



# Längdskidor på vatten

Prototypframtagning av en produkt som ska imitera  
längdskidåkning på vatten

Ett kandidatarbete inom produktutveckling

VICTOR ANDERSSON  
MÅNS ARVIDSSON  
OLIVER MÁRKUS-JOHANSSON  
AINA SIGBJÖRNSSON  
AGNES ÅSESKOG

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP  
IMSX16-VT24-08  
MAJ 2024



# Längdskidor på vatten

Ett kandidatarbete inom produktutveckling

VICTOR ANDERSSON  
MÅNS ARVIDSSON  
OLIVER MÁRKUS-JOHANSSON  
AINA SIGBJÖRNSSON  
AGNES ÅSESKOG



**CHALMERS**

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
IMSX16-VT24-08  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2024

Längdskidor på vatten

Ett kandidatarbete inom produktutveckling

© VICTOR ANDERSSON, MÅNS ARVIDSSON, OLIVER  
MÁRKUS-JOHANSSON, AINA SIGBJÖRNSSON, AGNES  
ÅSESKOG, 2024

Handledare och examinator: Ola Isaksson, Professor, Produktutveckling, Industri-  
och materialvetenskap

Kandidatarbete 2024  
Instutionen för Industri- och materialvetenskap  
IMSX16-VT24-08  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Bild på resultat under det slutgiltiga testet  
Typsatt i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg, Sverige 2024

## **Abstract**

This project aimed to develop a prototype to simulate cross-country skiing on water, thereby enabling a new way of skiing. Through an iterative product development approach, multiple prototypes were tested and evaluated to achieve an authentic skiing experience by engaging similar muscle groups and replicating the technique used in skiing on snow. Various concepts for hull shape, propulsion, and stability were explored, leading to a wide range of ideas and possibilities. Decisions were made to exclude electric propulsion, resulting in a prototype consisting solely of skis and poles. Valuable insights were obtained from various external sources, including manufacturers and professors in fluid mechanics. With support from the team and perseverance, the initial idea evolved into a full-scale prototype made of carbon fiber. Despite encountering challenges due to ambitious timelines, many ideas with potential remain unexplored, which future stakeholders can consider.

## **Keywords**

Product development, Water sports, Cross-country skiing, Prototype, Cross-country skiing on water.

## **Sammandrag**

Under detta projekt har en prototyp tagits fram för att imitera längdskidor på vatten. Detta för att kunna öppna upp en ny möjlighet för att åka längdskidor. Genom en iterativ produktutvecklingsmetod kunde flertal prototyper testas och utvärderas. Målet var att åstadkomma en så autentisk skidliknande känsla som möjligt genom att aktivt engagera liknande muskelgrupper och efterlikna samma teknik som vid längdskidåkning på snö. Med hjälp av olika koncept för form, framdrift och stabilitet så kunde ett brett utbud av idéer och möjligheter presenteras. Beslut togs tidigt kring att prototypen inte skulle vara elektriskt driven och enbart bestå av ett par skidor och ett par stavar. Med hjälp från olika externa källor, allt från tillverkare till professorer i strömningsmekanik, så har väsentlig kunskap erhållits. Tack vare stödet runtomkring och en ihärdighet i gruppen kunde något som från början bara var en idé, bli en fullskalig prototyp tillverkad i kolfiber. När en hög ambitionsnivå sedan mötte projektets tidspress uteblev många tankar och idéer som fortfarande tros ha potential. Det är något som framtida intressenter kan ta i beaktning.

### **Nyckelord**

Produktutveckling, Vattensport, Längdskidor, Prototyp, Längdskidor på vatten.

## **Förord**

Det är med stor tacksamhet vi presenterar denna rapport om Längdskidor på vatten. Utan det stöd och bidrag som vi har fått från flera personer och företag skulle detta projekt inte kommit så långt som det har.

Ett stort tack riktas till Jan Bragé, Reine Nohlborg, och övrig personal på prototypplabbet som hjälpt oss med tillverkningen av många detaljer och prototyper för testning. Vi vill även rikta ett stort tack till Jesper Yngvesson på Vaxholm Komposit AB för tillverkningen av slutprototypen, finansiering av materialet samt för vägledning kring tillverkning.

Vi vill också tacka Magnus Lindstedt och Niklas Andersson för den vägledning och inspiration som hjälpt oss att driva projektet framåt.

Ett särskilt stort tack till Stefan Grönqvist på Aros Polymerteknik AB som har bidragit med material, handledning och den största delen av finansieringen. Vi vill även ge ett särskilt tack till Filip Gustafsson från Formula student för din hjälp med sammansättning av skidorna. Er hjälp har varit avgörande för att göra detta till ett lyckat projekt.

Vi vill slutligen tacka vår handledare och examinator Ola Isaksson för vägledningen och vår uppdragsgivare Erik Solbu för idén och engagemanget, utan er hade detta projekt inte varit möjligt.



