån feedback från intervjuer med Stilfold och vad författarna tyckte. Detta beslut kan diskuteras ifall ett större underlag för beslutet hade resulterat i en bättre utvärdering av koncepten. En annan viktning hade möjligtvis resulterat i att ett annat koncept utnämnt till vidareutveckling, vilket därmed hade haft en påverkan på resultatet.

I avsnitt 4.3 simulerades och beräknades en luftdragkraft, kraften som påverkar landningsytan när vind blåser på den. I verkligheten så kommer vinden huvudsakligen blåsa från sidan, med en topphastighet av 26 m/s enligt teoriavsnitt 2.2.1. Då grundstommen hade en komplicerad form, så kunde inte SolidWorks aerodynamiksimuleringar utföras. En förenklad beräkning utfördes genom att överskatta påverkan av vind för att garantera att lösningen håller. Vinden antogs därmed blåsa med en riktning vinkelrät mot landningsytan, underifrån. Motiveringen var att en överskattning var godtyckligt för att garantera att lösningen håller även om lösningen kan bli överdimensionerad.

Denna studie är ett akademiskt bidrag i form av att tillämpa metoder för konceptgenerering samt konceptval med konceptsällningsmatris och kan användas som ett underlag för framtidens examensarbeten som avser att använda dessa metoder.

10.3 Reflektion

Uppgiften att presentera ett fastsättningssystem mot en komplex geometri där varken slutprodukten (vertiporten) eller dess produktområdet ej var helt kartlagt kom förstås med vissa utmaningar. Detta begränsade datainsamlingen, vilket påverkade kravformuleringen och därmed slutresultatet.

Tidigt i studien fastställdes det att resultatet kommer vara rent konceptuellt och grundat till största delen i teoretiska antaganden. Även om fastsättningssystemet som presenterats som ett generellt förslag så är det ovisst om användningsområdet kommer sträcka sig bortom uppdragsgivarens behov, likaså hur mycket av systemet som kommer appliceras i en fysisk produkt. Snarare var det studiens olika koncept som var till nytta för uppdragsgivaren där de fick upp ögonen för både mer och mindre lovande tillvägagångssätt, vilket uppfattades komma till nytta för dem framgent.

Studiens värde kommer huvudsakligen genom att skapa idéer och koncept åt uppdragsgivaren Stilfold. Arbetet visar många olika varianter fastsättningslösningar, något som kan inspirera och användas som underlag för att lösa liknande problem.

11 Slutsatser

Studiens syfte var att undersöka och designa system för fastsättning mellan Stilfolds grundstomme och landningsyta samt mellan vertiportmoduler. För att uppfylla syftet presenterades tre frågeställningar som skulle besvaras. Den första frågeställningen om vilka krav fastsättningssystemet behöver uppfylla. Den andra frågeställningen om designförslag för fastsättning mellan grundstomme och landningsytan. Den tredje frågeställningen om designförslag för fastsättning mellan moduler.

Den första frågeställningen som berör krav på fastsättningssystemet, besvarades genom datainsamlingen bestående av intervjuer, litteraturstudier och dokumentstudier. Utförd datainsamling analyserades och användes för att tolka kundbehov och utforma produktkravspecifikationen.

Frågeställning två och tre besvarades på samma tillvägagångssätt. Två konceptgenereringar utfördes för respektive frågeställning. Utifrån resultatet av den första frågeställningen, produktkravspecifikationen, utvärderades och rankades de olika koncepten genom varsin konceptsällningsmatris. De högst rankade koncepten vidareutvecklades till slutgiltiga lösningsförslag. Resultatet för fastsättning mellan grundstomme och landningsyta blev ett förslag av direkt fastsättning mellan grundstomme och landningsyta med tejp. Ett ytterligare slutgiltigt lösningsförslag redovisades bestående av en integrerad vinkeljärnslösning utskuren ur grundstomme ifall mer kontaktyta behövs. Resultatet för fastsättning mellan vertiportmoduler blev en aluminiumprofil som placerades på sidorna av landningsytan som fästes med tejp. Profilen blev utformad på så sätt att den kan hakades fast med motstående modul.

