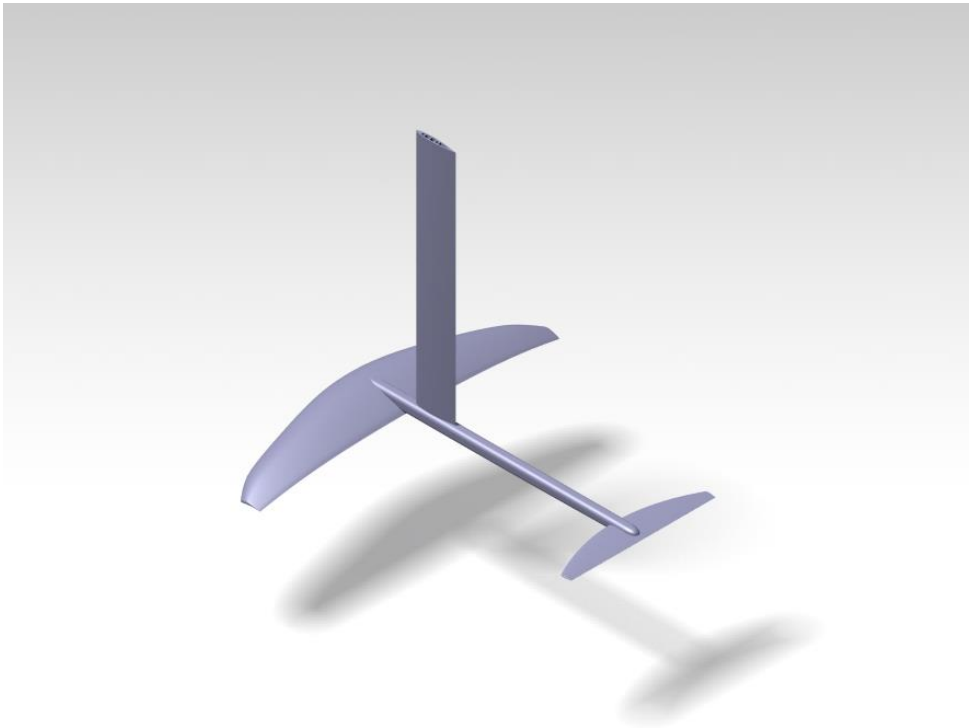


Vidareutveckling av en hydrofoil

- Konstruktion av ett hydrodynamiskt bärplan till en foilande surfbräda

Examensarbete inom högeskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

David Randby
Simon Svensson Qvistberg

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Mekanik- och maritima vetenskaper
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, 2022
www.chalmers.se

Examensarbete 2022

Vidareutveckling av en hydrofoil

Konstruktion av ett hydrodynamiskt bärplan till en foilande surfbräda

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
MMSX25
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2022

Vidareutveckling av en hydrofoil
Konstruktion av ett hydrodynamsikt bärplan till en foilande surfbräda

© David Randby, Simon Svensson Qvistberg, 2022

Handledare: Arash Eslamdoost
Examinator: Arash Eslamdoost

Examensarbete 2022
Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon+ 46 (0)31-772 1000

Omslagsbild: Rendering i Catia av den slutgiltiga lösningen av hydrofoilen.

Sammanfattning

Detta arbete syftar till att vidareutveckla ett befintligt bärplan som sitter på en elektrisk surfbräda. Problemet med det befintliga bärplanet är att det upplevdes ostabilt vid drift. Bärplanet som vidareutvecklas var en del av två tidigare kandidatarbeten EENX152189 och EENX15-21-29, som på uppdrag av företaget ESSIQ skulle ta fram ett fungerande koncept på en elektrisk surfbräda. Rapporten beskriver bakgrunden till varför detta arbete utförs, samt metoden för framtagandet av designen. Till en början bröts bärplanet ner i framvinge, bakvinge och fuselage som designades var och en för sig. Därefter simulerades varje enskild del innan allt sattes ihop till ett och samma bärplan. Hela designen simulerades därefter för att säkerställa att den uppfyller de satta kraven på kriterielistan gällande lyftkraft vilket den gjorde med marginal.

Slutgiltiga designen fick både öka lyftkraft och minskad dragkraft gentemot det gamla bärplanet. Den minskade dragkraften bör rent teoretiskt öka stabiliteten vid drift då turbulensen i flödet kring bärplanet minskar. Detta bör även verifieras rent praktiskt genom att tillverka bärplanet med den design som projektet tagit fram. En stor anledning till den minskade dragkraften berodde på att geometrin för hela bärplanet gjordes mer strömlinjeformad än tidigare koncept, vilket tillät ett mjukare flöde runt kroppen.

Abstract

The aim of this work is to further develop an existing foil of an electric surfboard. The problem with the existing foil is that it was perceived as unstable during operation. The foil that is being further developed was a part of two previous bachelor theses EENX15-21-89 and EENX15-21-29. On behalf of the company ESSIQ the other two projects were instructed to develop a working concept for an electric surfboard. This report describes the background to why this work was carried out, as well as the method for how it was designed. At first, the foil was broken down into three separate parts. The front wing, the rear wing, and the fuselage, which then were designed individually. After that, each of the individual parts was simulated before everything was put back together again into one foil. The entire design was then simulated to confirm that the foil fulfilled the requirements of the criteria list regarding lifting power, which was confirmed that it did.

The final design had both increased lifting force and reduced drag force compared to the old foil. The reduced drag should theoretically increase the stability during operation as the turbulence in the flow around the foil decreases. This should also be verified in practical terms by manufacturing the foil with the design that the project has developed. A major reason for the reduced drag was due to the fact that the geometry of the entire foil is made more streamlined than the previous concept, which allows a smoother flow around the body.

Erkännanden

Projektgruppen vill rikta ett stort tack till Jonas, Carl, och Henrik på ESSIQ som har gjort detta kandidatarbete möjligt.

Gruppen vill också rikta ett tack till examinatorn Arash Eslamdoost som har varit ett stort stöd under hela arbetets gång. Och ett till Jens Petrusson som har varit ett stort stöd under konstruktionsdelen av arbetet.

Innehållsförteckning

Innehåll

1 Inledning ... 1
1.1 Bakgrund ... 1
1.2 Syfte ... 2
1.3 Frågeställningar ... 2
1.4 Avgränsningar ... 2
2 Teoretisk referensram ... 3
2.1 Bärplan ... 3
2.1.1 Vanligt förekommande termer vid vingar ... 3
2.2 Strömningsmekanik ... 5
2.2.1 Övergripande om strömningsmekanik ... 5
2.2.2 Flöden ... 5
2.2.3 Reynoldstal ... 6
2.3 Vingteori ... 7
2.3.1 Vingprofiler ... 9
2.3.2 Beräkningar och formler ... 10
2.4 Simulering och beräkningsprogram ... 12
3 Metod ... 13
3.1 Förstudie ... 13
3.2 Insamling av data ... 13
3.2.1 Konkurrenter ... 13
3.2.2 Tidigare arbeten ... 13
3.3 Analyseringsmetoder ... 14
3.3.1. STAR-CCM+ ... 14
3.3.2. ANSYS ... 16
3.3.3. CATIA ... 16
3.4 Kundbehovsanalys ... 16
3.5 Kriteriespecifikation ... 16
4 Konceptutveckling ... 17
4.1 Analys av befintligt bärplan ... 18
4.2 Koncept av framvinge ... 19
4.2.1 Koncept 1 ... 21
4.2.2 Koncept 2 ... 22
4.2.3 Flödessimulering av framvingar ... 23
4.2.4 Analys av flödessimulering ... 24
4.3 Konceptutveckling av bakvinge ... 26
4.3.1 Koncept 1 bakvinge ... 27
4.3.2 Koncept 2 bakvinge ... 28
4.3.3 Flödessimulering av bakvingar ... 29
4.3.4 Koncept 3 bakvinge ... 30
4.4 Konceptutveckling av fuselage ... 33
4.4.1 Konstruktionsberäkningar av fuselage i ANSYS ... 34
5 Resultat ... 36
5.1 Bärplan ... 36
5.1.1 Framvinge ... 36
5.1.2 Bakvinge ... 38
5.1.3 Fuselage ... 39

5.1.4 Hydrofoil 40
6 Diskussion 43
6.1 Grunden för arbetet 43
6.2 STAR CCM+ 44
7 Slutsatser 45
8 Referenser 46

Bilaga 1 – 4

1 Kriterielista

2–4 Resultat av simulering

5–8 Tryckfördelning och virvelbilder från simuleringar

1 Inledning

En aktivitet som har funnits under många år och som människan länge haft som nöje är vågsurfing. I vågsurfing nyttjas havets vågor för att kunna surfa och ta sig framåt. Under själva surfingen utsetts brädan för friktion från vattnet som gör att när vågen slutligen avtar, går det ej att fortsätta surfa. [1]
En foilande surfbräda är en surfbräda som i kombination med ett bärplan tar sig fram på vattnet med mindre friktionsmotstånd än den vanliga surfbrädan då brädan på en foilande surfbräda är upplyft över vattnet och bärplanet är det enda som utsätts för vattenflödet. Bärplanet och surfbrädan är sammanlänkade genom en smal mast. [2] [3] I rapporten behandlas bärplanet och masten till en foilande surfbräda.

1.1 Bakgrund

På senare år har det blivit allt vanligare med elektriska surfbrädor och foilsurfbrädor eftersom de är oberoende av vågor för att kunna surfa [4]. Nackdelen med elektriska surfbrädor utan foil är att tiden som det går att åka är förhållandevis kort eftersom brädan hela tiden utsätts för ett relativt stort motstånd från vattnet. Monteras det däremot en motor på masten ger det en avsevärt längre drifttid tack vare det minskade motståndet.

Teknikkonsultföretaget ESSIQ har en ambition att ta fram en elektrisk foilsurfbräda med en prestanda som är tilltalande. Den ska vara riktad åt en bred målgrupp när det gäller både användarvänlighet och pris än de brädor som idag finns på marknaden.

1.2 Syfte

Projektets syfte är att vidareutveckla bärplanet på en befintlig prototyp av en elektrisk surfbräda till att den blir mer stabil och lättare att manövrera vid upplyft läge. Den nuvarande konstruktionen fungerade till viss del men gav inte de önskade egenskaperna som efterfrågades. Den blev svårstyrd, vinglig och genererade inte tillräckligt med lyftkraft för att anses vara tillfredställande. Därav behöver en ny konstruktion skapas som ger de efterfrågade egenskaperna. Projektet omfattar analyser av hur bärplanet beter sig i vattnet, flödessimuleringar samt konstruktionsberäkningar. De ingående delarna ger ett vetenskapligt stöd till ett tillförlitligt resultat. Resultatet förväntas vara ett nykonstruerat bärplan som stabiliserar brädan och samtidigt har en låg motståndkraft.

1.3 Frågeställningar

Hur påverkar bärplanets utformning stabiliteten på den foilande surfbrädan?

Hur påverkar vingarnas geometri lyft- och dragkraften?

1.4 Avgränsningar

För att utföra projektet med ett tillförlitligt resultat och enligt tidsplanen krävs att en del avgränsningar görs inom arbetet. Det beror på den begränsade kunskapen som medlemmarna besitter i de olika områdena. Projektet omfattar inte surfbrädans elektriska delar såsom motor, batteri samt reglerteknik eftersom studenternas inriktning specificeras i konstruktionsämnen. Surfbrädan kommer inte heller vara en del av utvecklingsarbetet. Tillverkning och tillverkningskostnader tas inte i beaktning vid projektet. Rapporten behandlar bärplanet som har de ingående delarna mast, fuselaget samt främre och bakre vingprofil.

2 Teoretisk referensram

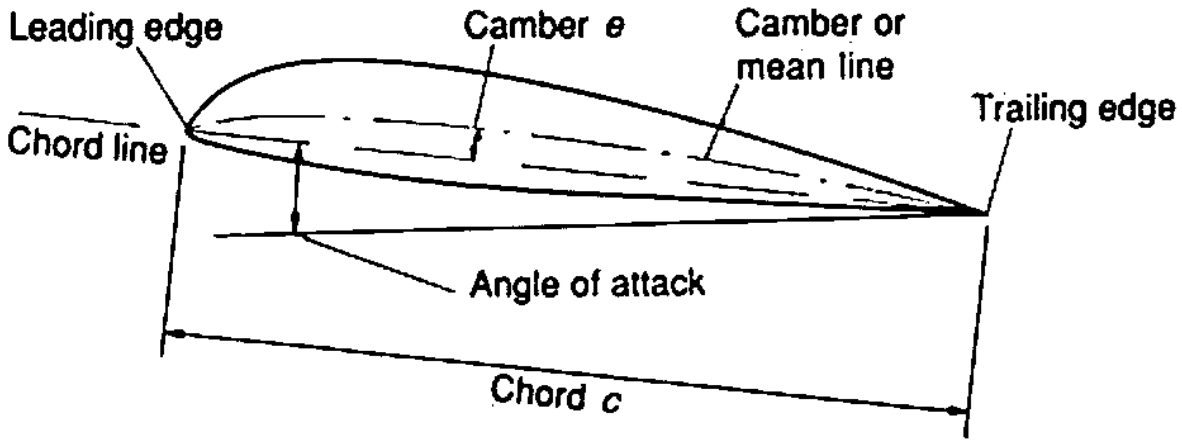
Under teoretisk referensram redogörs både termer och ekvationer som kommer att användas flitigt under arbetets gång för att läsaren enklare ska förstå.

2.1 Bärplan

Enkelt förklarat är ett bärplan en vinge som används i vatten för att få lyftkraft. Fördelen som ett bärplan ger till en farkost på vatten är att det motstånd som vatten orsakar på farkostens kropp minskas. Detta då det enbart är ytan av bärplanet som är i kontakt med vattnet vid drift. Bärplanet fungerar på precis samma sätt som ett flygplan där lyftkraft genereras vid drift och som får surfbrädan att lyfta. Det går därför att använda samma teori vid beräkningar som används för en flygplansvinge när det kommer till antaganden och formler. [2]

2.1.1 Vanligt förekommande termer vid vingar

Det förekommer en hel del olika termer när det gäller bärplan. Alla termer rör olika delar och parametrar som påverkar bärplanets funktion och prestanda. De mest förekommande termerna förklaras enkelt nedan. [5]



Figur 1, *Vanliga termer och vart dem finns på en vingprofil.* [6]

2.1.1.1 Anfallsvinkel

Kordalinjen används alltid som referens för att bestämma anfallsvinkeln. Anfallsvinkeln är den vinkel mellan det anströmmande mediet och kordan och brukar benämnas som (α). Med bestämd anfallsvinkeln går det att beräkna både lyftkraft- och dragkraftskoefficienterna. Ökas anfallsvinkeln genereras generellt en större lyftkraft men samtidigt även en större dragkraft.

2.1.1.2 Lyftkrafts- och dragkoefficienter

Är två enhetslösa konstanter som beror på vald anfallsvinkel och hur vingarna på bärplanet är utformade. Det går att bestämma dessa konstanter genom att utföra simuleringar på valda vingprofiler. Båda konstanterna är beroende av varandra vilket innebär att om lyftkraften ökar, ökar även dragkraften.

2.1.1.3 Kordalängd

Vid en titt på genomskärningen av vingens profil är kordalängden den längd som blir om ett rakt streck dras från den punkt som befinner sig allra längst fram på vingen, till den punkt som befinner sig allra längst bak. Kordalängden används vid beräkningar av olika profiler på vingarna.

2.1.1.4 Aspect ratio

Är ett mått på förhållandet mellan kordalängden och vingens totala bredd. Generellt sett åstadkoms ett bättre samspel mellan lyft- och dragkoefficienten ju högre aspect ratio som används.

2.1.1.5 Camber

Välvningen av vingprofilen beskrivs av avståndet emellan kordalängden till medelcambern. Medelcambern i sin tur är en linje som går genom vingprofilen och har lika långt avstånd till ovansidan som undersidan igenom hela vingen. Se bilden nedan för en tydligare förklarning.

2.2 Strömningsmekanik

Grundkunskap i strömningsmekanik underlättar förståelsen för en läsare eftersom mycket av den strömningsmekaniska teorin som presenteras är direkt tillämpad till projektet. En viktig aspekt att förstå är hur ett föremål påverkas när det utsätts för strömning av ett medium. Detta då vingens geometri påverkar hur mediet beter sig runt om vingen.