# Innehåll

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Projektets uppkomst . . . . .  | 1         |
| 1.2      | Syfte och mål . . . . .  | 1         |
| 1.3      | Problem . . . . .  | 1         |
| 1.4      | Avgränsningar . . . . .  | 1         |
| 1.4.1    | Projektavgränsningar . . . . .                                       | 1         |
| 1.4.2    | Produktavgränsningar . . . . .                                       | 2         |
| <b>2</b> | <b>Bakgrund</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1      | Grundläggande fysik och definitioner . . . . .                       | 3         |
| 2.1.1    | Newtons andra lag . . . . .  | 3         |
| 2.1.2    | Arkimedes princip . . . . .  | 3         |
| 2.1.3    | Definition av stabilitet och bärlighet hos vattenfarkoster . . . . . | 3         |
| 2.1.4    | Masscentrum och bärlighetscentrum . . . . .                          | 3         |
| 2.2      | Egenskaper hos liknande vattenfarkoster . . . . .                    | 4         |
| 2.2.1    | Kajakens form . . . . .  | 4         |
| 2.2.2    | Flerskrovsfarkoster . . . . .  | 4         |
| 2.2.3    | Formen på SUP-bräddor . . . . .                                      | 5         |
| 2.3      | Marknadsundersökning . . . . .                                       | 6         |
| 2.3.1    | Marknaden för vattensport . . . . .                                  | 6         |
| 2.3.2    | Användare av liknande vattensport . . . . .                          | 7         |
| 2.3.3    | S-kurva . . . . .  | 7         |
| 2.3.4    | Existerande lösningar . . . . .                                      | 8         |
| 2.4      | Produktutvecklingsmetoder . . . . .                                  | 9         |
| 2.4.1    | Minsta funktionsdugliga prototyp . . . . .                           | 9         |
| 2.4.2    | Spirala produktutvecklingsprocessen . . . . .                        | 9         |
| 2.4.3    | Braindrawing . . . . .   | 10        |
| 2.4.4    | Persona . . . . .  | 10        |
| <b>3</b> | <b>Metod</b>   | <b>11</b> |
| 3.1      | Arbetsätt . . . . .  | 11        |
| 3.2      | Metoder för identifiering av användare och kravsättning . . . . .    | 12        |
| 3.2.1    | Identifiering av användaren . . . . .                                | 12        |
| 3.2.2    | Funktionslistning med MFP . . . . .                                  | 12        |
| 3.2.3    | Kravspekifikation . . . . .  | 12        |
| 3.3      | Designspiral . . . . .   | 13        |
| 3.3.1    | Expertkonsultation/idégenerering . . . . .                           | 14        |
| 3.3.2    | Elimineringsmatris . . . . .   | 14        |
| 3.3.3    | Fysisk och virtuell konstruering . . . . .                           | 14        |
| 3.3.4    | Simuleringar och tester . . . . .                                    | 15        |
| 3.3.5    | Utvärdering . . . . .  | 15        |
| 3.4      | Konceptval och designförbättringar . . . . .                         | 15        |
| 3.4.1    | Slutgiltig eliminering . . . . .                                     | 15        |
| 3.4.2    | Designförbättringar . . . . .  | 16        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Genomförande</b>   | <b>17</b> |
| 4.1      | Användaren och kravsättning . . . . .                           | 17        |
| 4.1.1    | Identifierad användare . . . . .                                | 17        |
| 4.1.2    | Minsta funktionsdugliga prototyp . . . . .                      | 18        |
| 4.1.3    | Funktionslistning och kravspecifikation . . . . .               | 19        |
| 4.1.4    | Idégenerering . . . . .   | 20        |
| 4.1.5    | Elimineringsmatris . . . . .                                    | 21        |
| 4.2      | Utvecklingen från elimineringsmatris till konceptval . . . . .  | 21        |
| 4.2.1    | Stavar . . . . .  | 21        |
| 4.2.2    | Framdrift . . . . .   | 22        |
| 4.2.3    | Skrovform, längd och styvhet . . . . .                          | 25        |
| 4.2.4    | Stabilitet . . . . .  | 29        |
| 4.3      | Tillverkning av slutprototyp . . . . .                          | 31        |
| 4.3.1    | Extern tillverkning . . . . .                                   | 31        |
| 4.3.2    | Intern tillverkning . . . . .                                   | 32        |
| 4.3.3    | Sammansättning av slutprototyp . . . . .                        | 33        |
| 4.4      | Test av slutprototyp . . . . .                                  | 33        |
| <b>5</b> | <b>Resultat</b>   | <b>34</b> |
| 5.1      | Slutprototypen . . . . .  | 34        |
| 5.1.1    | Framdrift . . . . .   | 35        |
| 5.1.2    | Form . . . . .  | 36        |
| 5.1.3    | Stabilitet . . . . .  | 37        |
| 5.2      | Uppfyllanden av kravspecifikation . . . . .                     | 37        |
| <b>6</b> | <b>Rekommendationer</b>   | <b>38</b> |
| 6.1      | Utvecklingsmöjligheter för klaffarna . . . . .                  | 38        |
| 6.2      | Utvecklingsmöjligheter för skrovet . . . . .                    | 38        |
| 6.3      | Utvecklingsmöjligheter för stabilitetsspecifika delar . . . . . | 39        |
| <b>7</b> | <b>Diskussion</b>   | <b>40</b> |
| 7.1      | Diskussion av slutkonceptet . . . . .                           | 40        |
| 7.2      | Lärdomar om framdrift . . . . .                                 | 40        |
| 7.3      | Lärdomar om skrovform . . . . .                                 | 41        |
| 7.4      | Lärdomar om stabilitet . . . . .                                | 42        |
| 7.5      | Lärdomar om projektarbetet . . . . .                            | 42        |
| 7.6      | Etik och hållbarhet . . . . .                                   | 42        |
| 7.7      | Utvärdering av testernas pålitlighet . . . . .                  | 43        |
| 7.7.1    | Positiva aspekter . . . . .                                     | 43        |
| 7.7.2    | Begränsningar . . . . .   | 43        |
| 7.7.3    | Förbättringsmöjligheter av projektet . . . . .                  | 44        |
| 7.8      | Framtid . . . . .   | 44        |
| <b>8</b> | <b>Slutsats</b>   | <b>45</b> |
| <b>9</b> | <b>Bilagor</b>  | <b>48</b> |



## Begreppslista

| Begrepp               | Förklaring  |
|-----------------------|---|
| CAD                   | Datorstödd modellering (Computer Aided Design)                        |
| CFRP                  | Kolfiberförstärkt polymer (Carbon Fiber Reinforced Polymer)           |
| EPS                   | Expanderad polystyren, även kallad frigolit                           |
| Funktionsprototyp     | Prototyp vars syfte är att utvärdera funktionaliteten                 |
| Inkompressibel vätska | En vätska som inte går att komprimera                                 |
| MFP                   | Minsta funktionsdugliga prototyp                                      |
| PLA                   | Polyaktid, en typ av plast  |
| Skrov                 | En vattenfarkosts sidor och botten, utan inredning eller däck         |
| Stäv                  | Skrovets främre ytterlinje i profil                                   |
| Stödyta               | Den yta som en kropp stöder sig på                                    |
| SUP                   | Stand up paddle   |
| Svall                 | En ytvåg som uppstår i en vätska kring en kropp som rör sig över ytan |
| Tvärstabilitet        | Stabilitet i sidled   |
| Vattenlinjelängd      | Längden på farkosten längs vattenytan                                 |
| Våtyta                | Den yta som är i kontakt med vatten                                   |
| XPS                   | Extruderad polystyren   |

# 1 Inledning

Människan har alltid haft ett behov av att färdas över vatten. Att stå upp och navigera smala vattenfarkoster har utnyttjats i århundraden inom olika kulturer runt om i världen (Paul, 2018).

I detta kapitel beskrivs ursprunget till projektets idé samt syfte och mål. Avsnittet behandlar också avgränsningar och vilka problem som behöver adresseras under utvecklingsprocessen.