Resultaten från vidareutvecklingen besvarade frågeställningarna och uppfyllnad av studiens syfte. Lösningsförslagen som presenterades för Stilfold möttes positivt och kommer ligga till grund för vidareutveckling inom det pågående projektet. Vidare visade studien en process av systematisk konceptgenerering för att uppnå ett lösningsförslag, denna process kan återanvändas eller förbättras.

11.1 Förslag på fortsatt forskning/arbete

Arbetet för fastsättningslösningar öppnar upp vidare forskning och arbete som kan utföras. Studien utforskade lösningsförslag, men i och med projektets unga ålder och begränsad information var detaljkonstruktion inte möjligt. Detta är därmed ett område som kräver vidare arbete när projektet mognar. Ett kriterium för detta är fastställandet av konkreta krav för belastning som vertiporten behöver tåla, vilket öppnar upp möjligheter av att utforska dimensionering och detaljkonstruktion av fastsättningslösningarna

Utforskandet av ytterligare funktioner så som användandet av en digital landningsyta med integrerade lampor, integrerad laddningsfunktion åt eVTOL, kabeldragning, servicetillgång och tillverkningsbarhet, samt utforskandet av andra potentiella funktioner är också ett område som kräver mer arbete.

Något som diskuterats med Stilfold, men inte inkluderades i denna studie, är utforskandet av en ytterligare fastsättningslösning för att hålla fast vertiporten mot marken. En idé som diskuterades var en stor skruv som fästs från toppen av landningsytan genom ett hål där hörnen av fyra moduler möts, som sedan fästs i marken. Hålet som talas om går att urskilja i mitten av figur 8-1. Att utforska hur detta kan utföras, och vad det innebär för fastsättningssystemet är ett område som bör utforskas.

Utförligare analys utifrån statisk och dynamisk belastning på landningsytan och fastsättningslösningssystemet är ett område som behöver undersökas mer. När tydligare och mer konkreta krav finns på kraftstorlek så blir också en undersökning av fastsättningssystemets dimensionering av relevans. Praktiska experiment för att utforska monterings- och demonteringstid för att ge belägg till att fastsättningssystemet uppfyller kraven av hanterbarhet.

Som nämndes i kapitel 11, har en process för att systematiskt utveckla lösningsförslag använts i denna studie. Denna process, samt metoderna som denna process består av, är samtliga områden som bör studeras och utvecklas ytterligare. Även ytterligare examensarbeten utförda med samma process kommer bidra med ett utökat underlag som visar processens pålitlighet att systematiskt generera lösningsförslag utifrån definierade krav.

12 Referenser

- 3M (u.å). *3M™ VHB™ Architectural Panel Tape G16F*.
https://www.3m.com/3M/en_US/p/d/b40065640/ [Hämtad: 2025-05-19].
- Antonsson A.B., Ancker K., Christensson B. (2002). *Isocyanater och bilglasarbete. Vilka är problemen och hur skyddar man sig?* <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1551434/FULLTEXT01.pdf>.
- Boverket (2025). *1. Karta med vindlastzoner*.
<https://gis2.boverket.se/portal/apps/storymaps/stories/060a93460e334afa963c9b5c89246a6d> [Hämtad: 2025-02-28].
- Callister Jr W.D., Rethwisch D.G. (2016). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Fifth Edition. Singapore: John Wiley & Sons.
- EASA (2022). *Prototype Technical Design Specifications for Vertiports | EASA*.
<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports> [Hämtad: 2025-05-13].
- EASA (2024). *Open Category — Low Risk — Civil Drones | EASA*.
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone/open-category-low-risk-civil-drones> [Hämtad: 2025-05-13].
- EASA (2025). *Certified Category — Civil Drones | EASA*.
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone/certified-category-civil-drones> [Hämtad: 2025-05-13].
- Ehk, J.O., Åberg M. (2023). *Placering av Vertiports – Persontrafik och Gods*.
<https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1844157/FULLTEXT01.pdf>.
- Framtidens stadskärna (2020). *Framtidens stadskärna 2050*.
https://framtidensstadskarna.se/wp-content/uploads/2022/04/Rapport_Framtidens-stadska%CC%88rna-2050.pdf [Hämtad: 2025-01-30].
- Frey D.D., Herder P.M., Wijnia Y., Subrahmanian E., Katsikopoulos K., Clausen D.P. (2009). The Pugh Controlled Convergence method: model-based evaluation and implications for design theory. *Research in Engineering Design*, 20(1), s. 41–58, doi:10.1007/s00163-008-0056-z.
- Frick A. (2022). *Planen: De vill bygga Sveriges första vertiport – i Norrköping*.
<https://www.nyteknik.se/nyheter/planen-de-vill-bygga-sveriges-forsta-vertiport-i-norrkoping/351490> [Hämtad: 2025-06-06].