2.2.1 Övergripande om strömningsmekanik

Strömningsmekanik är läran om fluider, antingen i ett flöde eller i vila. Både gaser och vätskor klassas som fluider. Det finns oändligt många ingenjörsproblem som kan tillämpas med hjälp av fluider som till exempel flygplan, bilar, turbiner, rör och motorer. [7] Strömningsmekanik används i stor utsträckning till att analysera de krafter som påverkar en kropp under inflytande av vatten eller luft. Även andra tillämpningar förekommer såsom att bestämma en fluids påverkan av massa eller värme under transport [8]

2.2.2 Flöden

Flöden kan förekomma i två olika former, som laminärt och turbulent. Laminärt flöde innebär att flödet är välordnat. Rörelsen av fluiden sker i skikt längs med flödesriktningen. Den allra vanligaste typen av flöde är turbulent flöde. Turbulent flöde är oordnad strömning med en stor virvelintensitet. Turbulenta flöden uppstår ofta i fluider med låg viskositet och turbulensen utvecklas genom instabilitet i den laminära strömningen. Det som bestämmer om ett flöde är laminärt eller turbulent är Reynoldstalet. [9]

2.2.3 Reynoldstal

Reynoldstal är en dimensionslös storhet inom hydromekaniken. Storheten är döpt efter ingenjören Osborne Reynolds. Reynolds tal beskriver inverkan av den inre friktionen på en fluid i rörelse. Om en fluid har ett laminärt flöde ligger Reynolds talet under 2300 och om Reynoldstalet överskrider 3000 betyder det att flödet är turbulent. Området mellan 2300 och 3000 är ett övergångsområde mellan turbulent och laminärt flöde [10]

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{VL}{v} \qquad \text{(Ekv 1)}$$

ρ= Densiteten av fluiden
V= Flödeshasigheten
L= Längden av föremålet
μ= mediets dynamiska viskositet
v= mediets kinematiska viskositeten

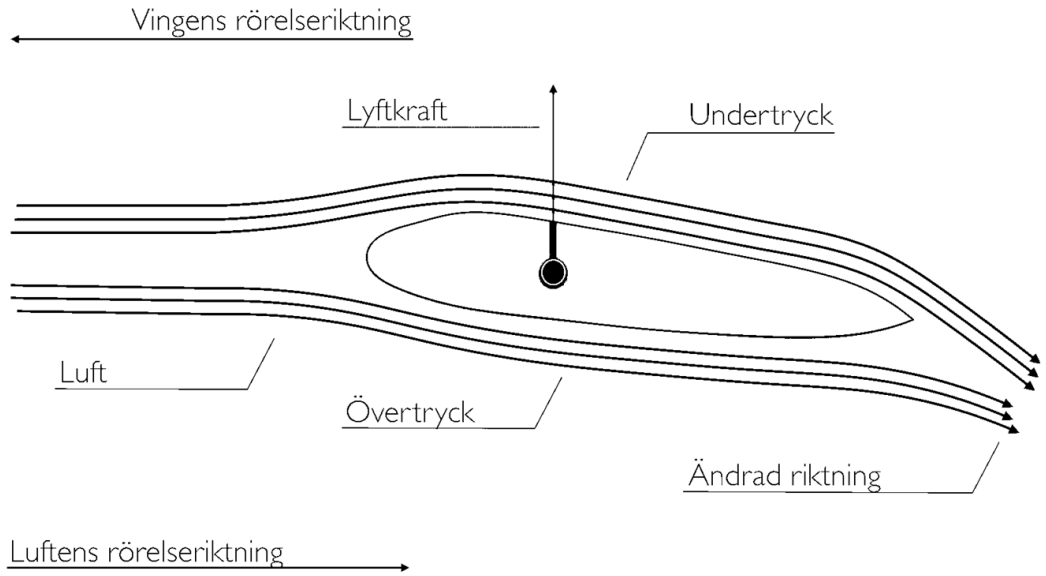
Reynoldstalet är en viktig parameter vid analyser av flöden runt föremål eftersom det möjliggör en noggrannare analys om hur flödet beter sig runt föremålet. [11] Vid flöden eftersträvas ofta ett laminärt flöde. Det laminära flödet skapar mjuka flödeslinjer vilket underlättar en analys. Det turbulenta flödet är oförutsägbart och det är svårt att uppskatta hur föremålet påverkas. Reynoldstalet är användbart vid testning av modeller. En modell i mindre skala med samma geometriska form och liknande kinematik kan analyseras då Reynoldstalet blir detsamma.

2.3 Vingteori

Vingteorin i projektet bygger på hur vingarnas utformning kan ge upphov till lyftkraft. Det finns många typer av vingar med olika funktioner. Ett exempel på funktion kan vara flygplansvingar som vill generera lyftkraft. En annan funktion kan vara att vingarna ska generera ”downforce” ner mot backen som på Formel 1 bilar för att få bättre kontakt med underlaget. Detta projekt är inriktat på bärplanet till en foilande surfbräda vars uppgift är att generera lyftkraft under vattnet vid drift. Vid beräkning av lyftkrafter och dragkrafter följer samma principer och teorier som används för en flygplansvinge.
Forskningen om hur lyftkraften uppstår är komplex men det finns förenklade förklaringar som kan beskrivas genom Bernoullis ekvation. [12] Inom vetenskapen föredras att förklaringen ska baseras på Newtons lagar men för att lättare kunna förstå används Bernoullis. Förklaringen är inte vetenskapligt korrekt men förenklingen visar principen.

$$konstant = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z \qquad \text{(Ekv 2)}$$

Genom att studera ekvationen går det att se att trycket minskar vid en ökad hastighet för att ekvationen ska stämma. Det förutsätter att densiteten (ρ), gravitationen (g) och höjden(z) över backen är oförändrad.



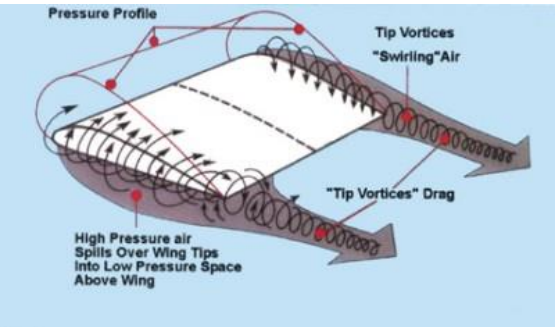
Figur 2, *Förenkling av hur lyftkraft genereras* **[13]**

Teorin tillämpad till en vinge kan förklaras genom att hastigheten på övre sidan av vingprofilen ökar vilket bildar ett undertryck. Luften som färdas på undersidan får då en lägre hastighet och därmed ett övertryck. Den resulterande flödesriktningen blir då mer vertikal än ursprungsriktningen. Detta genererar en lyftkraft i motsatt riktning till gravitationen. När lyftkraften överstiger gravitationskraften börjar vingen att flyga. Lyftkraften som genereras är olika för olika vingprofiler. Något som även förstärker lyftkraften är den anfallsvinkel som vingprofilen monteras med på kroppen. [14]

Att en vinge skapar lyftkraft är inte den enda kraften som uppstår vid en vingprofil med ett medium som strömmar runt om. Vid all strömning kring ett föremål skapas en dragkraft som beror på många parametrar. Dragkraften existerar endast om en kropp är i kontakt med en fluid under rörelse. Dragkraften uppstår genom hastighetsdifferenser mellan fluiden och föremålet. Det spelar ingen roll om det är fluiden eller föremålet som rör på sig. Dragkraften som uppstår är alltid i motsatt färdriktning och storleken är beroende av flertalet parametrar. Föremålets yta, fluidens viskositet och föremålets utformning vid färdriktning är några få exempel på vad som kan påverka dragkraften.

Vid all form av lyftkraft genereras även ytterligare en dragkraft som kallas för inducerat motstånd. Dragkraften uppstår genom att lyftkraftsvektorn inte är en punktkraft utan varierar över vingprofilen. Tryckskillnaden mellan ovansidan och undersidan av profilen skapar vid vingspetsarna en virvel som kommer påverka dragkraften. Dessa spetsvirvlar bildas eftersom naturen alltid strävar efter att vara i jämvikt. När det då bildas ett undertryck ovanför vingen och ett övertryck under vingen så strävar naturen efter att jämna ut dessa tryckskillnader. Vad som sker vid vingspetsarna är då att undertrycket tenderar att klättra över vingspetsarna till ovansidan utav vingen. När detta sker skapas spetsvirvlarna som går att se i *figur 3*. [15].

.



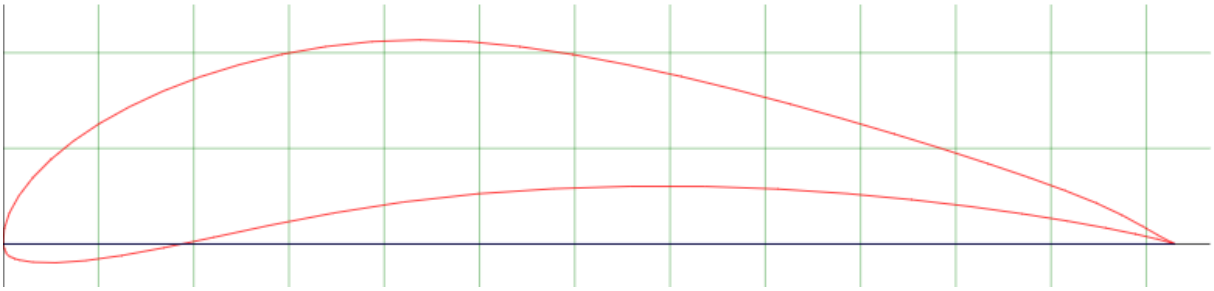
Figur 3 *Visualisering av hur vingspetsvirvlar uppstår* **[31]**

2.3.1 Vingprofiler

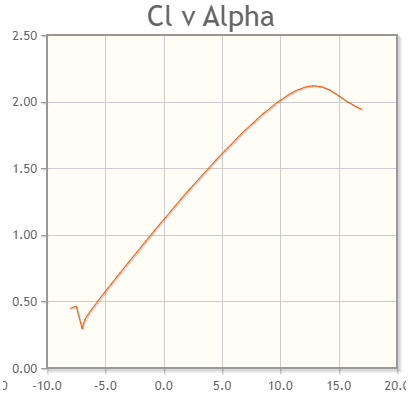
Vinggeometrierna som är avsedda att förbättras har profilerna NACA0012 och EPPLER 420. [16]

EPPLER420

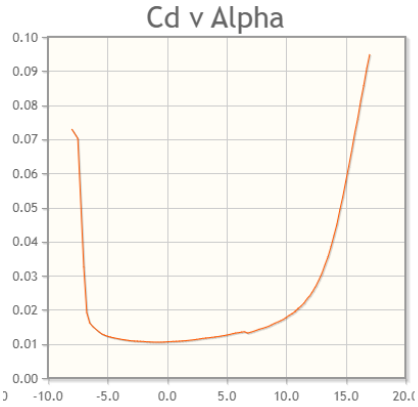
Framvingen som användes på bärplanet har vingprofilen EPPLER 420. Vingprofilen är en asymmetrisk profil som genererar en lyftkraft även när anfallsvinkeln är noll. Det beror på att mediet som strömmar ökar hastigheten på ovansidan och skapar en tryckskillnad mellan över och ovansidan på profilen. [16]



Figur 4, *Vingprofil EPPLER 420* **[17]**



Figur 5 *Lyftkoefficienten, anfallsvinkelsdiagram för Eppler 420*

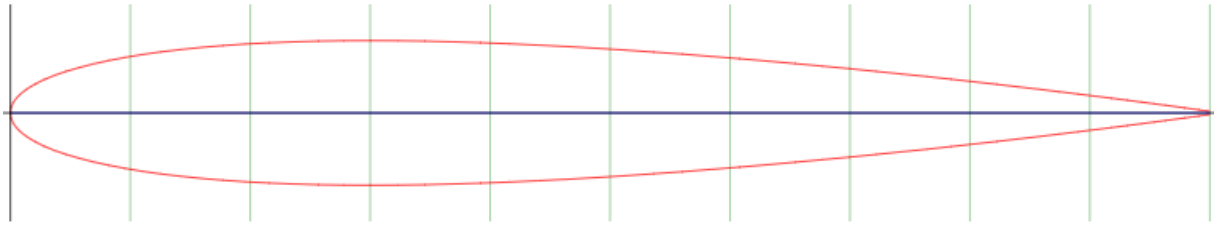


Figur 6 *Dragkoefficienten, anfallsvinkelsdiagram för Eppler*

Diagrammen visar lyft och dragkoefficienterna på vertikalaxeln och anfallsvinkeln på horisontalaxeln. Diagrammen gäller för Eppler 420 vid ett reynoldstal på 1 000 000.

NACA0012

NACA0012 är en symmetrisk vingprofil som användes på bakvingen. NACA är en serie profiler som är skapade av NASA. Att en vingprofil är symmetrisk innebär att den är spegelvänd vid kordalinjen. Symmetriska vingprofiler ger inte upphov till någon lyftkraft utan en anfallsvinkel, däremot uppkommer det en dragkraft. [16]



Figur 7, *Vingprofil NACA* 0012 **[18]**

2.3.2 Beräkningar och formler

För att optimera vinggeometrin enligt projektets syfte behövs en förståelse för beräkningsmetoderna för de olika krafterna som uppstår. Formlerna som används för att räkna ut de olika krafterna ger en bra förståelse för vilka parametrar som påverkar resultatet i olika riktningar.

2.3.2.1 Lyftkraft

Lyftkraften beskrivs av formeln:

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 A_p \qquad \text{(Ekv 3)}$$

Där ρ är densiteten på fluiden, V är hastigheten på föremålet och A_p är kordalängden multiplicerat med vingspannet.

C_L är lyftkoefficienten och den innehåller alla komplexa parametrar såsom geometri, flödesegenskaper och vilken lutning vingen träffas av fluiden med. Lyftkoefficienten är ofta framtagen genom en experimentell framtagning av lyftkraften. Ett exempel på en experimentell framtagning är att läsa av lyftkraften i en vindtunnel. För att beräkna koefficienten teoretiskt kan formeln för ändlig vinge skrivas som. [19]

$$C_L \approx \frac{2\pi \sin(\alpha + 2h/c)}{1 + 2/AR} \qquad \text{(Ekv 4)}$$

AR= aspect ratio

h/c= maximala camber avståndet (gäller endast för symmetriska profiler).

α= anfallsvinkeln

2.3.2.2 Dragkraft

Dragkraften beskrivs av formeln:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A_p \quad \text{(Ekv 5)}$$

Där ρ är densiteten på fluiden, V är hastigheten på föremålet och A_p är kordalängden* vingspannet. C_D är Dragkoefficienten och likt C_L är den komplexa koefficienten som ofta bestäms via ekvationen för dragkraften genom experimentell framtagning. Dragkoefficienten innehåller inte bara de komplexa parametrarna för anfallsvinkel och den geometriska formen utan även information om mediet som till exempel viskositeten och hur inkompressibel fluiden är.

C_D kan beräknas på ett liknande sätt genom formeln. Formeln beskriver ett fall där det finns oändligt långa vingar samt ett uttryck för ändliga vingar. Uttrycket för ändliga vingar kallas för inducerad dragkraft och uppstår endast då vingarna är ändliga.

$$C_D \approx C_{D,oändlig} + \frac{{C_L}^2}{\pi AR} \quad \text{(Ekv 6)}$$

Där $C_{D,oändlig}$ finns i grafer för oändligt långa vingar. Koefficienten är där framtagen genom experiment för ett antal olika vingprofiler. [19]

C_L= lyftkoefficienten

AR=Aspect ratio.

2.3.2.3 Aspect ratio

Aspect ratio är ett förhållande mellan spännvidden och medelkordslängden. Förhållandet beräknas genom följande.

$$AR = \frac{b}{c_{medel}} \quad \text{(Ekv 7)}$$

Aspect ratio ger en korrektion mellan oändligt långa vingar och ändliga. [19] För att resultatet ska bli tillräckligt nära verkligheten behövs parametern. Genom att undersöka formeln för drag och lyftkoefficienterna kan en större aspect ratio bidra till högre värden för koefficienterna.

2.4 Simulering och beräkningsprogram

Simuleringar kommer att genomföras i mjukvaruprogrammet STAR CCM+. Mer specifikt kommer metoden Beräkningsströmningsdynamik (CFD) användas för att utvärdera hur kroppar påverkas av en fluid. [20]

Beräkningssättet bygger på numeriska metoder där Navier-Stokes rörelseekvationer ligger som grund för att kunna lösa strömningstekniska problem. CFD används främst för komplexa geometrier som behöver analyseras. Beräkningsströmningsdynamik är ett sätt att analysera flödet kring en kropp utan stora experimentkostnader.

Konstruktionsberäkningarna kommer att genomföras i ANSYS programvara. Beräkningarna som genomförs kommer att bygga på den finita elementmetoden (FEM). Metoden bygger på en rad olika formuleringar av randvärdesproblem beroende på vad som ska lösas. De okända funktionerna approximeras med hjälpfunktioner som är genererade av variabler. Fördelen med FEM är att det är ett kostnadseffektivt sätt att beräkna hållfasthetsproblem. För att räkna fram den totala lösningen krävs att CAD diskretiseras vilket innebär att modellen delas in i element. Därefter summeras alla lösningar från elementen och en total lösning på problemet visas. [21]

3 Metod

Metodkapitlet handlar om den metodik som projektet använt vid framtagning av ett nytt bärplan.

3.1 Förstudie

Förstudierna påbörjades genom att samla information om befintliga produkter. Det inkluderade information om vad det var för produkt, hur den såg ut samt hur den användes. Därefter samlades information om vilka företag som tillverkar produkten, vilka material den är tillverkad av samt vilka som är målgruppen. Beroende på ändamål fanns det flera olika typer av eldrivna surfbrädor med olika varianter på foils som undersöktes. Storleken och utformningen av bärplanen gav olika egenskaper vid drift.

3.2 Insamling av data

För att vidareutveckla bärplanet på det mest tidseffektiva sättet studerades tidigare arbeten och konkurrenters produkter på marknaden. Detta för att dra lärdomar och slutsatser från redan befintliga data. Det som var det väsentliga var mått på alla ingående komponenter, vingarea, kordalängd, vingbredd, mastlängd bland flera. Därefter samlades framtagna data för att kunna utskilja vad som fanns gemensamt.

3.2.1 Konkurrenter

Analys av konkurrenters produkter ger en inblick i vad som fungerar. Där finns ett brett utbud på olika varianter där målgruppen ligger som fokus för designen. Genom att identifiera de produkter som överensstämmer med projektets målgrupp kan användbar information hämtas. Konkurrenters lösningar på produkterna är ett bra verktyg för att skapa inspiration och identifiera hur produkten kan bli bättre. Här sammanställdes en stor lista av produkter som matchade inom projektets ramar.

3.2.2 Tidigare arbeten

Grunden till projektet ligger i att vidareutveckla en redan befintlig surfbrädas bärplan. Här kommer tidigare projektrapporter och liknande arbeten ligga till grund för informationen. Den mest väsentliga informationen omfattar hur konstruktionen och analyserna av bärplanet har framtagits. Även hur produkterna har utformats med avseende på kundbehovet.

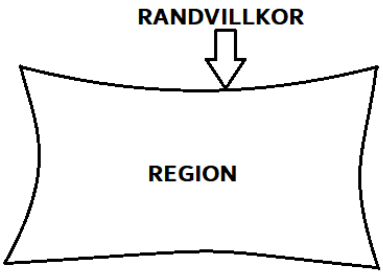
3.3 Analyseringsmetoder

Genom olika former av analyser kunde delar med möjlighet till potentiellt förbättrande åtgärder upptäckas. Analyserna som utfördes var digitala.