## 1.1 Projektets uppkomst

Idén till detta arbete skapades av uppdragsgivaren, Erik Solbu, som en dag såg en SUP passera på vattnet. Stand Up Paddle (SUP) är en form av paddling som uppkommit i modern tid och idag är det en populär sport och fritidsaktivitet (Paul, 2018). Det stora intresset för längdskidor föranledde idén om längdskidåkning på vatten. Solbu började skissa på idén men ett produktutvecklingsarbete för att testa dess bärighet saknades. Därför kontaktades Stefan Grönqvist på Aros Polymerteknik AB för att förverkliga visionen. Företaget var villiga att samarbeta men hade inte tillräckligt med resurser för att driva produktutvecklingen framåt. På grund av detta kontaktades Ola Isaksson, professor i produktutveckling på Chalmers tekniska högskola, och kandidatarbetet formulerades. Se uppdragsbeskrivningen i Bilaga A.

## 1.2 Syfte och mål

Projektets syfte är att undersöka möjligheter och utmaningar med att efterlikna längdskidåkning på vatten. Projektet avser att framställa en rapport som kommer att utgöra grunden för fortsatt utveckling av produkten.

Projektets mål är att bygga och testa en funktionsprototyp i full skala för att undersöka dess potential. Prototypen ska kunna bära upp användaren på vattenytan och genom en upplevelse lik längdskidåkning kunna föra användaren framåt.

## 1.3 Problem

Problemet med projektet är att det är svårbedömt huruvida det går att efterlikna längdskidåkning på vatten och hur en sådan lösning skulle se ut. Det finns inte några tidigare etablerade lösningar att utgå från.

## 1.4 Avgränsningar

Avgränsningar delas upp i generella avgränsningar för projektet och specifika avgränsningar för den tänkta produkten som tillsammans bildar en ram för arbetet.

### 1.4.1 Projektavgränsningar

Projektet begränsas av tidsramen 16 januari till 23 maj och innefattar tillverkning av en funktionsprototyp i full skala, en rapport, opponering och en slutpresentation.

Projektet saknar en definitiv budget. Uppdragsgivaren är en privatperson och har inte möjlighet att avsätta en budget för prototypkostnader. Projektet tillgodoses med 2000 kr från Chalmers tekniska högskola med viss möjlighet till utökning efter individuell bedömning. Samarbete med tillverkningsföretag kan möjliggöra tillverkning av en produkt med utökad budget. Till viss del kan Chalmers verkstäder och labb användas utan kostnad.

### **1.4.2 Produktavgränsningar**

Produktutvecklingsprocessen kommer i första hand att fokuseras till utvecklingen av produkten som ska likna längdskidor. Stavar eller andra hjälpmedel tillkommer endast för att stötta test av skidprototypen. Inga elektriska eller motoriserade lösningar kommer att undersökas då uppdragsgivaren efterfrågar att skidorna framförs med hjälp av kroppen.

Hänsyn tas inte till vågor eller strömmar i vattnet då det förväntas medföra allt för svårlösta produktkrav. Dessutom förväntas inte användaren vilja använda produkten i svåra förhållanden, vilket gör en sådan begränsning rimlig.

Komplexitet och toleranser för produkten begränsas av tillverkningsmetoden som beslutas av tillverkaren. Lämpliga material, formbegränsningar och toleranser undersöks därför inte vidare i projektet.

## 2 Bakgrund

I detta kapitel beskrivs projektets utgångspunkt. Först presenteras nödvändiga fysiska principer och definitioner som används i projektet. Vidare beskrivs egenskaper hos liknande produkter, marknadsundersökning och liknande existerande lösningar. Till sist beskrivs också de produktutvecklingsmetoder som används i projektet.

### 2.1 Grundläggande fysik och definitioner

För att förstå förväntat beteende på kroppar i vatten introduceras ett antal begrepp och teorier som nyttjas vidare i arbetet.

#### 2.1.1 Newtons andra lag

Newtons andra lag har sambandet enligt ekvation (1) där  $F$  är den resulterande kraften,  $m$  är massan och  $a$  är accelerationen. Den kan skrivas om till ekvation (2) där  $g$  är gravitationen.

$$F = ma \quad (1)$$

$$F = mg \quad (2)$$

#### 2.1.2 Arkimedes princip

När en kropp är helt eller delvis nedsänkt i vatten är kraften på kroppen lika stor som tyngden av den vätska som pressas undan (*A Dictionary of Physics*, 2009).

$$F = \rho V g \quad (3)$$

Sambandet för Arkimedes princip visas i ekvation (3) där  $\rho$  är densiteten av vätskan,  $g$  är gravitationen,  $V$  är volymen undanträngd vätska och  $F$  är den resulterande flytkraften på kroppen. Genom att sätta Arkimedes princip mot Newtons andra lag erhålls ekvation (4) som används i projektet för att beräkna volymen av flytelementen och därmed minsta nödvändiga storlek på prototypen.

$$m = \rho V \quad (4)$$

#### 2.1.3 Definition av stabilitet och bärighet hos vattenfarkoster

Enligt projektet definieras stabilitet som farkostens förmåga att absorbera eller motstå yttre påverkan samt återfå balans efter sådan påverkan. Definitionen är inspirerad av Danish Fishermen's Occupational Health Services (2014) som definierar stabilitet som "Ett mått på farkostens förmåga att återgå till jämn köl efter att ha lutat" (egen översättning). Bärighet beskrivs också enligt "En farkost som flyter på vattnet kommer att förskjuta en mängd vatten som motsvarar farkostens vikt" (egen översättning). Danish Fishermen's Occupational Health Services (2014) skriver även att "Stabiliteten påverkas främst av förhållandet mellan tyngdpunkt och distributionen av farkostens bärighet" (egen översättning).

#### 2.1.4 Masscentrum och bärighetscentrum

Masscentrum är ett teoretiskt koncept som består av farkostens totala vikt inklusive egenvikt och vikt ombord. Den del av farkosten som befinner sig under vattenlinjen bidrar till farkostens bärighet. Hela farkostens bärighet kan centreras i en punkt som då utgör dess genomsnittliga läge. Denna punkt är inte statisk utan flyttar på sig beroende på farkostens läge i vattnet (Danish Fishermen's Occupational Health Services, 2014).