FSB (2020). *Laddning av fordonsbatterier*.

<https://fsbserver.se/dokument/Laddning%20av%20fordonsbatterier.pdf> [Hämtad: 2025-04-21].

Gujar S., Kshirsagar R. (2024). *Vertiports Market Size, Share & Growth Report - 2032*. Global Market Insights Inc. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/vertiports-market> [Hämtad: 2025-01-30].

Hoerner S.F. (1965). *Fluid-Dynamic Drag*. Second edition.

<https://archive.org/details/FluidDynamicDragHoerner1965/page/n1/mode/2up>.

Huang D., Suarez D., Kang P., Ehmann K. och Cao J. (2023). Robot forming: Automated English wheel as an avenue for flexibility and repeatability. *Manufacturing Letters*, 35, s. 342–349, doi:10.1016/j.mfglet.2023.08.104.

Jarfors A. (2006). *Tillverkningssteknologi*. 3. Lund: Studentlitteratur.

Mrema E., Itoh Y., Kaneko A. (2019). *Galvanic corrosion of aluminium alloy members of bridge guidrails under severe atmospheric exposure conditions*. <https://journals-sagepub-com.ezproxy.its.uu.se/doi/epub/10.1080/1478422X.2018.1548410> [Hämtad: 2025-03-06].

Naturskyddsföreningen (2021). *Energirapport visar att framtiden är fossilfri*.

Naturskyddsföreningen. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/energirapport-visar-att-framtiden-ar-fossilfri/> [Hämtad: 2025-01-30].

Olsson K.O. (2015). *Maskinelement: beskrivning, analys, användning*. 2., [utök.] uppl. Stockholm: Liber.

Outokumpu (u.å.). *Food industry*. <https://www.outokumpu.com/en/industries/appliances/food-industry> [Hämtad: 2025-05-14].

PRV (2023). *Swedish Patent Database, Patent SE 2151044-1, SE 545199*.

<https://tc.prv.se/spd/patent?p1=nCWqpYwaPqF7eM42P9NdVA&p2=DAbQmC0fHIE&content=SE+545199&lang=en&tab=1&hits=true&hitsstart=0&start=0> [Hämtad: 2025-04-24].

Region Västerbotten (2018). *Norrlands universitetssjukhus har Sveriges modernaste helikopterflygplats*. <https://www.regionvasterbotten.se/norrlands-universitetssjukhus-har-sveriges-modernaste-helikopterflygplats> [Hämtad: 2025-05-17].

Ring Groth M. (2001). *Structural Adhesive Bonding of Materials - surface and fracture mechanics aspects*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:991005/FULLTEXT01.pdf>.

RISE (u.å.). *Stora möjligheter med återvunnen aluminium | RISE*. <https://www.ri.se/sv/stora-mojligheter-med-atervunnen-aluminium> [Hämtad: 2025-06-06].

Schimanke S., Joelsson M., Andersson S., Carlund T., Wern L., Hellström S., Kjellström E. (2022). *Observerad klimatförändring i Sverige 1860-2021*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1712682/FULLTEXT01.pdf>.