3.3.1. STAR-CCM+

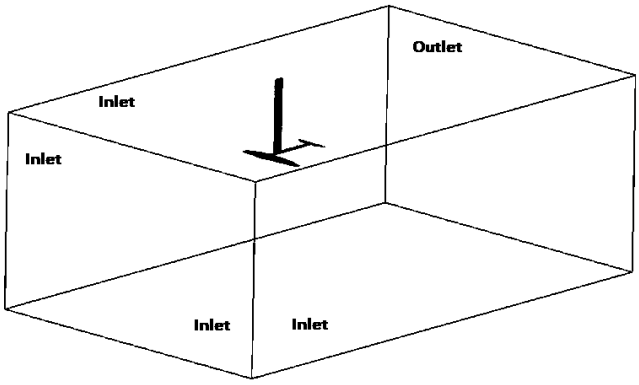
STAR CCM+ ett mjukvaruprogram för att genomföra flödesanalyser i 3D under verkliga förhållanden. Programmet är utvecklat av SIMENS och är kommersiellt välanvänt för simuleringar likt de som projektet har utfört. Är i huvudsak det program tillsammans med Catia som projektet har spenderat flest timmar i.

Tillvägagångssättet för att utföra simuleringar i STAR CCM+ är enligt följande. Geometrierna som har skapats som STEP-filer i Catia importeras och blir definierade som parts i STAR CCM+. Därefter behövs det en region för en fluid, vilket innebär att en volym i rymden skapas som är omsluten av randvillkor.



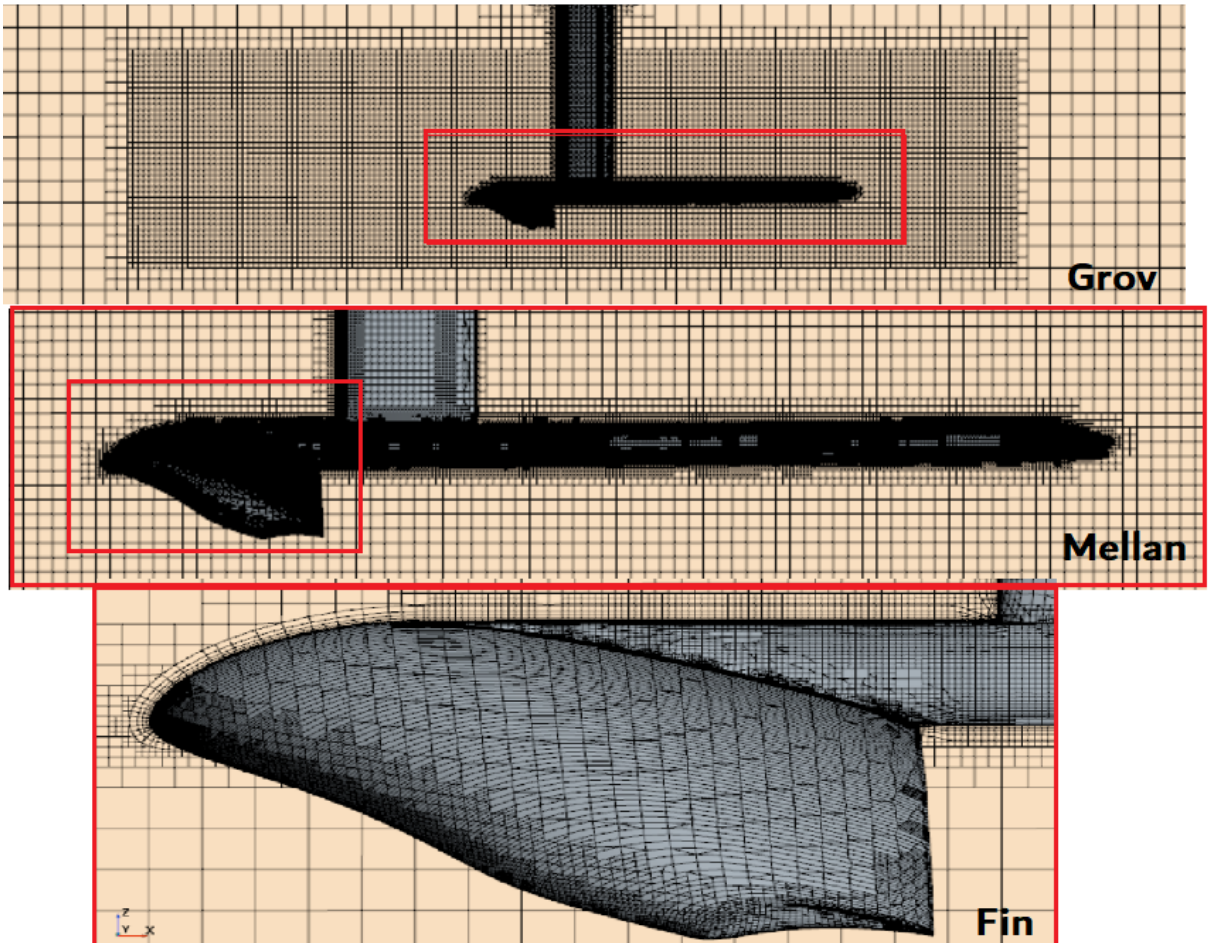
Figur 8, *Förenkling av region med randvillkor*.

Randvillkoren väljs efter vad det är för typ utav simulering som ska genomföras. Projektet valde ”velocity inlet” som randvillkor på fyra sidor av regionen, dessa fyra var ”framifrån, sidorna och under”. På utgången valdes randvillkoret ”pressure outlet” (se fig…). Toppen av regionen fick randvillkoret ”wall” då den i simuleringen antas vara vattenytan vilket inte påverkar bärplanet vid drift. I regionen placeras sedan parten för hela bärplanet och partens delar blir definierade med randvillkoren ”wall”. Då projektet önskade en simulering där fluiden är vatten behövde parametrarna för vatten ställas in för regionen.



Figur 9, *Part placerad i en region med randvillkor*

När både regionen och parten var på plats behövdes det genereras ett mesh för hela volymen. Rutnätet som genereras i meshen var grövre längre ifrån parten och blev succesivt finare närmare parten. På ytan av bärplanet var meshen som finast och det beror på att det är där som fluiden simuleras träffa bärplanet. Det var därför viktigt att meshen inte hade några oregelbundenheter som kunde ge missvisande resultat vid simuleringen.



Figur 10, *Olika grovhet på rutnät beroende på avståndet ifrån parten*.

3.3.2. ANSYS

Är ett mjukvaruprogram för att genomföra hållfasthetsberäkningar på 3D modeller [22]. I ANSYS går det att se vart kritiska spänningar finns och var det kan finnas behov av att vara extra noggrann i produktframtagningen. Simuleringar som beräknar egenfrekvensen och den kritiska lastfallet innan knäckning kan till exempel genomföras i ANSYS. Hållfasthetsberäkningar av fuselaget genomfördes med hjälp av mjukvaruprogrammet. Fuselaget är den enda komponenten som analyserades eftersom det uppstår böjspänningar från lyftkraften av fram och bakvingen.

3.3.3. CATIA

CATIA är ett mjukvaruprogram från Dassault Systemes där CAD (computer aided system) är en av många programvaror. Catia var en stor del av projektet och där spenderades många timmar då flera olika koncept skapades innan de sedan jämfördes i STAR CCM+. 3D modellerna av bärplanets komponenter skapades till en början som ytor som sedan gjordes om till solida delar. Därefter kunde de monteras ihop. När alla delar var monterade på rätt plats sparades bärplanet som en STEP-fil. Från Catia användes sedan STEP-filerna i de andra programmen för att kunna genomföra analyserna av hela bärplanet. [23]

3.4 Kundbehovsanalys

Under kundbehovsanalysen sammanställdes alla krav och önskemål från uppdragsgivaren. Projektet fortskrider inom ramarna för de krav och önskemål som ställs för att uppnå det efterfrågade resultatet. Kundbehovslistan följer sedan med under hela projektets gång.

3.5 Kriteriespecifikation

Grunden för kriterielistan bygger på vad som efterfrågades av uppdragsgivaren ESSIQ. De krav och önskemål som inte specificeras av uppdragsgivaren ställdes av projektmedlemmarna. Kriteriespecifikationen låg som grund för vilka egenskaper de nya vingarna kom att anta. Kriterielistan byggdes upp där önskemål och krav viktades från 1–5, där 5 var mycket önskvärt och 1 mindre önskvärt. För varje krav fanns även ett målvärde som eftersträvades. Det fanns även med referenser för varje krav och önskemål som visar vem det var som hade ställt kravet eller önskemålet. Varje punkt på kriterielistan verifierades genom olika metoder beroende på vad det var för typ av krav eller önskemål.

4 Konceptutveckling

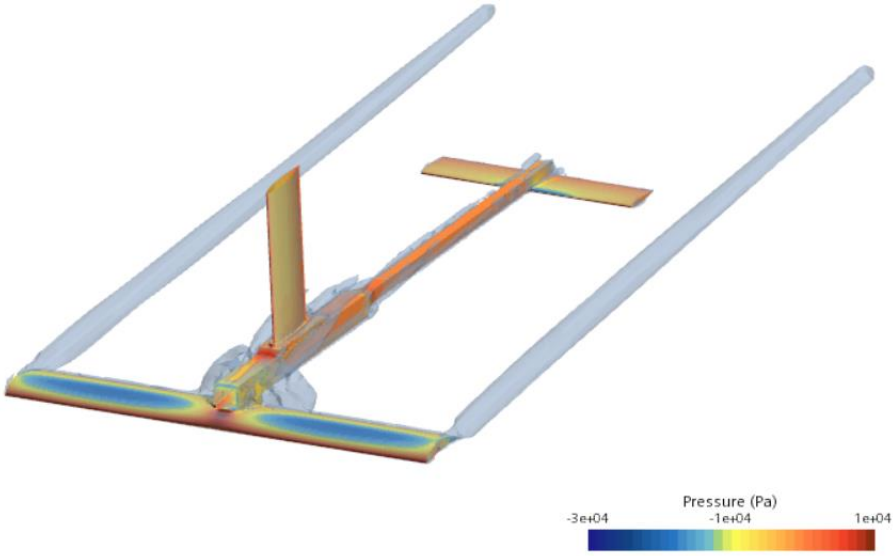
Under kapitlet konceptutveckling presenteras hela utvecklingsprocessen av bärplanet mer djupgående. Där ingår framvingen, bakvingen och fuselage. Den nuvarande geometrin står som grund för konceptutvecklingen och i samråd med Essiq har en kriterielista skapats. Kriterielistan består av funktioner, krav och önskemål som ställs på konstruktionen. Om konstruktionen inte uppfyller de krav som ställs sållas lösningen bort.

Chalmers	Dokumenttyp	Kriterielista				
	Projekt	Hydrofoil till Eldriven surfbräda				
Utfärdare: David Randby *Simon Svensson Qvistberg*		*Skapad:* 2022-03-03 *Modifierad:* 2022-05-22				
	Kriterier	*Målvärde*	*K/Ö*	*Vikt*	*Verifieringsmetod*	*Referens (kravställare)*
	Funktion/er)					
	Medge tillräcklig lyftkraft för att ¨sväva¨ under drift		K			
	Medge stabil manövrering vid drift		Ö	5		
1.	**Prestanda**					
1.1	*Lyftkraft*	*>1300 N*	K		CFD (Star-CCM+)	Projektgruppen
1.2	*Dragkraft*	*Minimera turbulens*	Ö	4	CFD(Star-CCM+)	ESSIQ AB
1.3						
2.	**Massa**					
2.1	*Befintlig E-foil*	*≈ 30 kg*				
2.2	*Befintlig hydrofoil*	*≈ 9 kg*				
2.3	*Ny hydrofoil*	*< 12 kg*	K		Catia V5	Projektgruppen
3.	**Användare**					
3.1	*Vikt*	*< 100kg*	K		Målgrupp	Projektgruppen
2.	**Storlek**					
2.1	Vingspann (framvinge)	< 950 mm	Ö	4	Catia V5	Projektgruppen
2.2	Fuselage	< 800 mm	Ö	4	Catia V5	Projektgruppen
3.	**Säkerhet**					
3.1	Propeller (Endast vid prototyptillverkning)	Kringliggande skydd	Ö	5	Catia V5	ESSIQ AB
4.	**Estetik och ytfinish**					
4.1	Design	Strömlinjeformad	Ö	5	Catia V5	Projektgruppen,ESSIQ AB

Figur 11, *Kriteriespecifikation.*

4.1 Analys av befintligt bärplan

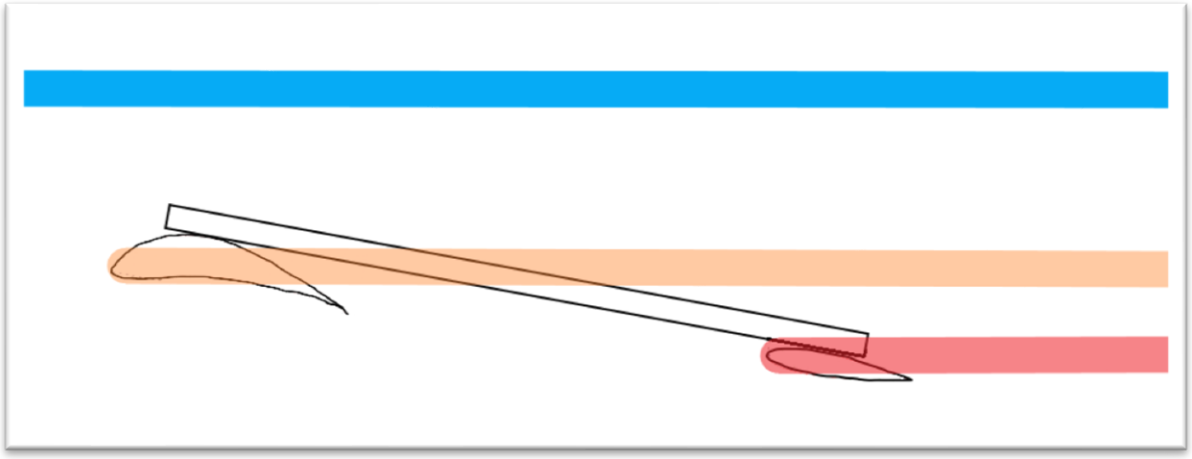
Konceptutvecklingen bestod till en början av att analysera simuleringar av det befintliga bärplanet i olika situationer för att se hur flödet kring bärplanet betedde sig vid drift. Efter första simuleringen av det befintliga bärplanet, konstaterades det att bärplanets kantiga geometri och enklare sammanfästning mellan fuselag och vingar skapade ett mycket turbulent flöde. På bilden nedan går det att se virvlarna som uppstår vid vingspetsarna samt kring fronten där fuselag och främre vingen är sammanfäst. Fler bilder från olika vinklar finns på bilaga 2–4.



Figur 12, *Tryck och virvelbild från simulering av befintligt bärplan.*

Det turbulenta flödet som visas i bilden är ett tillägg på tryckfördelningen som visar vart det uppstår rotationer i flödet. Det inkluderar både spetsvirvlar och eventuella rotationer som uppstår på geometrin. Enkel förklaring till varför det uppstår är att flödet som cirkulerar kring en kropp inte glider utan kroppen har en friktionskraft i motsatt riktning mot flödet. Det gör att en virvel skapas kring kroppen. Vid en strömlinjeformad kropp minimeras virvlarna och därmed den dragkraft som genereras. [24]

Då främre vingen inte hade en anfallsvinkel blev det som att den bakre vingen agerade likt en broms. Nedan visualiseras problematiken där flödet passerar fuselaget och den bakre vingen utan att ge några användbara egenskaper.



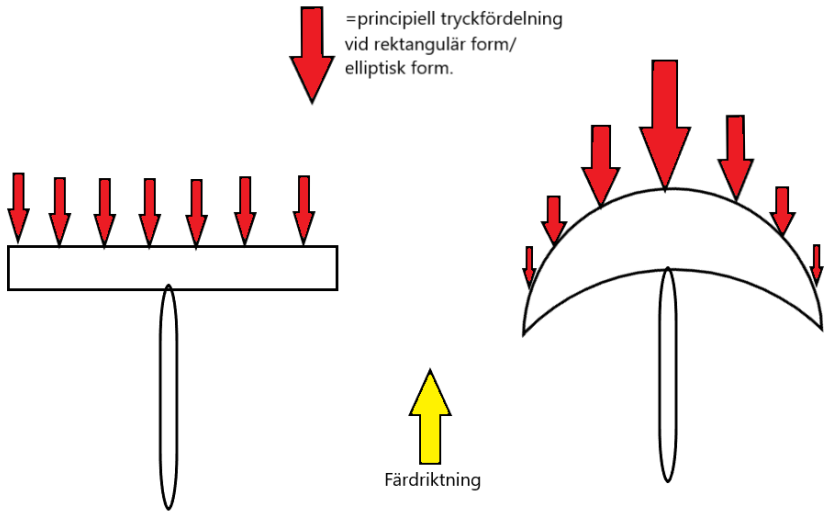
Figur 13, *Förenklad illustration där bakvingen agerar som en broms. Blå är vattenytan, orange är dragkraft på framvinge och röd dragkraften från bakvingen.*

Efter konsultation med vår examinator Arash Eslamdoost bestämdes det att inga fler simuleringar av det befintliga bärplanet var nödvändigt. Det innebar att projektgruppen i stället fokuserade på att skapa en ny design till bärplanet med en mer strömlinjeformad design. Dragkraften behövde minimeras genom att tillsätta en anfallsvinkel på framvingen. Framvingen behövde vidareutvecklas för att skapa en bättre lyftkraft och för att motverka det turbulenta flödet som uppstod vid vingspetsarna. En ny lösning på hur masten skulle fästas i bärplanet samt hur framvinge och bakvinge skulle fästas i fuselaget för att uppnå den strömlinjeformade kroppen.

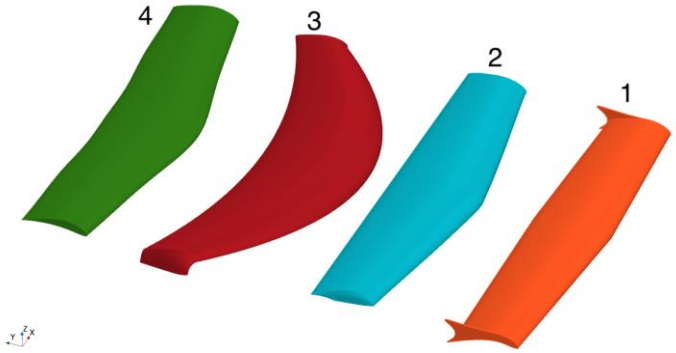
4.2 Koncept av framvinge

Profilen som den befintliga framvingen har är EPPLER-420 vilket är den vingprofilen som även den nya designen använder sig av. För att skapa den nya designen användes inspiration från marknadens befintliga E-foils. Likheterna mellan de främre vingarna som finns på marknaden idag är att alla har mjuka former. Går att beskriva som en mer fenliknande geometri. Genom en konkurrensanalys och nyttjandet av erhållen kunskap inom vingteori tog projektgruppen fram fyra nya vinggeometrier som grund för en ny design. Det som koncepten har gemensamt är dess elliptiska form vid fronten.