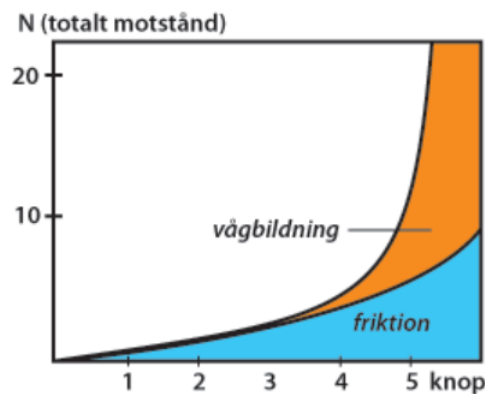
## 2.2 Egenskaper hos liknande vattenfarkoster

Längdskidåkning på vatten är inte ett etablerat koncept vare sig kommersiellt eller akademiskt. För att uppnå en djupare förståelse av liknande produkter och deras interaktion med vatten utforskas andra vattenfarkoster med liknande dynamik och design, där mer omfattande kunskap finns tillgänglig. I detta avsnitt analyseras kajaker, SUP och flerskrovsfarkoster.

### 2.2.1 Kajakens form

Enligt Söderkajak (2022) når smalare kajaker högre hastighet eftersom de har mindre motstånd än bredare kajaker. Det ökade motståndet från bredare kajaker kommer från vattnet som trycks undan av den större tvärsnittsarean. Fördelen med bredare kajaker är bättre stabilitet, därför är kajakdesign en balansgång mellan hastighet och stabilitet. Ytterligare mindre motstånd i högre hastigheter fås av rundade skrov eller v-formade skrov då dessa har minst våtyta och därmed mindre friktionsmotstånd.

Enligt Thomasson (2023) har vattenlinjelängden på en kajak också stor betydelse för hastigheten. En längre kajak har mer våtyta vilket ökar friktionsmotståndet men samtidigt minskar vågbildningsmotståndet. Motståndet har en betydande påverkan vid hastigheter högre än fyra knop, se Figur 1. Motståndet bildas eftersom kajaken trycker undan vatten som är en inkompressibel vätska. Det undantryckta vattnet omlokaliseras till ovanför vattenytan i form av vågor. I takt med ökande hastighet ökar våglängden, när vattenlinjelängden och våglängden är den samma har kajaken uppnått skrovfart. När användaren uppnår skrovfart är vågbildningsmotståndet förhållandevis litet, ökas hastigheten ytterligare ökas motståndet kraftigt. Därför måste längden också tas hänsyn till när man designar kajaker (Thomasson, 2023). Dessa principer bör beaktas i arbetet om prototypen erhåller liknande dimensioner och geometri som kajaken då liknande principer förväntas verka.



Figur 1: Motstånd kontra hastighet för kajaker (Thomasson, 2023). CC BY-NC-SA 3.0

### 2.2.2 Flerskrovsfarkoster

Det finns vattenfarkoster som använder sig av flera skrov för att förbättra stabiliteten. Enligt Dubrovsky (2010) är flerskrovsfarkoster säkrare på grund av sin större och mer lättillgängliga tvärstabilitet samt på grund av sina större volymer ovanför vattenytan. Dubrovsky (2010) menar att generellt sett är alla flerskrovsfarkoster mer sjövärdiga än sina motsvarande enskrovsfarkoster. Några exempel på dessa vattenfarkoster är katamaranen som har två skrov och trimaranen som har tre skrov. Fördelarna hos flerskrovsfarkoster kan vara intressanta att beakta eftersom prototypen i projektet kan komma att bestå av ett eller flera skrov.

### 2.2.3 Formen på SUP-brädor

Det är även relevant att studera formen på SUP-brädan då det finns flera likheter mellan SUP-brädor och möjliga lösningar som kommer att utvecklas i projektet. Den största likheten är att masscentrumet är högt upp vid användning av SUP-bräda då användaren står upp, till skillnad från kajaken. Vid längdskidåkning på vatten förväntas användaren också att stå upp och därav få ett högt masscentrum.

Enligt Dawes (2023) är de två viktigaste dimensionerna hos en SUP-bräda längden och bredden. En kortare bräda är lättare att manövrera medan en längre bräda har bättre glidförmåga och uppnår högre hastigheter. En vanlig bräda är oftast mellan 3 - 3,5 meter (m) lång. Brädor upp till 5,5 m långa är ovanliga men förekommer bland professionella utövare och SUP-entusiaster.

Dawes (2023) menar också att brädans bredd påverkar stabiliteten och dess förmåga att bära vikt. Ett par centimeters skillnad i bredd kan göra stor skillnad för stabiliteten. Smalare brädor är svårare att använda men uppnår högre hastigheter eftersom motståndet är mindre. Smalare brädor är även lättare att paddla korrekt eftersom paddeln kan hållas i ett närmare vertikalt läge än på en bredare bräda.

SUP-brädor flyter generellt sett ovanpå vattenytan, endast en liten del av brädan befinner sig under vattenytan när den rör sig framåt. Trots det måste brädans nos tränga sig genom vattnet. Desto bredare bräda och trubbigare nos, desto mer vatten behöver pressas åt sidorna. Därför leder en smalare bräda och spetsigare nos till mindre motstånd och bättre glid. Den övergripande stabiliteten blir något lägre hos en smalare bräda men den blir bättre på att hantera svall och kan uppnå högre hastigheter (Dawes, 2023). Till följd av likheterna mellan SUP-brädan och längdskidåkning på vatten förväntas kunskapen om formen kunna appliceras på projektet.

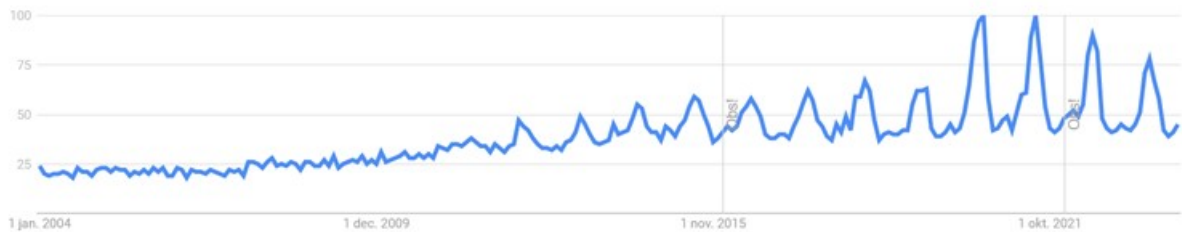
## 2.3 Marknadsundersökning

I detta avsnitt presenteras resultatet av en inledande marknadsundersökning och en sammanställning av redan existerande lösningar.