SiS (2020). *Standard - Fästelement - Hållfasthetsfordringar för fästelement av korrosionsbeständigt rostfritt stål - Del 1: Skruvar och pinnskruvar med specificerade egenskapsklasser (ISO 3506-1:2020) SS-EN ISO 3506-1:2020*. Svenska institutet för standarder, SIS. <https://www.sis.se/produkter/mechaniska-system-och-komponenter/fastelement/bultar-skravar-och-pinnskruvar/ss-en-iso-3506-12020/> [Hämtad: 2025-03-18].

Sjælvgren A. (2021). Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2021:2) om utrustning för laddning av elfordon.

SMHI (2023). *Vind och vindstyrkor*. https://api.screen9.com/embed/Eh_IQfaC7RK83grNTkFLBQ [Hämtad: 2025-02-28].

Stilfold (u.å). *Company | STILFOLD*. <https://www.stilfold.com/pages/company> [Hämtad: 2025-03-20].

Strandberg B., Lavén F. (2021). *Bygga hus: Illustrerad bygglära*. Lund: Studentlitteratur.

Säfssten K., Gustavsson M. (2019). *Forskningsmetodik: för ingenjörer och andra problemlösare*. Upplaga 1. Lund: Studentlitteratur.

Transportstyrelsen (2012). *TSFS 2012_79.pdf*. https://www.transportstyrelsen.se/tsfs/TSFS%202012_79.pdf [Hämtad: 2025-06-06].

Ulrich K.T., Eppinger S.D. (2016). *Product design and development*. Sixth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education.

Vinnova (u.å). *Investigating the Potential of Recycled Aluminum with Origami Technology for the Modern Drone Ports*. Investigating the Potential of Recycled Aluminum with Origami Technology for the Modern Drone Ports. https://www.vinnova.se/en/p/investigating-the-potential-of-recycled-aluminum-with-origami-technology-for-the-modern-drone-ports/?_t_tags=language%3asv%2csiteid%3a6a0eda26-a5be-4f47-a778-b9393a63f812%2clanguage%3aen&_t_hit.id=Vinnova_Models_Pages_ProjectPage/_6c19365b-a6ad-4f6b-8d47-1672980dcba3_en&_t_hit.pos=2 [Hämtad: 2025-01-30].

Walker J., Resnick R., Halliday D. (2014). *Fundamentals of physics*. 10th edition. Hoboken, NJ: Wiley.

Wern L. (2013). *Luftfuktighet*. <https://smhi.diva-portal.org/smash/get/diva2:948086/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad: 2025-03-06].

Wikipedia (u.å.). Luftfuktighet. I: *Wikipedia*.

<https://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Luftfuktighet&oldid=56255494> [Hämtad: 2025a-03-06].

Wikipedia (u.å.). Svart låda. I: *Wikipedia*.

https://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Svart_l%C3%A5da&oldid=54864305 [Hämtad: 2025b-05-25].

Xu Y., Li Y., Chen T., Dong C., Zhang K. och Bao X. (2024). A short review of medical-grade stainless steel: Corrosion resistance and novel techniques. *Journal of Materials Research and Technology*, 29, s. 2788–2798, doi:10.1016/j.jmrt.2024.01.240.

Östman K. (2019). *Fossilfritt, förnybart, flexibelt - Framtidens hållbara energisystem*. Stockholm: Naturskyddsföreningen.

https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2021/05/11102916/fossilfritt_fornybart_flexibelt_-_framtidens_hallbara_energisystem.pdf.

Bilagor























Bilaga 1 – Luftmotståndskoefficienter

Bilaga 2 – Verksamhets- och byggnadsklasser

Bilaga 3 – Fotodokumenterade värden vid verifiering

Bilaga 1 – Luftmotståndskoefficienter

Luftmotståndskoefficienter för vanliga geometriska former. Vänster kolumn för tredimensionella former, höger kolumn är för tvådimensionella former (Hoerner, 1965).