Den elliptiska formen kommer att användas genom alla koncept på vingarna. Fördelen med den elliptiska formen är att lyftkraften kommer bli mer centrerad på vingen där fuselaget är placerat, i stället för att vara distribuerad jämnt över hela vingen. Vid en rektangulär form av vingen blir lyftkraften liten när vingspetsarna är nära vattenytan. Detta elimineras genom den elliptiska formen. [25]



Figur 14, *Principiell bild av skillnaden mellan elliptisk och rektangulär form*



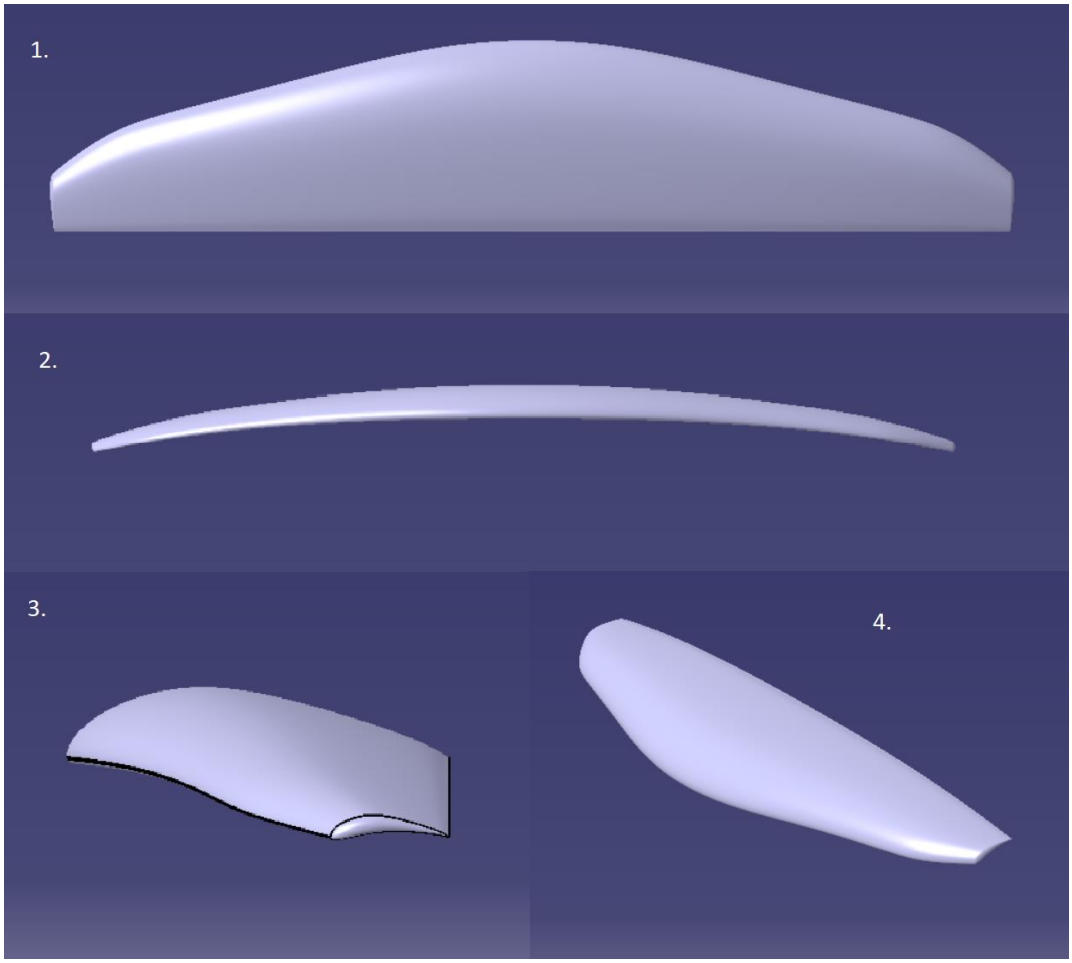
Figur 13 *Fyra olika koncept av framvinge*

De framtagna geometrierna har skapats inom de ramar som kriterielistan innehåller. Geometri ett hade en profil med den maximala kordalängden på 220mm i centrum. Den hade kantiga vingändar, så kallade virveldämpare, vid vingspetsarna som var tänkt att dämpa turbulensen vid drift. Geometri två hade en maximal kordalängd på 200mm och smalnade av till 140mm vid vingspetsarna. Där fanns även en liten avrundning som gjorde de skarpa kanterna mjukare. Geometri tre hade en väldigt mjuk form där den maximala kordalängden var 220 mm. Den hade nedåtriktade vingspetsar som skulle mjuka av de skarpa kanterna och tillföra smidigare färd genom vattnet. Geometri fyra hade också en maximal kordalängd på 200mm där kordalängden kortades ner närmare vingspetsarna.

Projektgruppen beslutade efter diskussion och i samråd med examinator Eslamdoost att inte gå vidare med de fyra koncepten. Designparametrarna som var bra från koncepten användes igen och på nytt togs två koncept fram. Framvingens två nya koncept kallades därefter för koncept 1 och koncept 2. De två nya koncepten simulerades sedan i STAR CCM+ för att utvärderas. Efter att ha analyserat resultaten från simuleringen av de två nya koncepten för framvingen kunde projektgruppen sedan sålla bort den sämsta.

4.2.1 Koncept 1

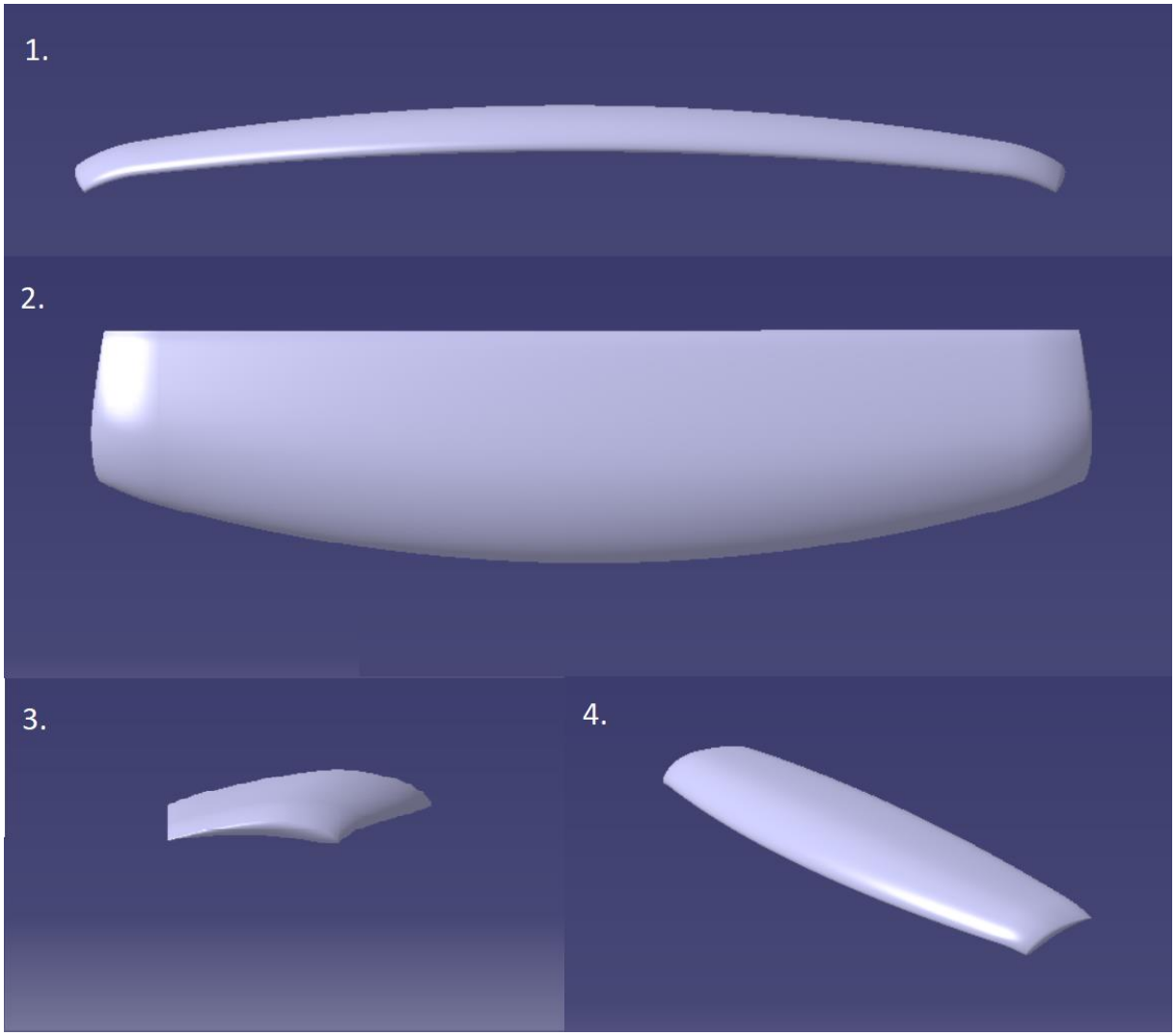
Sett ovanifrån har koncept 1 en elliptisk profil framtill som avrundas mot vingspetsarna. Vingen är något böjd i tvärsnittet vilket innebär att profilen vid vingspetsen är belägen 20 mm under centrum av vingen. Profilen vid centrum har en kordalängd på 180 mm som sedan avsmalnar till 55mm. Vingen har ett vingspann på 872 mm.



Figur 15, *Framvinge, koncept 1 (1.Ovanför 2. Framifrån 3. Sida 4. 3D vy)*

4.2.2 Koncept 2

Konceptet 2 har en lätt böj i tvärsnittet genom vingen. Sett ovanifrån var den lite mindre elliptisk framtill än koncept 1. Vid vingspetsarna har designen en något skarpare lutning nedåt. Kordalängden vid centrum av vingen är 200mm som sedan smalnar av till 130mm vid vingspetsarna. Vingspannet är 820 mm.



Figur 16, *Framvinge, koncept 2. (1.Framifrån 2.Ovanför 3.Sida 4.3D vy)*

4.2.3 Flödessimulering av framvingar

För att utvärdera koncepten och dess egenskaper analyserades båda koncepten för framvingen i STAR CCM+. Analysen bestod av en flödessimulering där vatten omströmmade vinggeometrierna och beräknade krafter i x, y och z riktningarna. Vid simuleringen visades även hastighetsvektorer omkring vingprofilens tvärsnitt samt tryckfördelningen över hela vingarnas geometri. Genom tryckfördelningen visades vart i geometrin det uppstod undertryck samt övertryck och även vart turbulensen uppstod och hur stor den var. Vattenhastigheten som har använts vid simuleringarna är 6 m/s och simuleringarna genomfördes systematisk med en variation på anfallsvinkeln mellan 0, 3 och 6 grader.

Tabell 1, *Genererade lyft- och dragkrafter vid olika anfallsvinklar för framvinge*

Flödessimulering av de vidareutvecklade koncepten för framvingen	
Vidareutvecklat koncept 1	Vidareutvecklat koncept 2
0 Graders anfallsvinkel	
Lift Force: 1304 N Drag force: 85.9N	Lift force: 1369N Drag force:110.69N
3 graders anfallsvinkel	
Lift force:1670N Drag Force: 121N	Lift force: 1764N Drag force: 158N
6 Graders anfallsvinkel	
Lift force: 2003N Drag Force: 163N	Lift force: 2172,96 N Drag Force: 223,1 N

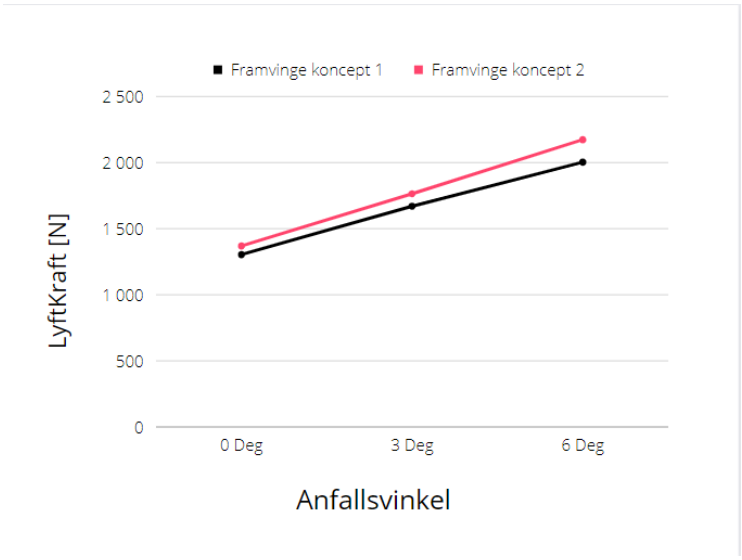
I tabellen ovan går det att se resultaten för de olika anfallsvinklarna 0, 3 och 6 grader. I första simuleringarna med en anfallsvinkel på 0 grader genererades en lyftkraft på 1304 N för koncept 1 respektive 1369 N för koncept 2. Dragkrafterna blev på 86 N för första konceptet och 110 N för andra konceptet. Det innebär att koncept 2 fick lite mer lyftkraft men samtidigt genererades även lite högre dragkraft. Tryckfördelningsbilden (bilaga 5) visar tryckfördelningen över vingarna och den blå ytan ovanpå vingarna visar vart det sker ett undertryck. Undertrycket sprider sig längs med hela vingen på koncept 1 och på koncept 2 går det att se att undertrycket förvann närmare vingspetsarna. Att det bildades ett undertryck över

hela vingens ovansida var en bra egenskap då det går att koppla till teorin om att undertrycket ger upphov till lyftkraft genom hela vingen. Tryckfördelningen visar även flödet kring vingen och vingspetsarna. Det extra motstånd som uppstår är de spetsvirvlarna som syns vid vingspetsarna.

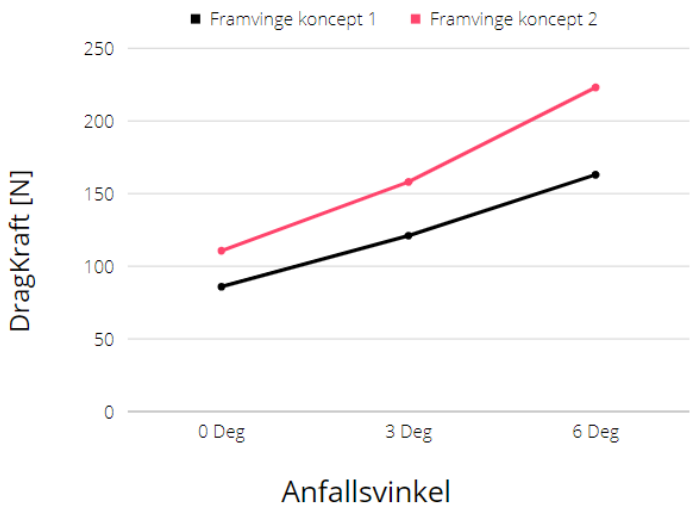
Efter simuleringen med en anfallsvinkel på 3 grader genererades en lyftkraft på 1670 N för koncept 1 och 1764 N för koncept 2. Dragkraften för koncept 1 blev 121 N respektive 158 N för koncept 2. När tryckfördelningen studerades (bilaga 6) vid 3 graders anfallsvinkel utbredde sig undertrycket över en större area på ovansidan av vingen vilket resulterade i en större lyftkraft som går att läsa i tabellen. När anfallsvinkeln ökade resulterade detta i större spetsvirvlar genererades vid vingspetsarna då det blev en större area på undersidan av vingen som kom i kontakt med flödet.
Vid 6 graders anfallsvinkel på framvingarna ökade lyftkraften ytterligare och konvergerade vid 2003 N för koncept 1 och 2073 N för koncept 2. Dragkraften ökade för de två vingkoncepten till 163 N respektive 223 N. Undertryckets fördelning på vingarnas ovansida ökade till den grad att vid 6 grader var större delen av ovansidan täckt med undertrycket. (Bilaga 7)

4.2.4 Analys av flödessimulering

Från kravspecifikationen framgår att det krävs en minimumlyftkraft på 1300 N. Där presterade koncept 1 och 2 betydligt bättre och genererade en lyftkraft på över 2000 N vid en anfallsvinkel på endast 6 grader. Genom att systematiska utföra simuleringar med olika anfallsvinklar skapades en tydligare bild av hur vingarnas egenskaper blev i vattnet. Dragkrafterna för de båda vingprofilerna är förhållandevis liten jämfört med lyftkraften, men koncept 1 hade lite bättre lyft/drag-ratio jämfört med koncept 2. Då båda koncepten uppfyllde de krav som ställdes på lyftkraften med god marginal ansågs båda koncepten vara användbara. Projektgruppen behövde studerade skillnaderna i geometrierna mellan koncepten eftersom lyft/drag-ration var för lika för att kunna utesluta något av koncepten. I kravspecifikationen framgick det att en strömlinjeformad geometri var mer önskvärd vilket koncept 1 hade. Det gjorde att koncept 2 gick att utesluta då geometrin på vingen var mer kantig. Den slutliga konstruktionen av bärplanet kom därför att använda sig av koncept 1.