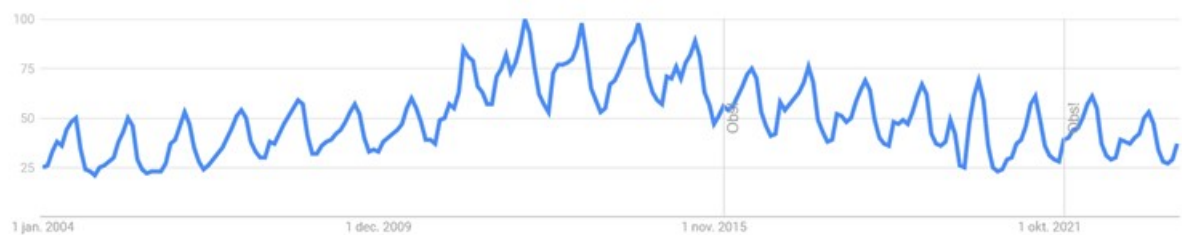
### 2.3.1 Marknaden för vattensport

Skidor på vatten är ännu inte en etablerad vattensport. För att ge en första indikation om intresset för längdskidåkning på vatten undersöks därför populariteten hos vattensporter som bedöms vara i samma marknadssegment. Kajak och SUP antas vara sådana vattensporter. Till exempel utförs aktiviteterna i samma miljö, det vill säga på vatten. Det är också motionsaktiviteter där kroppen används för att ta sig framåt. Enligt statistik för söktermer från Google Trends (Google, 2024b) mellan åren 2004 – 2024 söktes termen ”SUP” på flest gånger i juli 2021. I samma period under 2023 hade antalet sökningar sjunkit med 21 %, se Figur 2. För termen ”Kajak” (Kajak) var sökningarna som störst i juli 2013, i juli 2023 hade antalet sökningar sjunkit med 50 %, se Figur 3.

Statistiken för sökningar på ”SUP” och ”Kajak” är inte direkt kopplade till utövandet av varken SUP eller kajakpaddling men ger en indikation om intresset för dessa. Kurvornas periodiska utseende beror på den stora skillnaden i antal sökningar beroende på årstid.



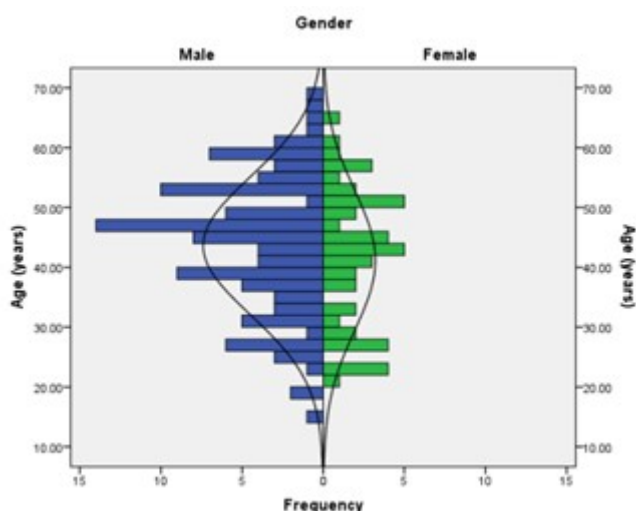
Figur 2: Sökningar på ”SUP” perioden 2004 - januari 2024 (Google, 2024b)



Figur 3: Sökningar på ”Kajak” perioden 2004 - januari 2024 (Google, 2024a)

### 2.3.2 Användare av liknande vattensport

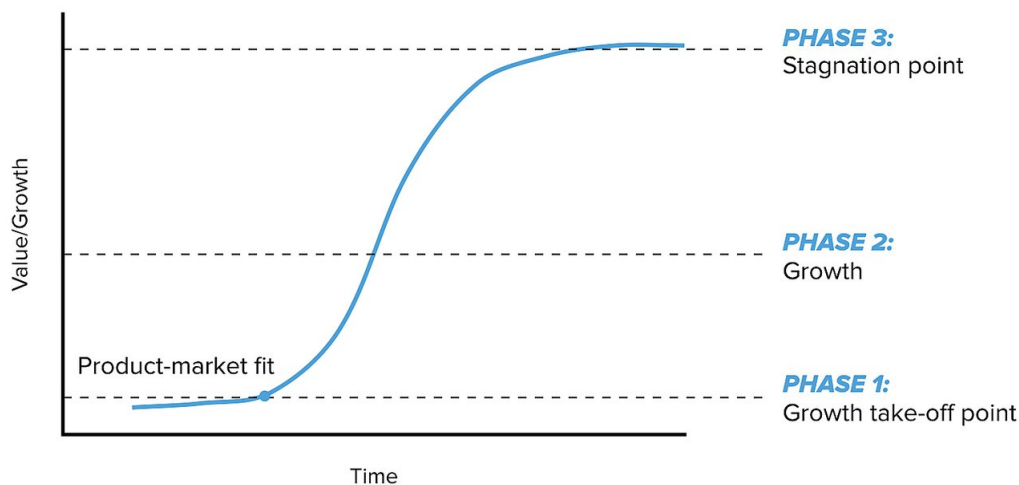
Användare av längdskidåkning på vatten kan inte studeras eftersom produkten ännu inte finns. Till följd av likheterna med SUP, se avsnitt 2.2.3, studeras därför dess användare. En australiensisk studie om SUP (Schram och Furness, 2017) undersökte dess främsta användningsområde och vilka de mest frekventa användarna var. Det främst förekommande användningsområdet för SUP var nöje och träning. Enligt studien var den genomsnittliga SUP-användaren  $42.9 \pm 11.7$  år. Åldersdistributionen kan närmare betraktas i Figur 4.



Figur 4: Åldersdistribution för SUP-användare (Schram och Furness, 2017). CC-BY

### 2.3.3 S-kurva

En S-kurva är uppdelad i tre faser som visar vart en produkt befinner sig i sin livscykel, se Figur 5. I fas ett är tillväxten låg jämfört med tillväxten i fas två då den är som kraftigast. I fas tre stagnerar tillväxten. Produkter går att placera ut på s-kurvan, men exakt var på kurvan bestäms av var produkten är i utvecklingen, vilket i sin tur bestäms av faktorer såsom intressen och popularitet (Rogers m. fl., 2019). Enligt Buytaert Dries (2018) är det optimala att hitta *product-market fit*, det vill säga den inflektionspunkt där kurvan blir kraftfullt brantare, för att maximera värdet av en produkt. SUP antas vara mellan tillväxtfasen och mognadsfasen av S-kurvan baserat på att tillväxten har bromsats in och intresset har sjunkit sedan 2020 (Google, 2024b). Produkten längdskidåkning på vatten kan tänkas ligga i början på fas ett, alltså tidigt i tillväxtfasen, eftersom det inte finns någon existerande marknad för en sådan produkt. Med det i åtanke så finns en stor potential för ökad tillväxt. Dessutom, som nämnt tidigare, så börjar den existerande marknaden för andra vattensporter att bromsa in. Därför kan marknaden tänkas vara redo för en ny sorts vattensport.