SHAPE	REF.	C_{D_0}	SHAPE	REF.	C_{D_0}
 STRING SUPPORT		0.47 ₉		—	1.17 ₉
 (c)		0.38	 (a)		1.20
 (c)		0.42	 (a)		1.16
 (e)		0.59 ₉	 (d)		1.60 ₉
 CUBE (f)		0.80 ₉	 (e)		1.55
 60° (d)		0.50	 (a)		1.55
 SEPARATION		1.17	 VORTEX STREET		1.98
 (c)		1.17	 (a)		2.00
 (b)		1.42	 (a)		2.30
 (a)		1.38	 (b)		2.20
 CUBE (f)		1.05 ₉	 (a)		2.05 ₉

Bilaga 2 – Verksamhets- och byggnadsklasser

<p>a)</p> <table> <tr> <th colspan="2">Verksamhetsklasser</th></tr> <tr> <td>Vk 1</td><td>Industri, kontor, lager</td></tr> <tr> <td>Vk 2</td><td>Samlingslokaler</td></tr> <tr> <td>Vk 2A</td><td>Lokal för högst 150 personer (skolor, butiker, vårdcentraler, biografier, restauranger...)</td></tr> <tr> <td>Vk 2B</td><td>Samlingslokal som Vk 2A men för fler än 150 personer</td></tr> <tr> <td>Vk 2C</td><td>Samlingslokal som Vk 2B där det serveras alkohol i mer än begränsad omfattning (diskotek, större pubar och nattklubbar)</td></tr> <tr> <td>Vk 3</td><td>Bostäder</td></tr> <tr> <td>Vk 3A</td><td>"Vanliga" bostäder</td></tr> <tr> <td>Vk 3B</td><td>Gemensamhetsboende</td></tr> <tr> <td>Vk 4</td><td>Hotell</td></tr> <tr> <td>Vk 5</td><td>Vårdmiljöer</td></tr> <tr> <td>Vk 5A</td><td>Förskola, daglig verksamhet</td></tr> <tr> <td>Vk 5B</td><td>Behovspövade särskilda boenden</td></tr> <tr> <td>Vk 5C</td><td>Lokaler för hälso- och sjukvård (sjukhus)</td></tr> <tr> <td>Vk 5D</td><td>Lokaler för personer som är inlåsta (häkten, fängelser, anstalter eller psykiatrisk tvångsvård)</td></tr> <tr> <td>Vk 6</td><td>Lokal med förhöjd sannolikhet för uppkomst av brand ("brandfarlig verksamhet")</td></tr> </table>	Verksamhetsklasser		Vk 1	Industri, kontor, lager	Vk 2	Samlingslokaler	Vk 2A	Lokal för högst 150 personer (skolor, butiker, vårdcentraler, biografier, restauranger...)	Vk 2B	Samlingslokal som Vk 2A men för fler än 150 personer	Vk 2C	Samlingslokal som Vk 2B där det serveras alkohol i mer än begränsad omfattning (diskotek, större pubar och nattklubbar)	Vk 3	Bostäder	Vk 3A	"Vanliga" bostäder	Vk 3B	Gemensamhetsboende	Vk 4	Hotell	Vk 5	Vårdmiljöer	Vk 5A	Förskola, daglig verksamhet	Vk 5B	Behovspövade särskilda boenden	Vk 5C	Lokaler för hälso- och sjukvård (sjukhus)	Vk 5D	Lokaler för personer som är inlåsta (häkten, fängelser, anstalter eller psykiatrisk tvångsvård)	Vk 6	Lokal med förhöjd sannolikhet för uppkomst av brand ("brandfarlig verksamhet")	<p>b)</p> <table> <tr> <th colspan="2">Byggnadsklasser</th></tr> <tr> <td>Br 0</td><td>Byggnader med fler än 16 våningsplan, större byggnader med verksamhetsklass 5C, byggnader med verksamhetsklass 5D och byggnader med vissa typer av samlingslokaler</td></tr> <tr> <td>Br 1</td><td>Byggnader med fler än två våningar. Tvåvåningsbyggnader i verksamhetsklass 4, 5A, 5B eller 5C. Byggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C på andra våningsplanet.</td></tr> <tr> <td>Br 2</td><td>Byggnader med två våningsplan avsedda för fler än två lägenheter. Tvåvåningsbyggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C i bottenplanet. Envåningsbyggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C i eller under bottenvåningen. Envåningsbyggnader med bostäder och lokaler i verksamhetsklasserna 5B eller 5C. Byggnader större än 200 m² och som inte delas in i brandsektioner i högst denna storlek.</td></tr> <tr> <td>Br 3</td><td>Övriga byggnader, det vill säga envåningsbyggnader med ovanstående undantag, samt bostadshus i högst två våningar och med högst två lägenheter</td></tr> </table>	Byggnadsklasser		Br 0	Byggnader med fler än 16 våningsplan, större byggnader med verksamhetsklass 5C, byggnader med verksamhetsklass 5D och byggnader med vissa typer av samlingslokaler	Br 1	Byggnader med fler än två våningar. Tvåvåningsbyggnader i verksamhetsklass 4, 5A, 5B eller 5C. Byggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C på andra våningsplanet.	