Figur 17, *Skillnaderna i lyftkraft mellan koncepten av framvinge vid olika anfallsvinklar.*



Figur 18, *Skillnaderna i dragkraft mellan koncepten av framvinge vid olika anfallsvinklar.*

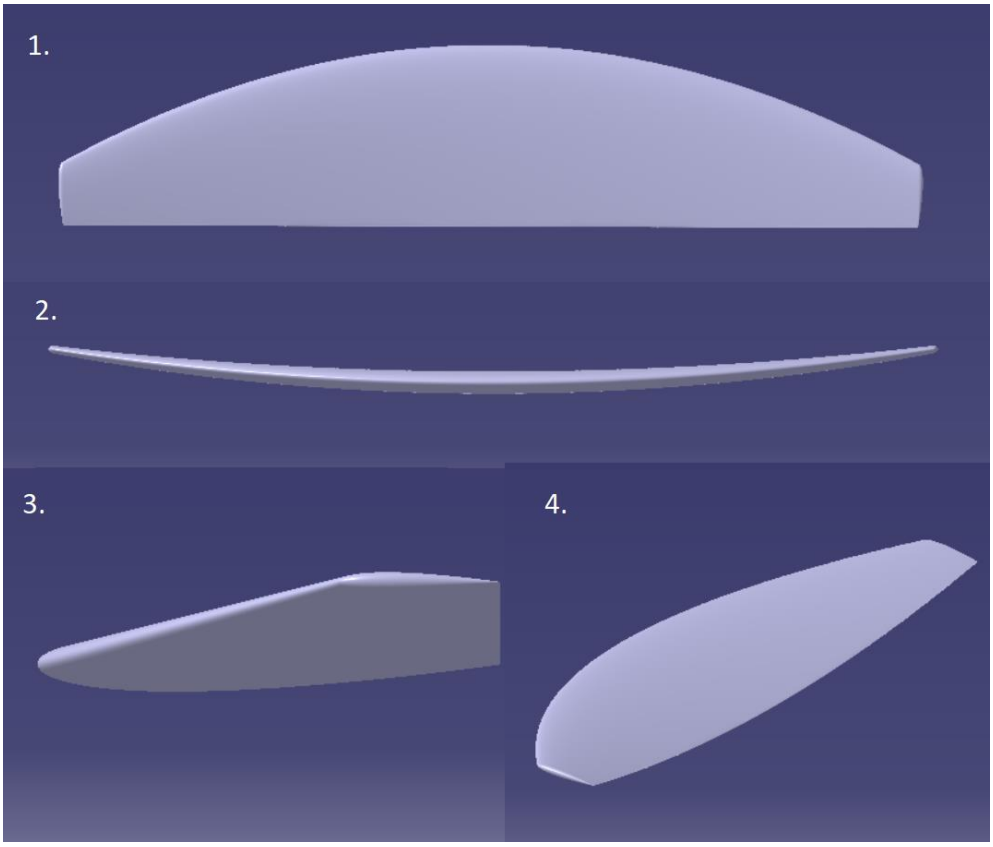
4.3 Konceptutveckling av bakvinge

Vingprofilen på bakvingen som det befintliga bärplanet har är NACA0012 vilket är den profil som kommer att användas i projektet när en ny utformning på bakvingen tas fram. Varför NACA profilen användes beror på den är symmetriskt och därmed bidrar till en bättre stabilitet. Bakvingens huvudsakliga uppgift är att stabilisera bärplanet vid drift. Målet är att bakvingen ska ha en anfallsvinkel på 0 grader vid den designade anfallsvinkeln på framvingen. Utformning av bakvingen tillsammans med hur långt fuselaget är påverkar även hur enkelt bärplanet går att manerövra vid drift. Vid utformningen av den nya bakvingen inhämtades, precis som vid framtagning av framvingen, inspiration från befintliga aktörer på marknaden samt genom samtal med examinatorn Eslamdoost om vilka designparametrar som är önskvärda på en hydrofoil.

För bakvingen skapade projektgruppen till en början två koncept som simulerades i STAR CCM+. Det som skiljde sig åt gällande geometrin på de två koncepten var att ena konceptet var böjt i längsgående riktning och det andra var platt men hade virveldämpare (winglets) på vingspetsarna. Resultaten gällande dragkraft från de två simuleringarna av koncepten var snarlika vilket krävde ännu en diskussion och rådfrågning med examinatorn. Då bakvingen har ett symmetriskt tvärsnitt, förväntas ingen lyftkraft när anfallsvinkeln är noll grader. De två koncepten hade i stort sett ingen lyftkraft vid noll grader, utan den största skillnaden låg i dragkraften. Projektgruppen tog därefter fram ett tredje koncept på bakvinge, som blev en blandning mellan de två tidigare alternativen.

4.3.1 Koncept 1 bakvinge

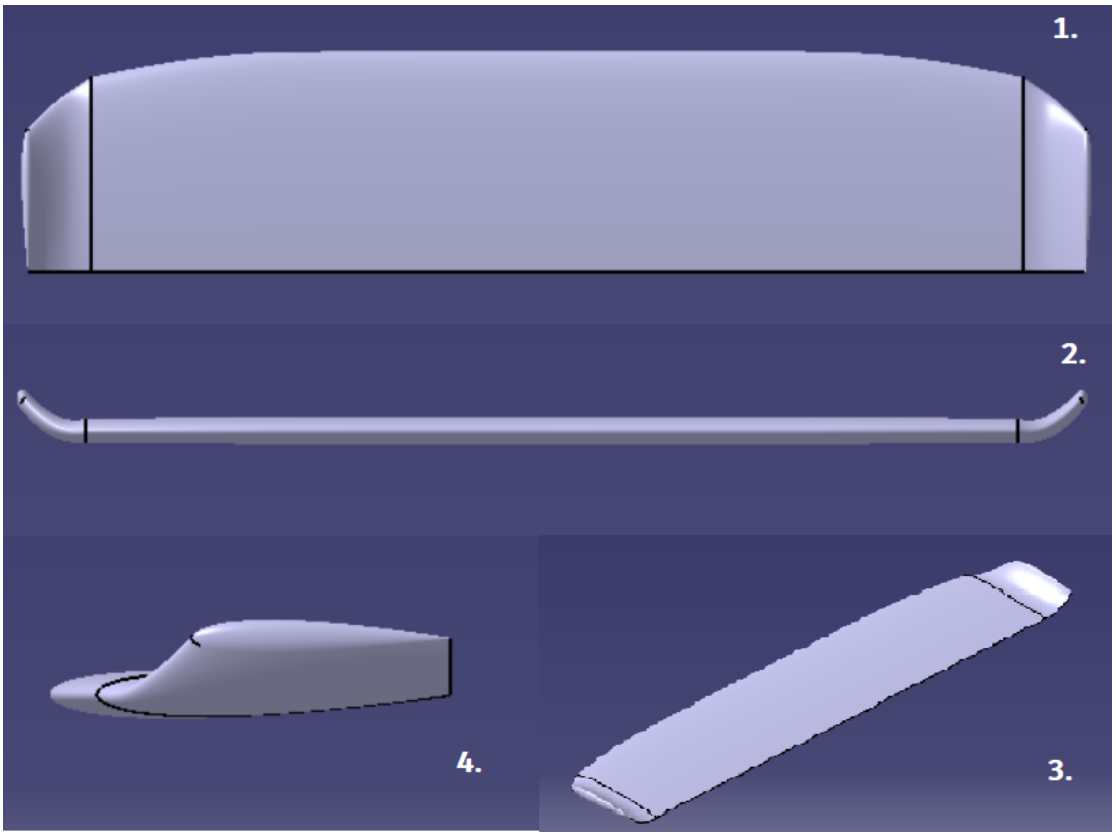
Sedd ovanifrån har konceptet 1 av bakvingen en elliptisk front där korda längden minskar från mitten av vingen och blir som kortast längst ut vid vingspetsarna. Sedd framifrån har vingen en lätt krökning uppåt från vingens mittdel. Från sidan går det att se avrundningen på vingänden. Kordalängden är 85 mm där vingen är som längst och vingspannet är 400 mm.



Figur 19, 1. *Ovanifrån, 2. Framifrån, 3.Sidan, 4.Snett upp bakifrån.*

4.3.2 Koncept 2 bakvinge

Sedd ovanifrån har koncept 2 en rakare front som närmare vingändarna först smalnar av. Vingändarna lutar uppåt och skapar virveldämpare (winglets) på vingen vilket går att se *figur 6* nedan. Koncept 2 har ingen krökning som det första konceptet har. Sista bilden är sedd snett bakifrån.



Figur 20, *1. Ovanifrån, 2. Framifrån, 3. Sidan, 4. Snett upp bakifrån.*

Den främsta skillnaden på de två olika koncepten av bakvingar var att koncept 1 hade en mer elliptisk profil sedd uppifrån än koncept 2 som var rakare. Koncept 1 var krökt uppåt i tvärsnittet och koncept 2 var platt fram till vingändarna där det satt virveldämpare.

4.3.3 Flödessimulering av bakvingar

De två olika koncepten på bakvingar behövde simuleras och analyseras på samma sätt som med framvingarna i STAR CCM+ och med samma parametrar. Simuleringarna genomfördes med både positiva och negativa anfallsvinklar på 0, 3 och 6 grader. Anledningen till att bakvingen även simulerades med negativa anfallsvinklar trots symmetriskt tvärsnitt, är för att se att dem betedde sig på samma sätt i vattnet oberoende av anfallsvinkel.

Tabell 2, *Lyft- och dragkrafter för bakvinge koncept 1 och koncept 2*

Flödessimulering av koncept för bakvingen	
Koncept 1	Koncept 2
0 Graders anfallsvinkel	
Lift Force: 1.12 N Drag force: 5,4 N	Lift force: 0,91 N Drag force: 6,63 N
3 graders anfallsvinkel	
Lift force: 76 N Drag Force: 6 N	Lift force: 88,46 N Drag force: 8,06 N
6 Graders anfallsvinkel	
Lift force: 150 N Drag Force: 10 N	Lift force: 177 N Drag Force: 12,43 N
-3 Graders anfallsvinkel	
Lift Force: -76 N Drag force: 5 N	Lift force: -87 N Drag force: 8 N
-6 graders anfallsvinkel	
Lift force: -148 N Drag Force: 8 N	Lift force: -171 N Drag force: 12 N
För att se tryckfördelningsbilderna för anfallsvinklarna, se bilaga 8–10.	

Vid simulering av bakvingarna med en anfallsvinkel på 0 grader genererades en lyftkraft på 1.12 N och en dragkraft på 5,4 N för koncept 1. För koncept 2 genererades 0,91 N i lyftkraft och 6,63 N i dragkraft för koncept 2. Anledningen till att lyftkraften låg omkring 1.12 N och inte 0 beror att simuleringarna grundas på ett symmetriskt randvillkor för taket, Det gör att övertrycket och undertrycket inte blir ekvivalenta och därmed genereras en liten lyftkraft. Det kan också förklaras genom att trycket ökar vid djupare vatten, undersidan av vingen är belägen djupare än ovansidan. Turbulensen är förhållandevis liten vid anfallsvinkeln på 0 grader för båda koncepten vilket är bra, då minsta möjliga turbulens är det som eftersträvas. (Se bilaga 8)

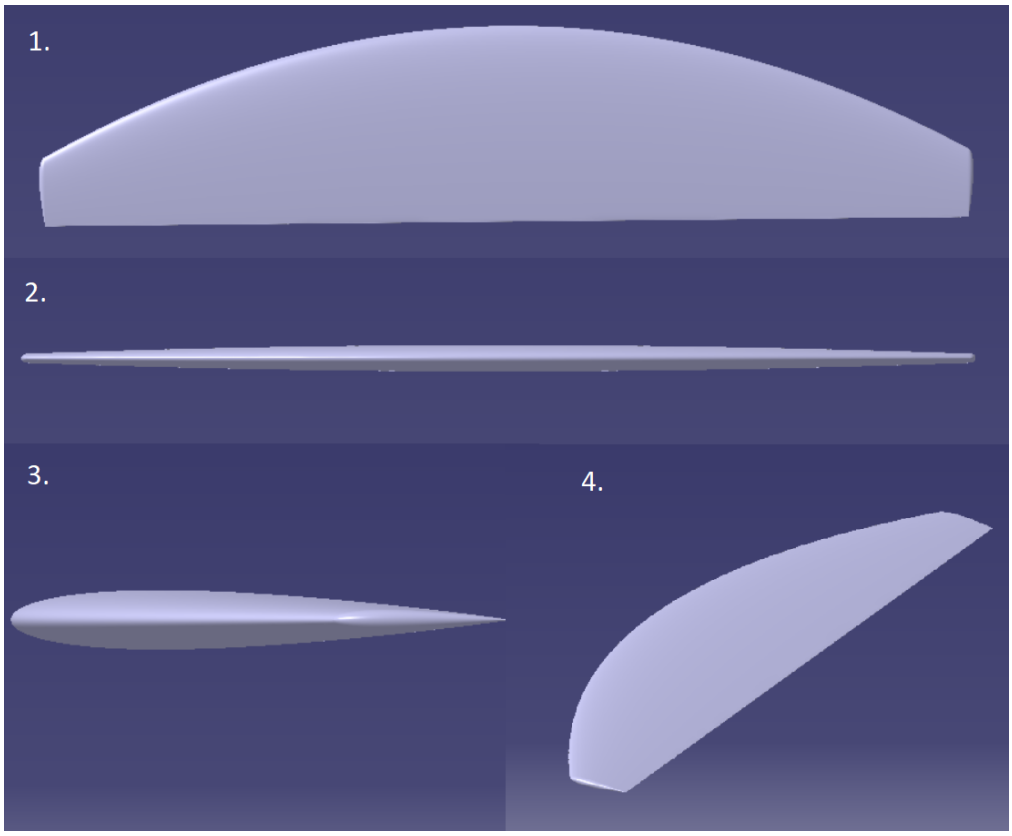
Lyftkraften och dragkraften för båda koncepten vid 3 graders lutning låg också ganska nära varandra där koncept 1 hade något mindre lyft- och dragkraft än vad koncept 2 hade. Dessa små skillnader ansågs ej vara avgörande för valet av det slutgiltiga konceptet och därför behövde båda koncepten simuleras vidare.

Vid 6 graders anfallsvinkel genererades en lyftkraft på 150 N och en dragkraft på 10 N för koncept 1. För koncept 2 genererades en lyftkraft på 177 N och en dragkraft på 12,43 N. Precis som för 0 och 3 graders anfallsvinkel blev skillnaderna mellan lyft- och dragkraft för respektive koncept för små för att avgöra den bäst lämpade designen.

Simuleringarna med negativa anfallsvinklar gav liknande resultat som i fallen med de positiva. Skillnaderna i lyft- och dragkrafterna mellan koncepten blev förhållandevis små. Det som även studerades vid de negativa anfallsvinklarna var att koncepten skulle bete sig på samma sätt som för de positiva vinklarna fast med negativa värden. Detta kunde konstateras att så var fallet, med en avvikelse på några få newton som skiljde fallen åt.

4.3.4 Koncept 3 bakvinge

Efter att båda simuleringarna av de två koncepten för bakvingarna var genomförda jämfördes resultaten med varandra. Då det inte var några större skillnader i erhållen lyft- och dragkraft mellan de två koncepten diskuterades andra skillnader som skulle kunna utesluta någon av vingarna. Det parametrar som projektgruppen då diskuterade gällde stabiliteten och tillverkningen av vingarna. Belastningen som bakvingen är utsatt för är liten vid jämförelse med den belastning som framvingen är utsatt för. Därav blev spetsvirvlarna som bildas vid ändarna på vingarna små vilket ledde till att behovet av virveldämpare eller att vingens profil var böjd ej fanns (Se bilaga 8). Efter feedback från Eslamdoost beslutades det att förenkla bakvingen ytterligare. Ett tredje koncept skapades som blev en blandning av de två tidigare koncepten där första konceptets elliptiska front behölls och andra konceptets platta profil men då utan virveldämparna.
Ur en tillverkningssynpunkt blev koncept 3 avsevärt bättre då profilen är platt och tvärsnittet är symmetriskt. Vilket bidrog till en ökad enkelhet som kan resultera i minskade tillverkningskostnader. *Figur 21* nedan visar CAD modellen av koncept 3.



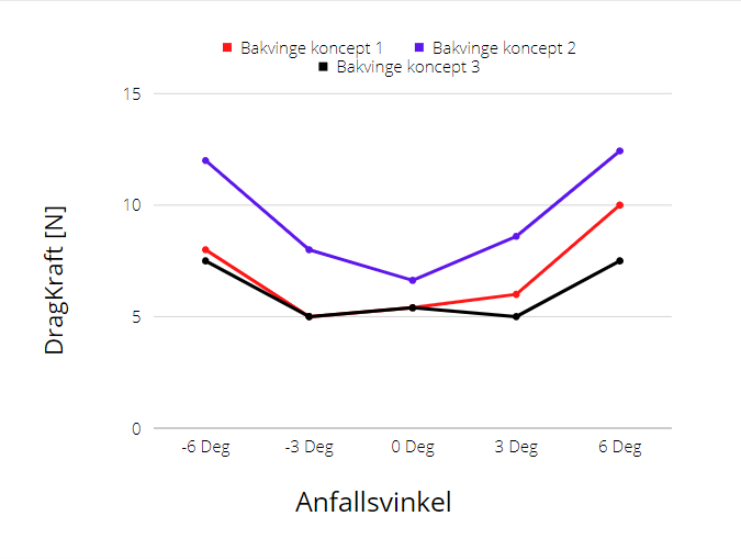
Figur 21, *koncept 3* **(***1.Ovanifrån, 2.Framifrån, 3.Sidan, 4.Snett upp bakifrån)*

Simuleringen av koncept 3 gjordes enbart för 6 och -6 grader då det tydligt gick att se att vingen betedde sig på samma sätt för de positiva som de negativa vinklarna.