Figur 5: S-kurva, (Buytaert Dries, 2018). CC BY-NC

### 2.3.4 Existerande lösningar

Element av relevanta existerande lösningar undersöks genom patentsökning för att få inspiration inför idégenerering. För att inte exkludera lösningar i ett tidigt stadie användes olika kombinationer av sökord.

Ett av de patenten som hittades är CA2008954A1 CROSS WATER SKI av Carmichael (1991). Den del av patentet som är intressant för projektet är mekanismen på skidans undersida som medger framdrift. Den består av plattor som sitter fast i ena änden och fälls ner då skidan förs bakåt. När skidan förs framåt fälls plattorna upp och lägger sig plant längs med skidans undersida. Mekanismen skapar ett motstånd mot vattnet när skidan förs bakåt vilket kan liknas med att skidan får fäste i vattnet. Med fästet kan användaren skjuta ifrån och generera framdrift.

Ett annat patent är WO2021221686A1 MANUALLY PROPELLED WATER SKIS (Orth, 2021). För projektet kan både fotbindningen och strukturen på skidans undersida betraktas som intressant. Fotbindningen medger kraftöverföring från användaren till skidan som i kombination med strukturen på skidans undersida medger framdrift. Strukturen består av små repeterade utskott med en rät sida och en avfasad sida. Det finns olika alternativ för strukturens utformning såsom bågformad, V-formad eller U-formad. Till följd av strukturen blir motståndet från vattnet större när skidan förs bakåt än när den förs framåt, därmed medges fäste av strukturen som kan omsättas till framdrift.

Patentet EP3403915A1 WATERCRAFT WITH MANUAL PROPULSION SYSTEM är ett patent på en vattenfarkost som ska efterlikna längdskidåkning (Bailey, 2018). Den består av en längdåkningssimulator ansluten till paddlar och som vid längdskidåkningliknande rörelser driver vattenfarkosten framåt. Från detta patent kan paddeltekniken och idén om att simulera längdskidåkning på en vattenfarkost vara av intresse för projektet.

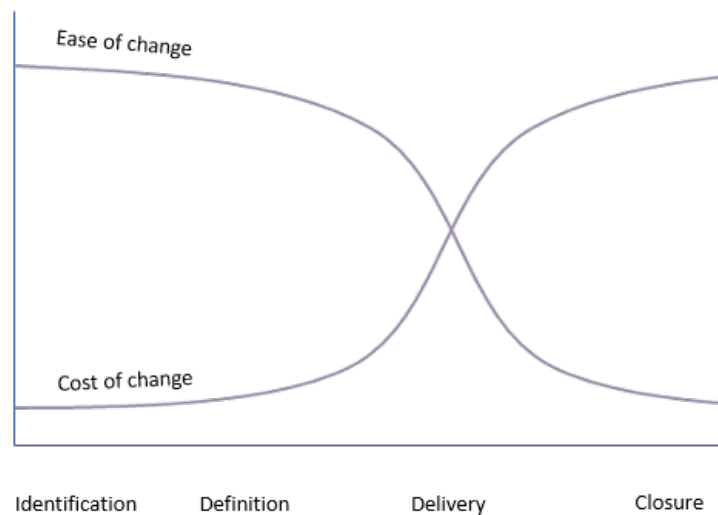
## 2.4 Produktutvecklingsmetoder

Delkapitlet syftar till att förklara och förtydliga de metoder som använts i arbetet och deras generella tillämpning.

### 2.4.1 Minsta funktionsdugliga prototyp

Designförändringar implementeras lättast tidigt i produktutvecklingsprocessen då en kravspecifikation inte är fastställd, se Figur 6. Ändringar senare i processen blir svårare att genomföra både på grund av redan satta krav samt att konceptet är förfinat ("Praxis Framework", u. å). Därför gynnas utvecklingsarbetet av att göra en minsta funktionsdugliga prototyp.

En minsta funktionsdugliga produkt (Minimum Viable Product, MVP) är enligt Washington (2023) "[...] en riskreducerad, första version av en produkt eller funktion." som "[...] är designad att få respons från användare tidigt i utvecklingen." (författarnas översättning). Då projektets MVP inte testas på marknaden och av utomstående användare har begreppets "produkt" ersatts med "prototyp" i detta fallet, då det är en mer korrekt beskrivning av applikationen. Konceptet "Minimum Viable Product" (MVP) uttrycks därför i detta arbete som "Minsta funktionsdugliga prototyp" (MFP).



Figur 6: Illustration över hur påverkningsmöjligheten och kostnaden för att påverka, utvecklas under projektets gång ("Praxis Framework", u. å). CC-BY-SA

### 2.4.2 Spirala produktutvecklingsprocessen

Den spirala produktutvecklingsprocessen är en process som kan tillämpas för effektiv framtagning och testning av prototyper. Processen tillämpar ett iterativt arbetssätt där lärdomar från den nuvarande iterationen kan användas inför nästa iteration. Funktionalitet rangordnas utifrån krav och de mest väsentliga funktionerna utvecklas i första hand, medan mindre betydande funktioner lämnas till efterföljande arbeten. (Ulrich och Eppinger, 2014).

### **2.4.3 Braindrawing**

Braindrawing är en typ av idégenereringsmetod där skisser nyttjas för att stimulera kreativiteten hos deltagarna. Vardera deltagare får ett papper där flera idéer kan skissas upp. Därefter skickas skisserna runt och deltagarna får utveckla varandras idéer. Idéerna kan senare förtydligas och diskuteras (Wikberg Nilsson m. fl., 2015).