Br 2	Byggnader med två våningsplan avsedda för fler än två lägenheter. Tvåvåningsbyggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C i bottenplanet. Envåningsbyggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C i eller under bottenvåningen. Envåningsbyggnader med bostäder och lokaler i verksamhetsklasserna 5B eller 5C. Byggnader större än 200 m ² och som inte delas in i brandsektioner i högst denna storlek.	Br 3	Övriga byggnader, det vill säga envåningsbyggnader med ovanstående undantag, samt bostadshus i högst två våningar och med högst två lägenheter
Verksamhetsklasser																																											
Vk 1	Industri, kontor, lager																																										
Vk 2	Samlingslokaler																																										
Vk 2A	Lokal för högst 150 personer (skolor, butiker, vårdcentraler, biografier, restauranger...)																																										
Vk 2B	Samlingslokal som Vk 2A men för fler än 150 personer																																										
Vk 2C	Samlingslokal som Vk 2B där det serveras alkohol i mer än begränsad omfattning (diskotek, större pubar och nattklubbar)																																										
Vk 3	Bostäder																																										
Vk 3A	"Vanliga" bostäder																																										
Vk 3B	Gemensamhetsboende																																										
Vk 4	Hotell																																										
Vk 5	Vårdmiljöer																																										
Vk 5A	Förskola, daglig verksamhet																																										
Vk 5B	Behovspövade särskilda boenden																																										
Vk 5C	Lokaler för hälso- och sjukvård (sjukhus)																																										
Vk 5D	Lokaler för personer som är inlåsta (häkten, fängelser, anstalter eller psykiatrisk tvångsvård)																																										
Vk 6	Lokal med förhöjd sannolikhet för uppkomst av brand ("brandfarlig verksamhet")																																										
Byggnadsklasser																																											
Br 0	Byggnader med fler än 16 våningsplan, större byggnader med verksamhetsklass 5C, byggnader med verksamhetsklass 5D och byggnader med vissa typer av samlingslokaler																																										
Br 1	Byggnader med fler än två våningar. Tvåvåningsbyggnader i verksamhetsklass 4, 5A, 5B eller 5C. Byggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C på andra våningsplanet.																																										
Br 2	Byggnader med två våningsplan avsedda för fler än två lägenheter. Tvåvåningsbyggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C i bottenplanet. Envåningsbyggnader med samlingslokaler i verksamhetsklass 2B eller 2C i eller under bottenvåningen. Envåningsbyggnader med bostäder och lokaler i verksamhetsklasserna 5B eller 5C. Byggnader större än 200 m ² och som inte delas in i brandsektioner i högst denna storlek.																																										
Br 3	Övriga byggnader, det vill säga envåningsbyggnader med ovanstående undantag, samt bostadshus i högst två våningar och med högst två lägenheter																																										

Bilaga 3 – Fotodokumenterade värden vid verifiering

Uppmätta och markerade mätvärden från verifiering i avsnitt 7.3.