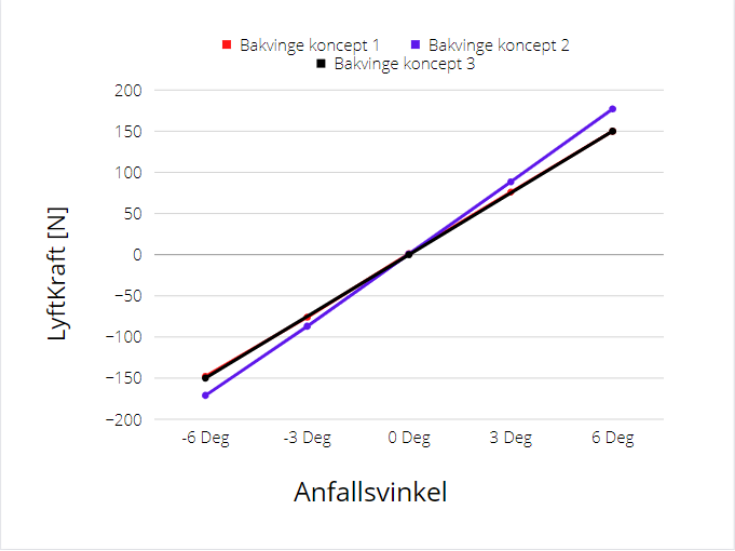
Tabell 3, *Lyft- och dragkrafter för bakvinge koncept 3*

Flödessimulering av koncept 3 på bakvinge
0 Graders anfallsvinkel
Lift force: 0.9 N Drag Force: 5.4 N
6 Graders anfallsvinkel
Lift force: 148 N Drag Force: 9.5 N
-6 Graders anfallsvinkel
Lift force: 148 N Drag Force: 9.5 N

En en sammanställning av resultatet på de olika koncepten presenteras i graferna nedan. Det går att tydligt se att koncept nummer ett och tre ger liknande egenskaper. Skillnaden är vid dragkraften efter 0 grader där koncept 3 behåller en låg dragkraft. Grafen för koncept tre är spegelvänd på den negativa och positiva sidan och det är den egenskapen som eftersöktes.



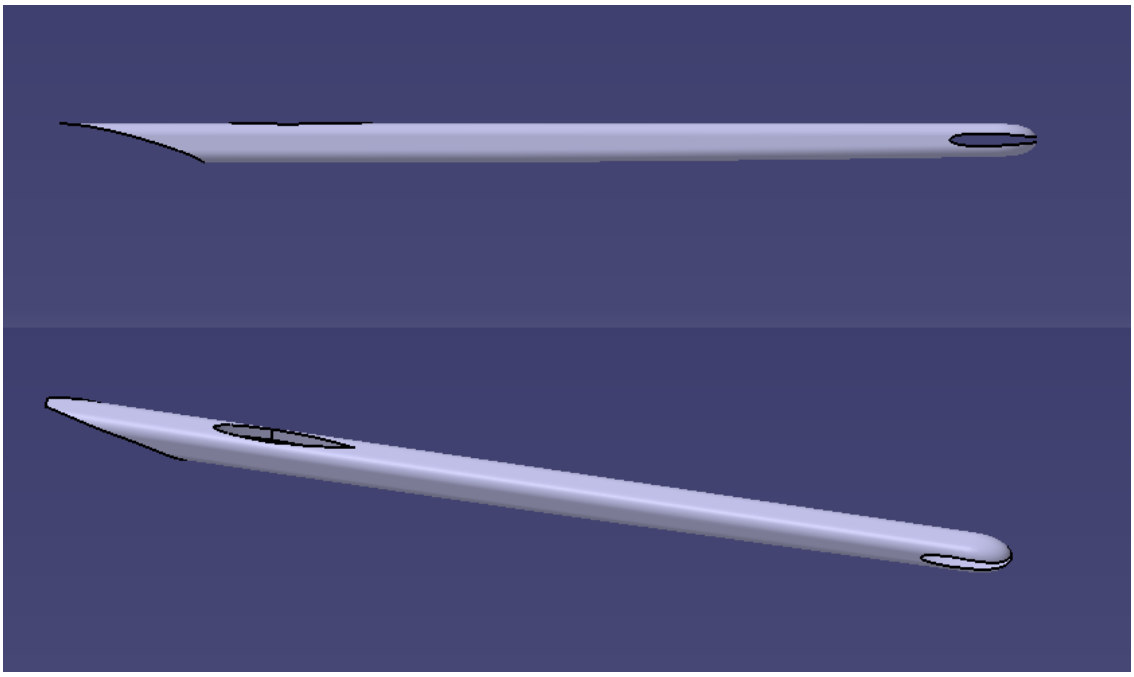
Figur 22, *Skillnader i lyftkraft mellan de tre koncepten av bakvingar vid olika anfallsvinklar.*



Figur 23, *Skillnader i dragkraft mellan de tre koncepten av bakvingar vid olika anfallsvinklar.*

4.4 Konceptutveckling av fuselage

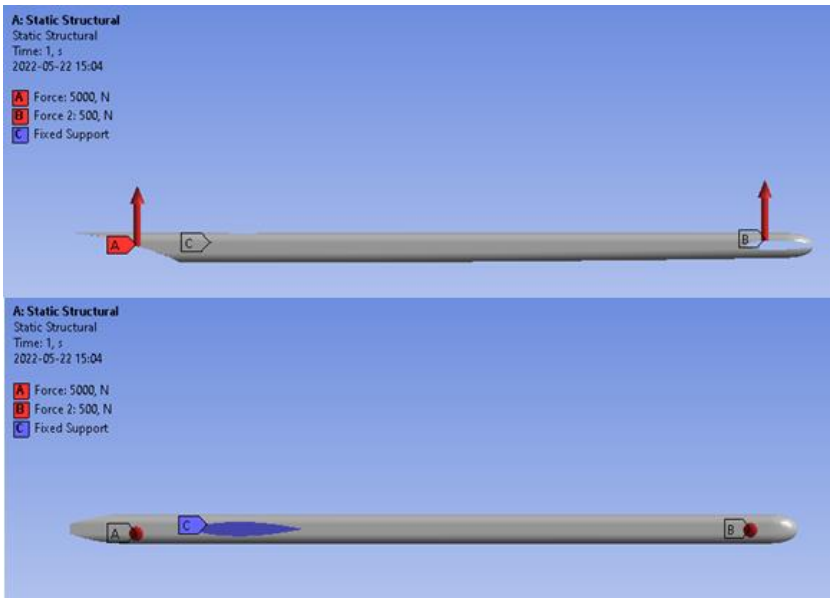
Fuselaget är den del delen av bärplanet som binder samman vingarna och masten. I projektet togs det fram ett enda koncept som stegvis förbättrades under projektets gång.
De svårigheter som projektet stötte på under konstruktionen var att ta fram en design som inte var för stor så att den skulle orsaka en för stor dragkraft. Men samtidigt inte heller designa den för liten och smal så att den troligtvis inte skulle klara av de påfrestningar den utsätts för vid drift. På fuselaget monteras vingarna och tillsammans utgör dem bärplanet. Bärplanet i sin tur monteras på masten som tillsammans då utgör hydrofoilen. Då fuselaget ej bidrog med någon lyftkraft till bärplanet är en strömlinjeformad kropp extra önskvärd. Detta för att minska de dragkrafter som genererades. Fuselaget utformades så att både framvingen och bakvingen blev integrerade i kroppen. Detta uppnåddes genom att fronten på fuselaget blev bortskuren med den övre delen på framvingens tvärsnitt, se *fig 8*. Väl monterat blev fuselaget då helt dold bakom framvingen vid en vy av bärplanet rakt framifrån. Bakvingens infästning konstruerades så att den var integrerad i bakre delen av fuselaget. Genom att ett helt tvärsnitt av bakvingen var utskuret rakt igenom. Det möjliggjorde enklare infästning och bidrog till att bakvingen genererade minimalt med dragkraft. Det gjorde även att bakvingen blev dolt i flödesriktningen. På ovansidan av fuselaget var en utskärning av mastens tvärsnitt för att möjliggöra en montering. Fuselagets längd är 750mm, bredd 30 mm och höjden 27mm.



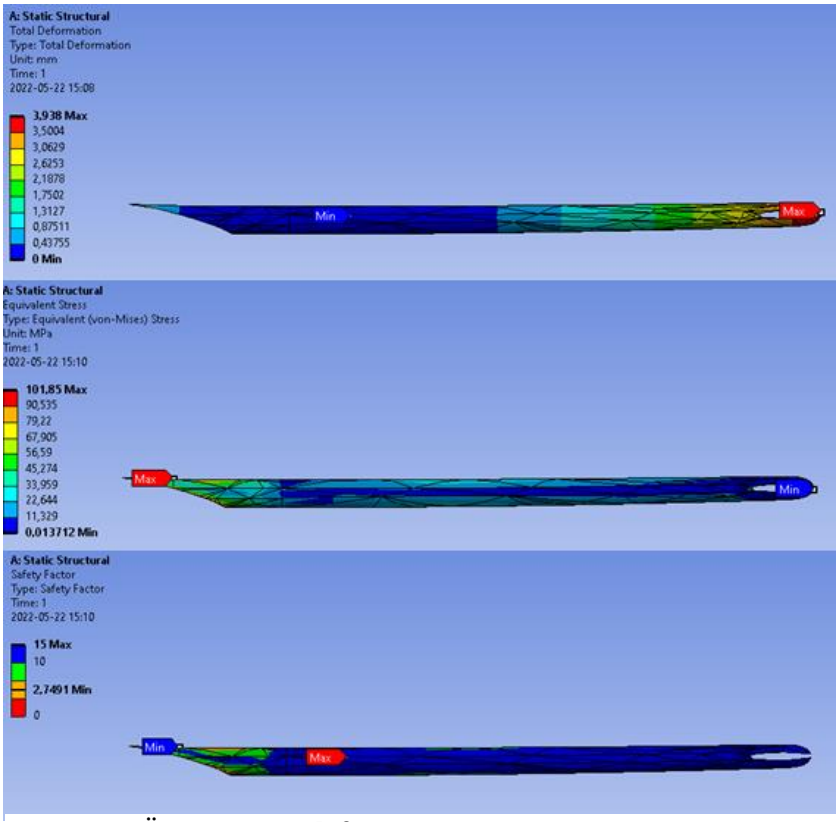
Figur 24, *CAD-bild på design av fuselage.*

4.4.1 Konstruktionsberäkningar av fuselage i ANSYS

Med den smala designen och de relativt stora krafterna som genereras av framför allt framvingen men även lite av bakvingen. Behövde fuselaget analyseras med hjälp av enklare konstruktionsberäkningar i ANSYS. Den metod som användes är static structural analysis och det samma metod som används vid analyser av balkar och stänger. Det innebar att analysen genomfördes som en förenklad modell med aluminium som material, vilket är ett av det vanligaste materialet för ett fuselage. För att kunna analysera fuselaget krävdes även randvillkor då differentialekvationerna annars blev olösbara. Randvillkoren som användes var att fuselaget satt fast inspänt i masten. Lyftkraften från framvingen var placerad som en utbredd last över ytan som var i kontakt med framvingen och detsamma gällde för bakvingen. Eftersom analyserna för alla bärplanets anfallsvinklar inte var simulerade är det svårt att veta den maximala belastningen som ytan utsätts för. Därför användes en betydligt större kraft som då gav en säkerhetsfaktor mot plastisk deformation. Krafterna som användes under analysen var 5000 N för framvingen och 500 N för bakvingen.



Figur 25, *Vart randvillkoren är utplacerade i ANSYS analysen.*



Figur 26, *Överst: Max deformationen, Mitten: Max spänningar, Längst ner: Säkerhetsfaktorn.*

Resultaten från hållfasthetsanalysen visade att den bakre delen av fuselaget böjdes 4 mm uppåt vilket är en liten utböjning. Det gav inte upphov till någon risk för plastisk deformation. Den största spänningen uppkom i främre delen, där framvingen är fäst i fuselaget. Den uppmättes upp till 101.85MPa. Säkerhetsfaktorn mot plastisk deformation i den punkten med störst spänning beräknades till 2.75.

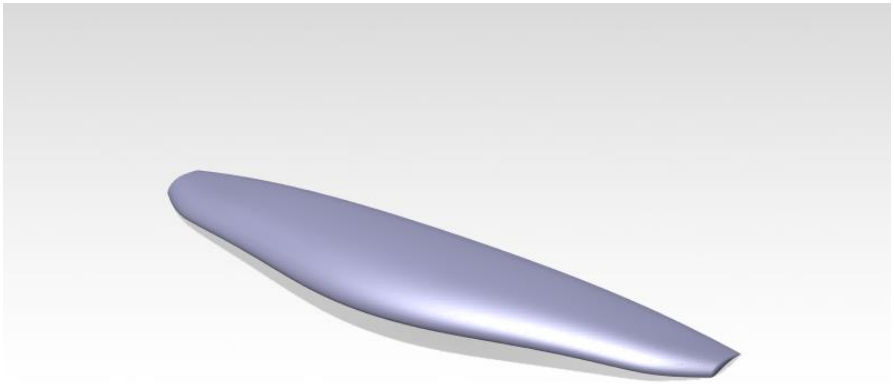
5 Resultat

Under resultatet presenteras den slutgiltiga lösningen av hydrofoilen och de ingående delarna mer specifikt utifrån form och resultat av simuleringar. Den nya lösningen kommer jämföras med den gamla konstruktionen för att utvärdera resultatet av projektet.

5.1 Bärplan

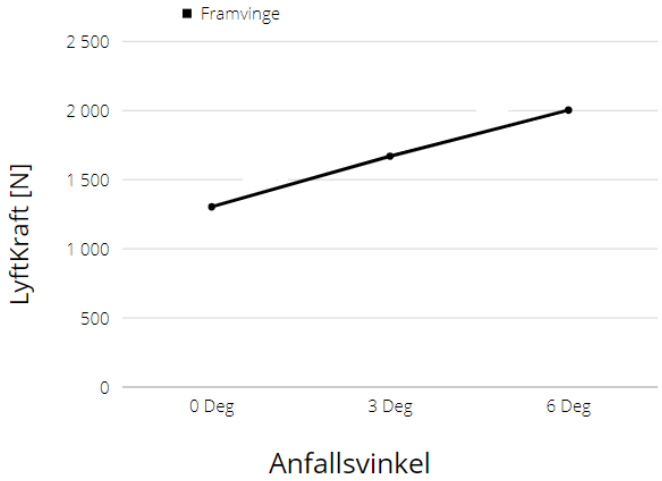
5.1.1 Framvinge

Den slutgiltiga lösningen på framvingen var koncept 1 och det är en elliptisk formad vinge som har en lätt böjning nedåt i tvärsnittet. Det innebär att vingens vingspetsar är belägna 20 mm under centrum på vingprofilen. Kordalängden i centrum är 180mm som sedan smalnar av till 55mm vid vingspetsarna. Vingspannet är 872mm. Kopplat till kriterielistan uppfyller framvingen de geometriska krav och önskemål som ställdes.

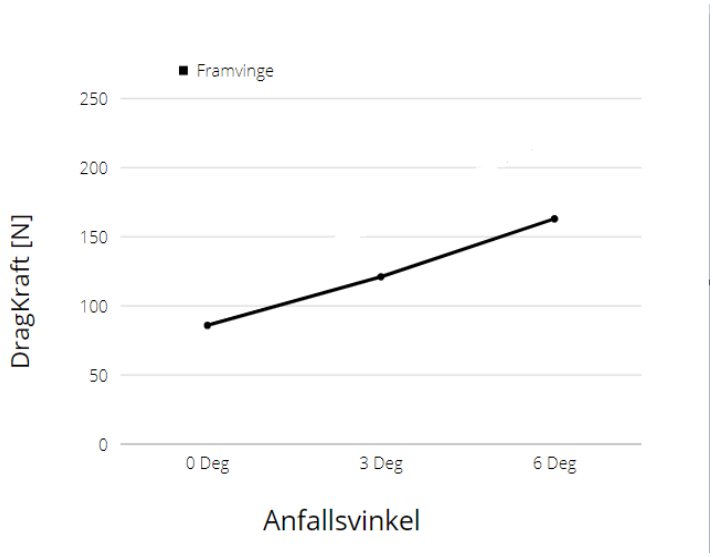


Figur 27, *Renderad bild av valt koncept för framvinge.*

Då framvingen är den primära vingen för lyftkraft krävs det att den genererar tillräckligt med lyftkraft för att bära hela hydrofoilen tillsammans med surfbrädan. Resultatet påvisar att en lyftkraft redan vid 0 grader är tillräcklig för att kunna användas. Framvingens dragkraft för tre olika anfallsvinklar visar en linjär utveckling och förhållandet mellan lyft och dragkraft ligger ungefär på elva genom alla simulerade anfallsvinklar.



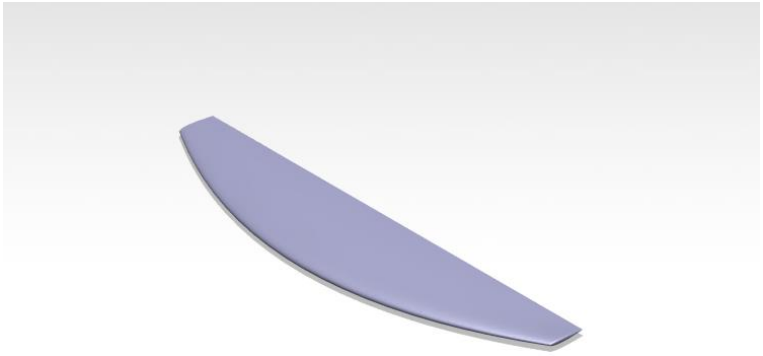
Figur 28, *Genererad lyftkraft för valt koncept av framvinge vid olika anfallsvinklar.*



Figur 29, *Genererad dragkraft för valt koncept av framvinge vid olika anfallsvinklar.*

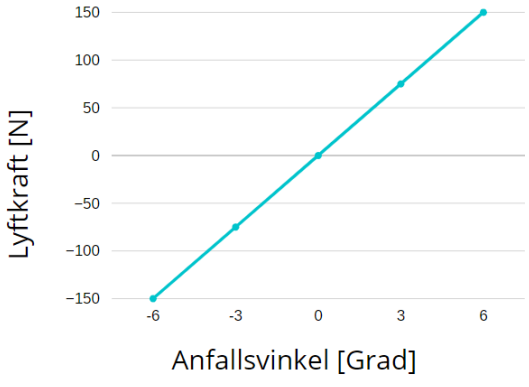
5.1.2 Bakvinge

Den slutgiltiga lösningen för bakvingen har likt framvingen en elliptisk form. Vingspannet är 450 mm och kordalängden i centrum är 85mm som sedan smalnar av till 35mm vid vingspetsarna. Vingen har ingen böjning i tvärsnittet utan är helt platt.