### **2.4.4 Persona**

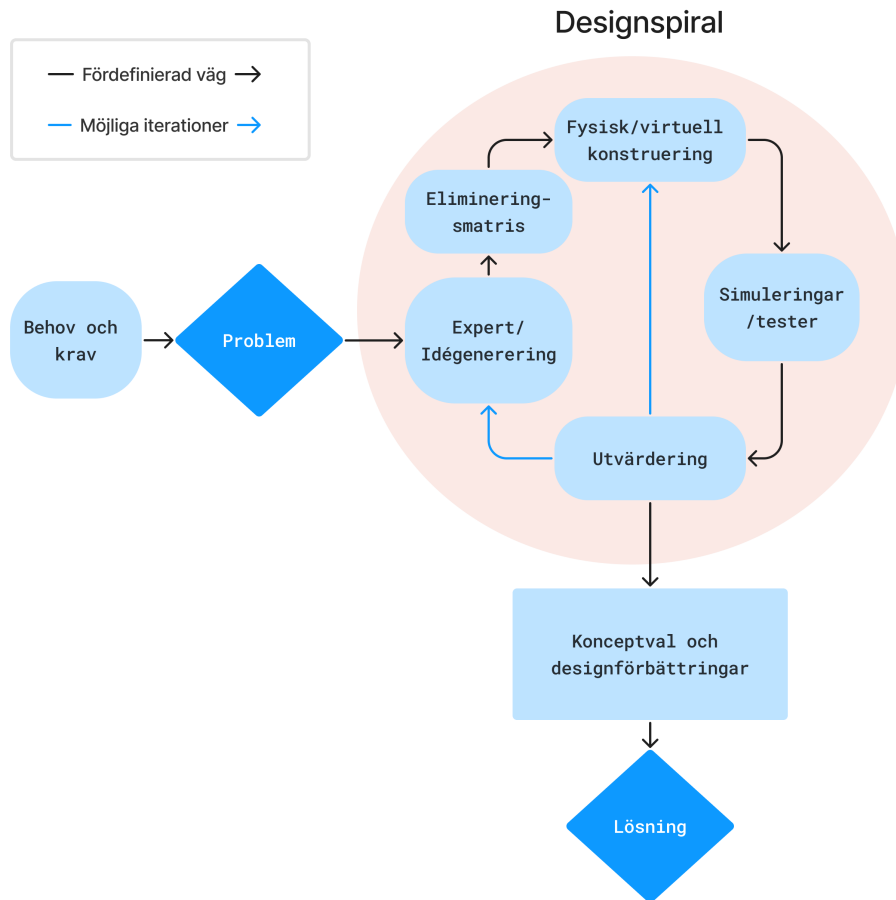
En persona är en beskrivning av en fiktiv person som syftar till att underlätta produktutvecklingen genom att bidra till förståelsen av användarnas behov, beteende och mål (Dam och Teo, 2024). I projektet kan metoden vara till hjälp för att få en bild av hur användaren kan komma att se ut, något som är svårt att avgöra då produkten ännu inte finns.

### 3 Metod

Kapitlet syftar till att förklara vilka metoder som har applicerats, deras motivation samt hur ett iterativt arbetssätt har tillämpats.

#### 3.1 Arbetssätt

En översikt av projektets tillvägagångssätt presenteras i Figur 7. Utifrån behov och krav definierades problemet. För att hitta lösningar tillämpades en typ av designspiral, se avsnitt 2.4.2. De möjliga iterationerna som användes i projektet illustreras i figuren med blå pilar, vilka indikerar systemets återkoppling. Det fördefinierade arbetssättet illustreras med svarta pilar. Designspiralens olika steg och deras syften beskrivs närmare i kommande delkapitlen.



Figur 7: Modell över applicerat arbetssätt

Projektet hade flera parallella utvecklingsprocesser för olika delkoncept. För att ge alla gruppmedlemmar en korrekt helhetsbild och underlätta integrationen av delarna i det slutgiltiga konceptet valdes ett arbetssätt med nära samarbete inom gruppen. Gruppmedlemmarna deltog i samtliga utvecklingsprocesser, arbetet delades upp inom vardera process.

## 3.2 Metoder för identifiering av användare och kravsättning

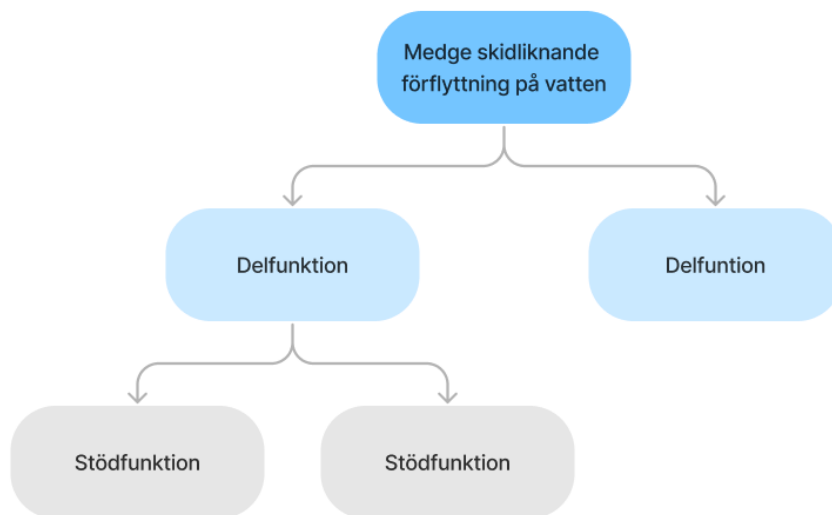
För att etablera riktlinjer för arbetsprocessen definierades användaren, behov och krav. Detta uppnåddes genom att, baserat på användaren och en MFP, identifiera och lista funktioner för att formulera en kravspekifikation. Senare i projektet kunde användaren, funktionslistan och kravspekifikationen användas som referenspunkter att återvända till och fatta beslut utifrån.

### 3.2.1 Identifiering av användaren

I början av projektet identifierades användaren och vilken målgrupp produkten skulle rikta sig mot. Genom att utgå från uppdragsbeskrivningen och marknaden för existerande lösningar kunde olika kännetecken och intressen för en tänkt användare listas. Listan lade sedan grunden för en persona. En större kundundersökning prioriterades inte med tanke på projektets tidsram.

### 3.2.2 Funktionslistning med MFP

En MFP konstruerades och testades, utifrån resultatet listades funktioner som sedan användes för att formulera en kravspekifikation. Funktionslistningen bestående av huvudfunktion, delfunktioner och stödfunktioner visas i Figur 8. Den skapades för att identifiera vilka funktioner som var nödvändiga för att uppnå projektets mål.