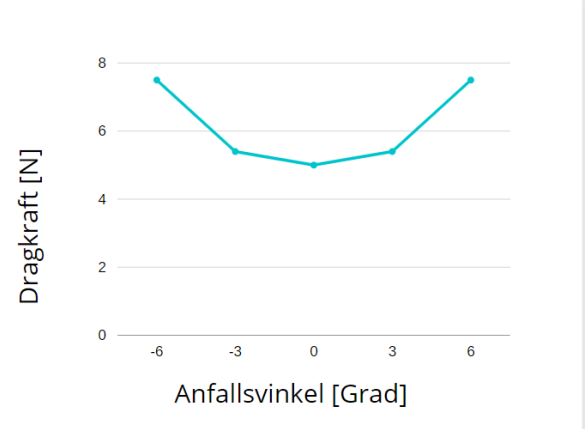


Figur 30, *Renderad bild av valt koncept för bakvinge.*

Resultatet av flödessimuleringarna visar en variation av anfallsvinklar mellan -6 och 6 grader med ett mellanrum av tre grader mellan simuleringarna. Ett av projektets huvudsyften var att skapa en ny konstruktion som är stabilare och därför behövdes även analyser på negativa anfallsvinklar analyseras. Flödessimuleringarna visar att positiva anfallsvinklar kontra negativa genererar samma lyft- och dragkraft fast motriktade.



Figur 31, *Genererad lyftkraft för valt koncept av bakvinge vid olika anfallsvinklar.*



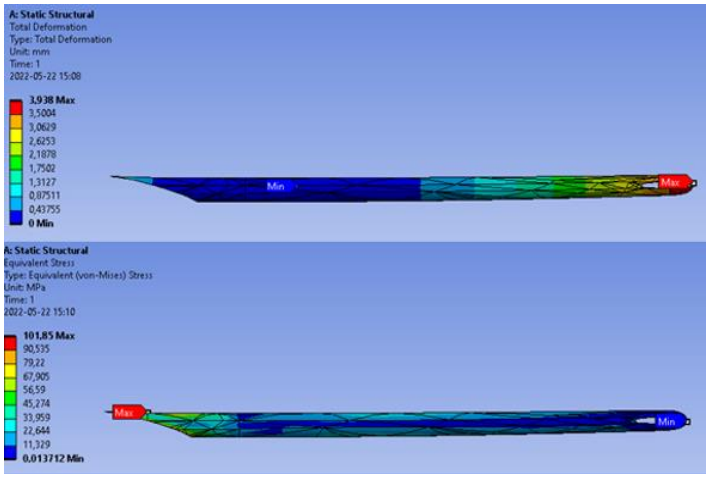
Figur 32, *Genererad dragkraft för valt koncept av bakvinge vid olika anfallsvinklar.*

5.1.3 Fuselage

Fuselaget som binder samman vingarna och masten har en längd på 750mm, Bredden är 30 mm och höjden 25mm. Måtten gäller från den största delen av fuselaget vilket är vid mastinfästningen. Därefter smalnar fuselaget av mot bakvingens infästning. Fuselaget har formats efter framvingens vingprofil för att underlätta infästningen på ovansidan av vingen. Det finns även en utskärning i bakre delen för bakvingen och även för masten på ovansidan av fuselaget.

Figur 33, *Renderad bild av fuselaget.*

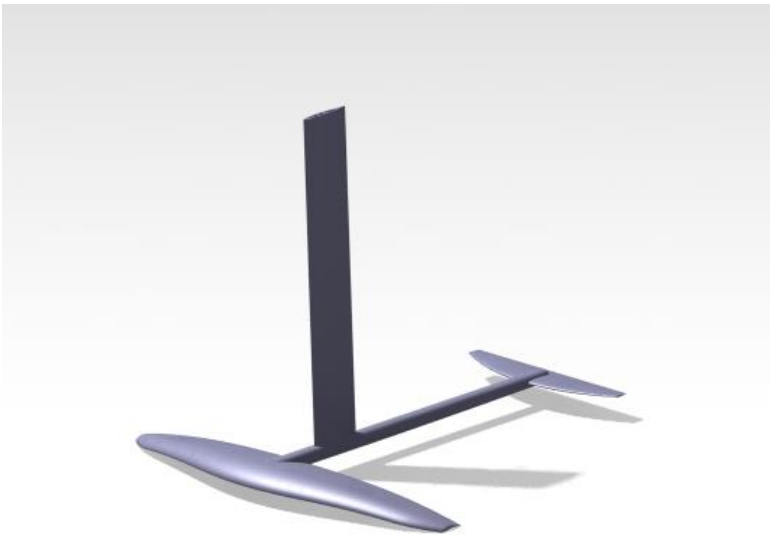
Hållfasthetsberäkningarna som genomfördes på fuselaget visar att en kraft på 5000 N på främre vingen och 500 N på bakre vingen inte skulle vara tillräckligt för att deformera fuselaget. Det gav även en säkerhetsfaktor på 2.49 vilket innebär att belastningen kan uppgå till 2.49 gånger så stor innan deformation uppstår. Lyftkraften som genereras av bakvingen utgör den största hävarmen vilket innebär att det är där töjningen blir som störst. Där visade resultatet att den maximala töjningen blir 3,8 mm. Då simuleringen är förenklad och fuselagets material är definierat som aluminium är inte resultatet helt pålitligt. Däremot ger det en uppskattning om hur fuselaget kommer att bete sig under inverkan av yttre krafter.



Figur 34, *Övre bilden: Max deformation, Undre bilden: Max spänning.*

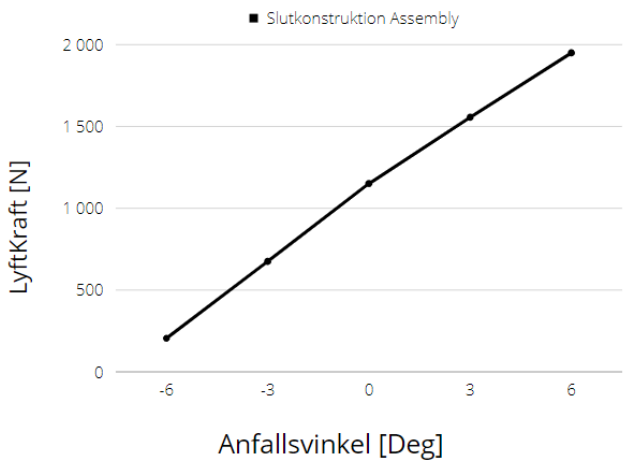
5.1.4 Hydrofoil

I figuren visas den slutgiltiga lösningen på hydrofoilen (bärplan tillsammans med mast) där de ingående komponenterna är ihopsatta. Hydrofoilens totala längd är 860 mm. Masten som tillhörde det förra bärplanet är förkortat med 200mm på höjden och är nu 700mm totalt.

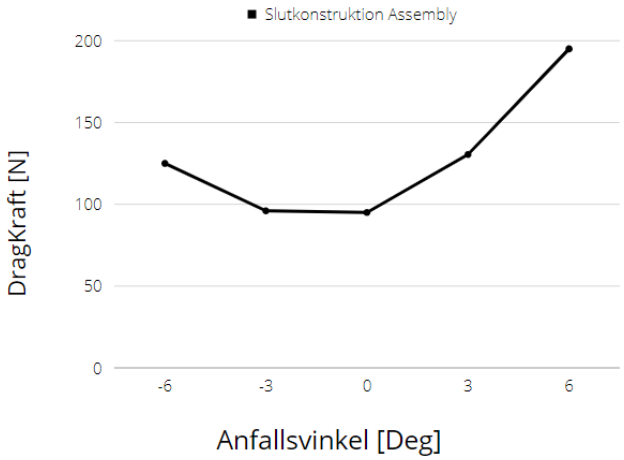


Figur 35 *Rendering av den färdiga hydrofoilen*

Det genomfördes systematiska flödessimuleringar av hydrofoilen på samma sätt som för de ingående delarna. Resultatet resulterade i att vid en anfallsvinkel på 0 grader genereras en lyftkraft på 1150N och en dragkraft på 96N. För att uppnå det satta kravet om en lyftkraft på 1300N krävs enbart en lutningsvinkel på 1.5 grader. Resultatet av lyft- och dragkrafter för övriga anfallsvinklar går att utläsa i figur 33.



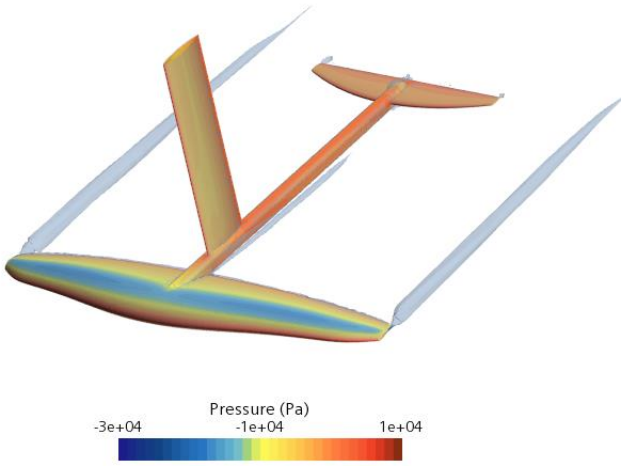
Figur 36, *Genererad lyftkraft för hela hydrofoilen med valda koncept.*



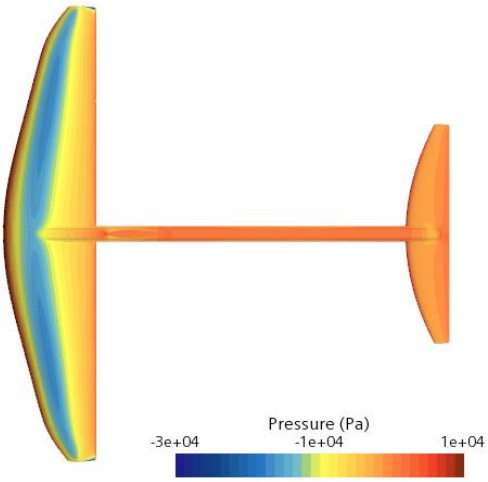
Figur 37, *Genererad dragkraft för hela hydrofoilen med valda koncept.*

Vid ett antagande att den designade anfallsvinkeln för hydrofoilen är 1.5 grader kan effekten som krävs för att driva brädan beräknas. Vid en anfallsvinkel på 1.5 grader fås en dragkraft på 120 N. Genom att anta att brädans hastighet är 6 m/s och verkningsgraden för systemet är 50% fås att det krävs 1.44 kW för att driva brädan.

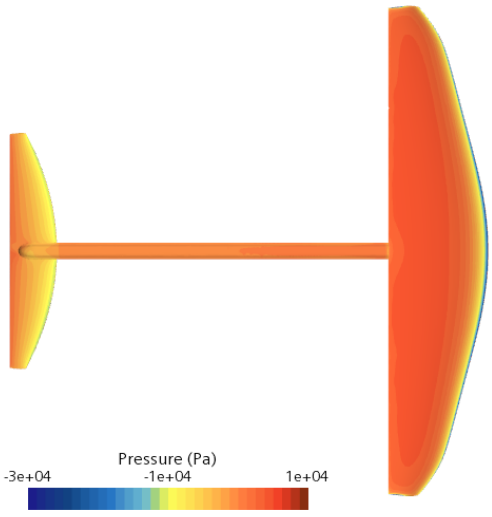
Tryckfördelningsgrafen för simuleringen av 0 grader visar att det uppkommer mindre spetsvirvlar vid båda vingarna. Vid infästningen av bakvingen syns det också att det uppstår lite turbulens. Under fuselaget bildas också ett svagt motstånd till följd av att fuselagets kant är skarp mot framvingen



Figur 38, *Bild över tryckfördelningen och virvlarna vid simulering av 0 graders anfallsvinkel.*

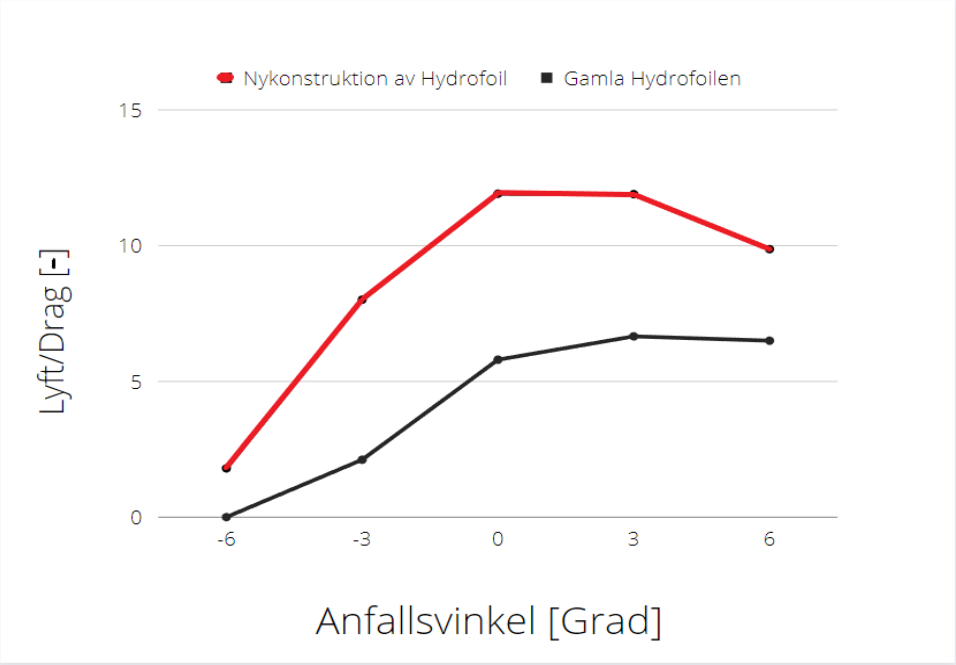


Figur 39, *Tryckfördelningen vid 0 graders anfallsvinkel. Topp vy*



Figur 40, *Tryckfördelningen vid simulering av 0 graders anfallsvinkel, Botten vy*

Ett mått för att bestämma prestandan på hydrofoilen som en enhet är att plotta en graf med lyft/drag-förhållandet på vertikalaxeln och anfallsvinkel på horisontalaxeln. [26] Grafen visar förhållandet för den nya och den gamla hydrofoilen. Det som grafen visar är att vid alla anfallsvinklar presterar den nya hydrofoilen bättre än den gamla. Vid 0 graders anfallsvinkel har lyft/drag-förhållandet dubblerats för den nya designen till stor del av den stora minskningen av dragkraft. Det gör att batteritiden för E-foilen med den nya hydrofoilen kommer att vara betydligt längre.



Figur 41, *Lyft/Drag- ratio för nykonstruerade hydrofoilen jämfört med den gamla konstruktionen.*

6 Diskussion

6.1 Grunden för arbetet

Vårt projekt har, som utgångspunkt för arbetet, använt en stor del information från tidigare projektgruppers resultat. Syftet var att vidareutveckla den lösningen som då togs fram. De har i sin tur grundat deras arbete på flertalet informella källor som till exempel internetartiklar, då tillgången på vetenskapliga källor är väldigt begränsade. Även idag finns det begränsat med vetenskapliga artiklar inom området. Utöver de informella källorna har den tidigare projektgruppen använt sig av kundundersökningar och intervjuer för att samla in kunskap och erfarenheter från personer med mer vana och expertis inom området.

Att grundlig information inhämtats från de tidigare arbeten har gjort att projektet blivit mer tidseffektivt i uppgiften att vidareutveckla bärplanet. Detta är dock samtidigt det som vi har insett är en möjlig felkälla för arbetet. Vi har ej studerat om det finns bättre lämpade vingprofiler för framvingen eller bakvingen än den som vi arbetade med. Huvuddelen av arbetet har bestått av förbättring av geometrin med avseendet på användningsområdet. Eftersom tid har varit en bristvara under projektet har vi ej studerat andra möjliga alternativ av vingprofiler.

Dimensioneringen på vingarna och fuselaget är ytterligare en möjlig felkälla i projektet. Då framtagandet av bärplanets geometri har varit tidskrävande har vi ej simulerat bärplanet med olika mått på vingarna eller fuselaget. Vi har heller inte provat att justera placeringen av masten på brädan alternativt på fuselaget. Detta innebär att vår simulering ej tar hänsyn till vart en person är placerad på brädan och inte heller vart den optimala platsen att stå på är. Vi har studerat placeringen av masten på fuselaget bland konkurrenterna på marknaden och gjort ett väl avvägt antagande om vart placering av masten borde vara. En vidareutvecklingspunkt för arbetet hade varit att beräkna den optimala placeringen och vilken skillnad olika placeringar skulle ha för effekt. Gällnade måtten på vingarna har vi precis som för placering av fuselaget gjort ett antagande efter att studerat konkurrenter. Då i stort sett alla konkurrenter ligger i samma storleksspann anser vi att våra valda mått är rimliga. Det bekräftas också av att vi uppnår den förväntade lyftkraften som önskas.

6.2 STAR CCM+

Projektet består till stor del av CFD-arbete i STAR CCM + där koncept skapats i cad som sedan har analyserats. Alla simuleringar använder samma grund och analyserna genomfördes på samma sätt. Simuleringarna blir den enda verifieringsmetoden som beskriver om konceptet är värt och jobba vidare med eller om ett nytt ska skapas. Det gör att projektet förlitar sig helt på det resultat som simuleringarna visar. Resultaten bygger endast på ett flöde och en hastighet. För att resultatet ska komma närmare verkligheten krävs att vågor och tryckskillnader mellan vattennivåer tas i beaktning. För att med säkerhet kunna veta om hydrofoilen presterar på samma sätt i praktiken krävs ytterligare verifieringsmetoder. Det som kan göras är att en prototyp tillverkas i en liten skala för att sedan testas i en vattentunnel. Däremot anses resultatet vara tillräckligt bra för att den nya konstruktionen av hydrofoilen ska kunna användas.

Det som är viktigt att observera är att det är endast hydrofoilen som har tagit i beaktning. Alla beräkningar, simuleringar och resultat bygger endast på hydrofoilen utan monterad surfbräda. Det är en viktig aspekt som kan vara bra att ha i åtanke vid eventuell vidareutveckling av den foilande surfbrädan

Strömningsmekanik ingår inte i den utbildningsplan som är för högskoleingenjörer inom maskinteknik. Det gör att den kunskap som krävs inom området för att kunna genomföra en simulering tog mycket tid. Dels för att lära sig teorin bakom strömningsmekaniken dels hur programmet fungerar. Projektet har gett en stor teoretisk förståelse inom strömningsmekanik och det har varit väldigt intressant och skapa något som även ger en respons på om det är bra eller inte.

7 Slutsatser

Projektets syfte var att vidareutveckla bärplanet på en befintlig prototyp. Bärplanet skulle konstrueras till att bli stabilare och lättare att manövrera. Den framtagna designen av det nya bärplanet går mjukare i vattnet och ger en bra prestanda. Eftersom bärplanet endast är verifierat digitalt går det inte att dra slutsatsen om att prestandan är densamma i verklig miljö. Däremot är resultatet tillräckligt tillförlitligt för att bärplanet skulle kunna testas och utvärderas i verklig miljö. Det vidareutvecklade bärplanet skulle kunna möjliggöra en ökad stabilitet och enklare manövrering. Den goda prestandan för bärplanet möjliggör att surfbrädan kan användas av en bredare målgrupp. Vid ett antagande om att hydrofoilen enbart skulle tillverkas i aluminium skulle massan bli 10,5 kg. Totala massan på hela brädan skulle då bli 31,5 kg vilket skulle möjliggöra att en person som väger upp till 100 kg kan använda e-foilen.

Bärplanets utformning kunde genom systematiska simuleringar visa att en strömlinjeformad design gav upphov till de mjukaste strömlinjerna kring bärplanet. Designen där bakvingen och fuselaget är placerade bakom framvingen medför att dragkraften minskar på bärplanet. Det som gav upphov till de största dragkrafterna och därmed en minskad stabilitet berodde på infästningen av vingarna. Det är en viktig aspekt som bör tas i beaktning vid en prototyptillverkning.

Vingprofilerna har inte ändrats under projektet i förhållande till det befintliga bärplanet. Projektet har endast fokuserat på utformningen av vinggeometrin och även att designa vingarna mer strömlinjeformade. Med mjukare former reduceras dragkrafterna. Den elliptiska formen på vingarna har visats vara den mest effektiva designen för att motverka dragkraft. I jämförelse med de befintliga vingarna har en ökad kordalängd använts på de framtagna vingarna, vilket bidrar till en större vingarea. Det resulterar i att lyftkraften ökade och därmed kunde det konstateras att vingarean och lyftkraften är beroende av varandra.

8 Referenser

[1] ”NE, Nationalencyklopedin, Vågsurfing,” [Online]. Available: https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/surfing. [Använd 02 09 2022].

[2] ”NE,” National Encyklopedin, 20 02 2022. [Online]. Available: https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/b%C3%A4rplansb%C3%A5t.

[3] P. B. Serra, ”Hydrofoil Design and Construction,” UP Commons, Barcelona, 2019.

[4] H. Overton, ”Boat International,” 15 03 2022. [Online]. Available: https://www.boatinternational.com/luxury-yacht-life/lifestyle/best-jet-boards-electric-surfboards. [Använd 17 03 2022].

[5] C. Norberg, ”Lunds Tekniska Högskola,” [Online]. Available: https://www.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MMV211/OH-wingtheory.pdf. [Använd 08 04 2022].

[6] L. T. 'Högskola, ”Ltu.se,” [Online]. Available: https://www.ltu.se/cms_fs/1.4070!/aerodynamik%20o%20vingar%20del2.pdf. [Använd 12 05 2022].

[7] F. M.White, i *Fluid Mechanics 8TH Edition in Si-units*, McGraw Hill/Asia, 2016, pp. 3-5.

[8] ”Ne, Nationalencyklopedin, Strömningsmekanik,” [Online]. Available: http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/strömningsmekanik. [Använd 05 02 2022].

[9] ”Ne, Nationalencyklopedin, Turbulens,” [Online]. Available: https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/turbulens. [Använd 18 02 2022].

[10] ”Ne, Nationalencyklopedin, Reynolds Tal,” [Online]. Available: http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/reynoldstal. [Använd 06 02 2022].

[11] F. M.White, i *Fluid Mechanics 8TH Edition in Si-units*, McGraw Hill / Asia, 2016, pp. 20-25.

[12] H. Hultgren, ”CFD-simulering av hydrofoil-Dimensionering av hydrofoil för användning,” Uppsala Universitet, Uppsala, 2020.

[13] ”Därför flyger flygplan,” 28 08 2019. [Online]. Available: https://www.xplaine.com/darfor-flyger-flygplan/. [Använd 12 03 2022].

[14] N. A. a. S. Administration, ”Principles of Flight: Bernoulli's Principle,” Nasa, 20.

[15] N. Hall, ”What is Drag?,” National Aeronautics and Space Administration, 2021.

[16] F. D. K. L. M. L. M. M. P. M. Ellinor Hallberg, ”Eldriven surfbräda med bärplan,” Chalmers , Göteborg, 2021.

[17] ”Airfoiltools,” [Online]. Available: http://airfoiltools.com/plotter/index. [Använd 15 03 2022].

[18] ”Airfoilstools Plotter,” [Online]. Available: http://airfoiltools.com/plotter/index?airfoil=n0012-il. [Använd 19 03 2022].

[19] F. M.White, i *Fluid Mechanics 8TH Edition in Si-Units*, McGraw Hill / Asia, 2016, p. 446 Fig 7.22.

[20] ”Tuv Nord,” [Online]. Available: https://www.tuv-nord.com/se/en/fraan-a-till-oe/cfd-computational-fluid-dynamics/. [Använd 23 05 2022].

[21] P. M. Kurowski, ”Finite Element Analysis for Design Engineers,” SAE International, 2004, pp. 2-12.

[22] ”ANSYS, Ansys workbench,” [Online]. Available: https://www.ansys.com/products/ansys-workbench. [Använd 02 03 2022].

[23] ”educba, What is catia?,” [Online]. Available: https://www.educba.com/what-is-catia/. [Använd 10 05 2022].

[24] M. Pattison, ”Thermopedia.com,” [Online]. Available: https://www.thermopedia.com/content/1248/. [Använd 03 06 2022].

[25] [Online].

[26] N. Hall, ”NASA, National Aeronautics and Space Administration,” [Online]. Available: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/ldrat.html. [Använd 24 05 2022].

[27] ”NE, Nationalencyklopedin,Bärplansbåt,” [Online]. Available: https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/b%C3%A4rplansb%C3%A5t. [Använd 09 02 2022].

[28] N. Hall, ”NASA, The Drag Coefficient,” [Online]. Available: https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/dragco.html. [Använd 19 03 2022].

[29] F. M.White, i *Fluid mechanics 8th Edition in Si-units*, McGraw Hill / Asia, 2016, pp. 446-452.

[30] ”mechstuff,” [Online]. Available: https://mechstuff.com/how-to-import-airfoil-coordinates-from-excel-to-catia/ . [Använd 25 02 2022].

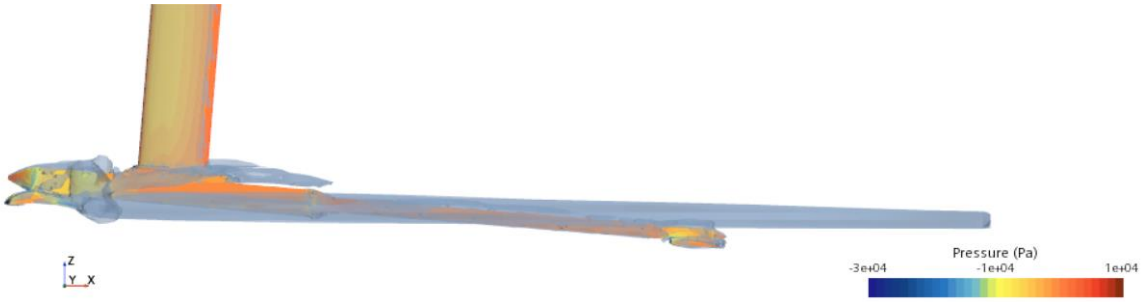
[31] Pilotfriend, ”Pilotfriend,” [Online]. Available: http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/aero/wng_vort.htm. [Använd 03 06 2022].

Bilagor

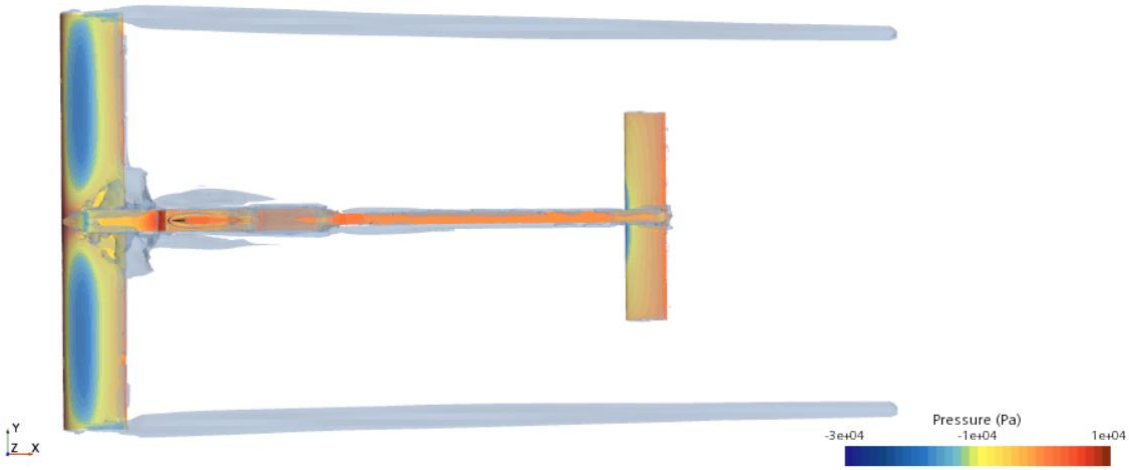
Bilaga 1 Kriteriespecifikation

Chalmers	Dokumenttyp	Kriterielista				
	Projekt	Hydrofoil till Eldriven surfbräda				
Utfärdare: David Randby *Simon Svensson Qvistberg*		*Skapad:* 2022-03-03 *Modifierad:* 2022-05-22				
	Kriterier	*Målvärde*	*K/Ö*	*Vikt*	*Verifieringsmetod*	*Referens (kravställare)*
	Funktion/er)					
	Medge tillräcklig lyftkraft för att ¨sväva¨ under drift		K			
	Medge stabil manövrering vid drift		Ö	5		
1.	**Prestanda**					
	1.1 *Lyftkraft*	*>1300 N*	K		CFD (Star-CCM+)	Projektgruppen
	1.2 *Dragkraft*	*Minimera turbulens*	Ö	4	CFD(Star-CCM+)	ESSIQ AB
	1.3					
2.	**Massa**					
	2.1 *Befintlig E-foil*	*≈ 30 kg*				
	2.2 *Befintlig hydrofoil*	*≈ 9 kg*				
	2.3 *Ny hydrofoil*	*< 12 kg*	K		Catia V5	Projektgruppen
3.	**Användare**					
	3.1 *Vikt*	*< 100kg*	K		Målgrupp	Projektgruppen
2.	**Storlek**					
	2.1 Vingspann (framvinge)	< 950 mm	Ö	4	Catia V5	Projektgruppen
	2.2 Fuselage	< 800 mm	Ö	4	Catia V5	Projektgruppen
3.	**Säkerhet**					
	3.1 Propeller (Endast vid prototyptillverkning)	Kringliggande skydd	Ö	5	Catia V5	ESSIQ AB
4.	**Estetik och ytfinish**					
	4.1 Design	Strömlinjeformad	Ö	5	Catia V5	Projektgruppen,ESSIQ AB

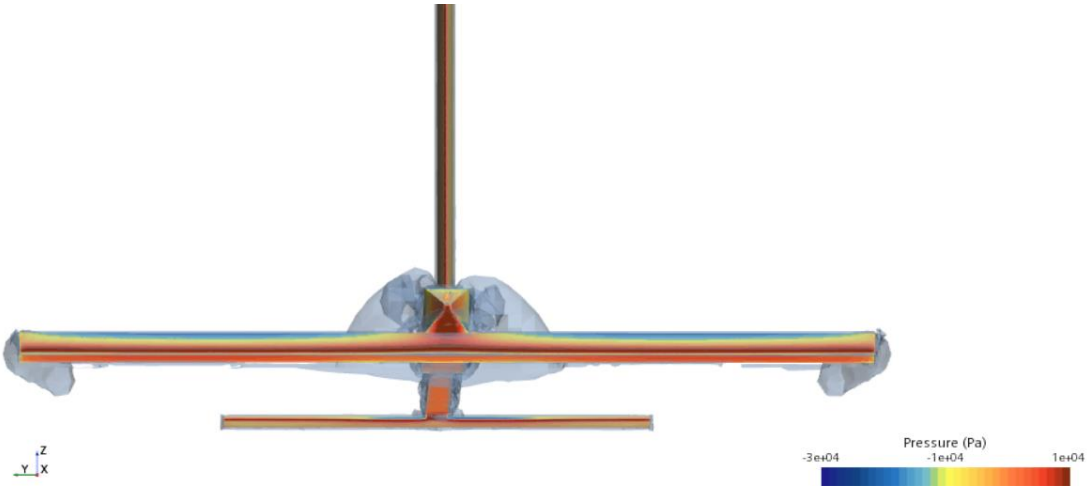
Bilaga 2



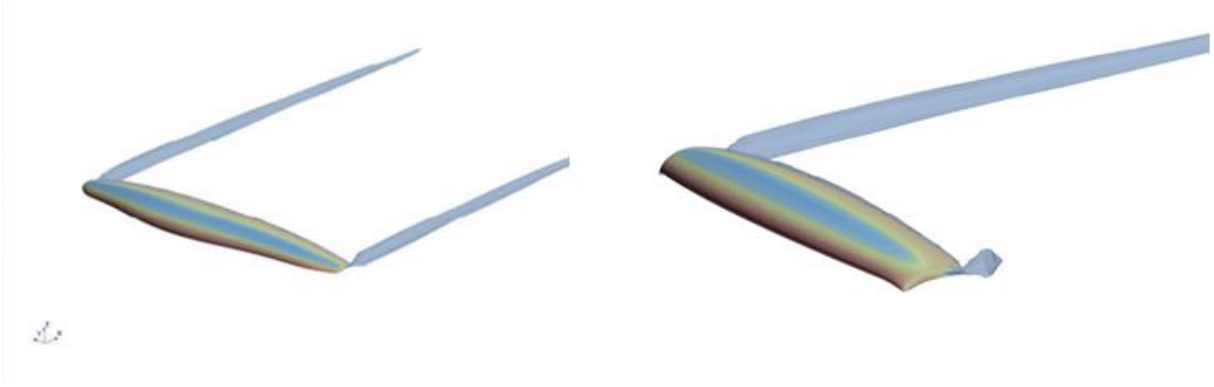
Bilaga 3



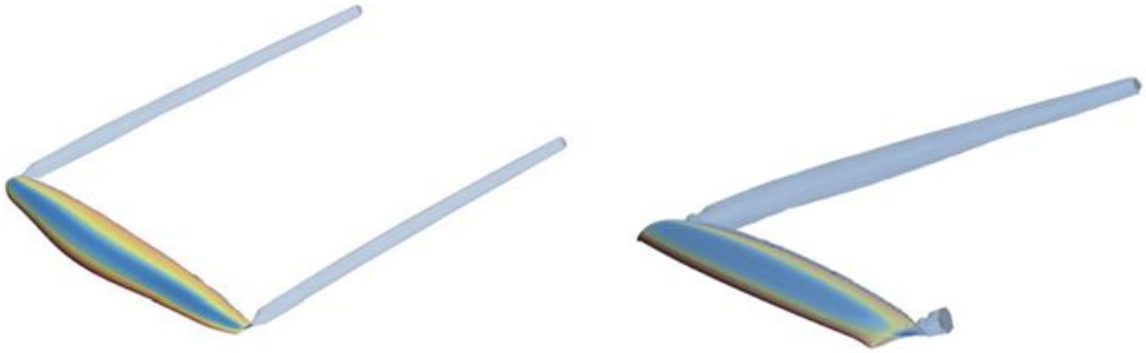
Bilaga 4



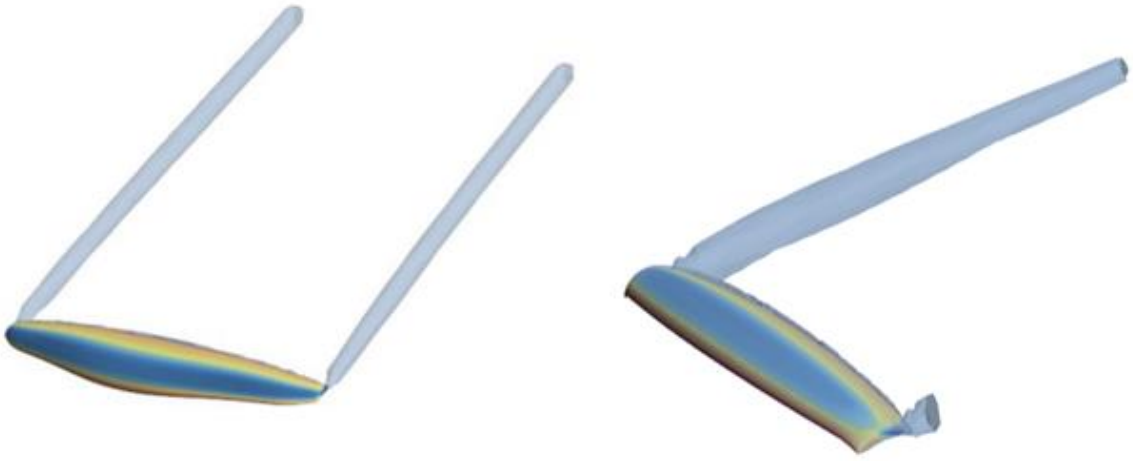
Bilaga 5 Tryckfördelning för framvinge (0 grader)



Bilaga 6 Tryckfördelning för framvinge (3 grader)



Bilaga 7 Tryckfördelning för framvinge (6 grader anfallsvinkel)



Bilaga 8 Tryckfördelning och virvelvisualisering för bakvinge (0 graders anfallsvinkel)

Koncept 1

Koncept 2

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH
MARITIMA VETENSKAPER MMSX25
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.Chalmers.se

CHALMERS