Figur 8: Modell över funktionslistningen

### 3.2.3 Kravspekifikation

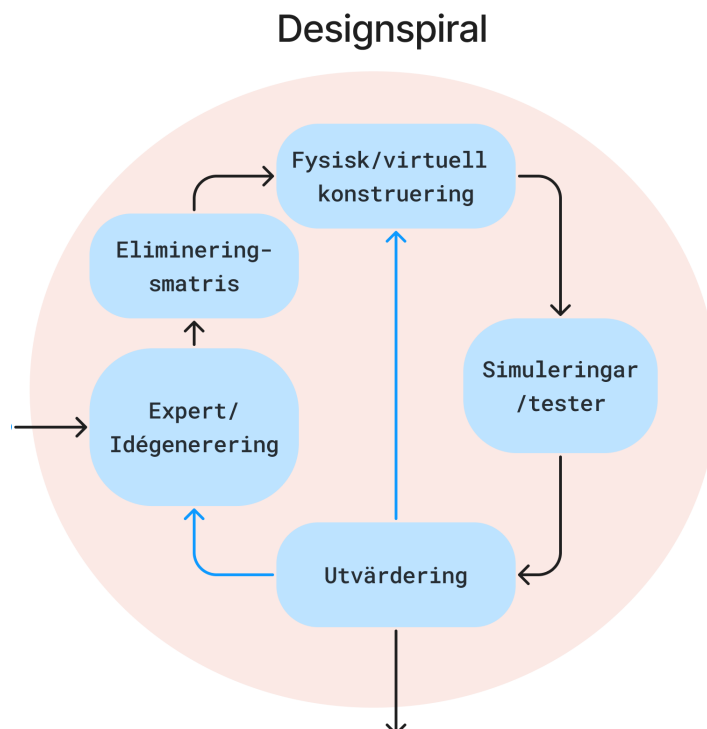
Kravspekifikationen formulerades utifrån funktionslistningen. Utifrån kravspekifikationen initierades aktiviteter och beslut fattades. I och med det iterativa arbetssättet som tillämpades uppdaterades kravspekifikationen under projektets gång. Utifrån ny information som tillkom från tester och expertkonsultationer tillfördes krav och önskemål. Tillverkaren tillförde specifika tillverkningskrav som också ledde till att kravspekifikationen uppdaterades.

### 3.3 Designspiral

Som tidigare visats i Figur 7, var specifikt framtagningen av produkten ett iterativt arbete som rörde sig mellan fem olika aktiviteter, se punktlista nedan.

- Expertkonsultation/idégenerering
- Elimineringssmatris
- Fysisk/virtuell konstruering
- Simuleringar och tester
- Utvärdering

I Figur 9 illustreras modellen för arbetssättet återigen, med skillnad att den endast visar de fem olika aktiviteterna som utgör designspiralen, se den spirala produktutvecklingsprocessen i avsnitt 2.4.2. Aktiviteterna är sammankopplade med olika pilar för att visa hur det iterativa arbetet rörde sig, vilket var en konsekvens av att aktiviteterna behövdes i olika situationer. Följande delkapitel beskriver innebörden av varje aktivitet mer ingående.



Figur 9: Modell över den iterativa designspiralen

### 3.3.1 Expertkonsultation/idégenerering

Syftet med denna aktivitet i designspiralen var att generera förslag på lösningar utifrån ett problem med hjälp av idégenerering och expertkonsultation. Med hjälp av brainstorming och mindmapping skissade samtliga gruppledare upp koncept för de olika utvecklingsområdena; form, framdrift och stabilitet. Koncepten dokumenterades och togs vidare till en elimineringsmatris.

Expertkonsultationen kom att användas på olika sätt i olika stadier av utvecklingsprocessen. I ett tidigt skede kunde konsultationen användas för att få djupare kunskap om problem och jämföra olika idéer med varandra. I ett senare skede kunde konsultationen ge specifik feedback på mer utvecklade koncept, vilket i sin tur både kunde optimera och förbättra olika lösningar. Beroende på vilka hinder som påträffades, eller vilken kunskap som efterfrågades, konsulterades fyra olika personer när expertis behövdes.

**Stefan Grönqvist**, grundare och VD för Aros Polymerteknik AB. Kom in i projektet genom uppdragsgivaren Erik Solbu. Har tillhandahållit konsultation inom polymerteknik och limning. Har sedan tidigare även bakgrund inom vattensport och bygger även mycket material för vattentransport.

**Magnus Lindstedt**, jobbar med utvecklingsarbete kring SUP och vattensporter genom Kona Sports Team. Har lång erfarenhet kring SUP. Kunde bidra med kunskap kring form och framdrift.

**Niklas Andersson**, professor i kompressibel ström och aeroakustik på Chalmers tekniska högskola. Kunde bidra med kunskap inom strömningsmekanik och vägledning i hur simuleringar kunde användas för projektet.

**Jesper Yngvesson**, COO på Vaxholms Komposit AB. Besitter kunskap i tillverkning av både större båtar men även prototyper till mindre projekt. Kunde genom konsultation användas för att begränsa och avgöra vad som fungerar bäst vid tillverkning inom de avgränsningar projektet har.

### 3.3.2 Elimineringsmatris

Efter att flera typer av idéer hade genererats gjordes en eliminering med hjälp av en elimineringsmatris för att välja bort de koncept som inte hade förutsättningar att möta kraven. Vardera koncept värderades utifrån valda kriterium där "+" innebär att konceptet hade potential och "-" att den inte hade det. I de fall där mer information krävs så fylldes matrisen i med "?". Denna typ av matris användes för att motivera, förenkla och strukturera upp processen av att ta bort koncept för att komma närmare det slutgiltiga konceptet. I projektet gjordes valet att dela upp matrisen i flera delar då nödvändiga kriterier varierade för de olika områdena. De olika områdena var form, framdrift och stabilitet. De valda kriterierna för elimineringsmatrisen baserades på relevanta delar av funktionslistningen och kravspecifikationen.

### 3.3.3 Fysisk och virtuell konstruering

Som tidigare nämnt gjordes en MFP för att identifiera problem inför en funktionslistning. En liknande mentalitet etablerades i designspiralen. Alla koncept som kom ut från elimineringsmatrisen byggdes och testades i olika utsträckning. Många prototyper testades tidigt för att skapa grundläggande förståelse om vad som behövde kravsättas, samtidigt fungerade testerna som en del av idégenereringen och utvecklingsprocessen.

Tillsammans med olika test och konstruktion av prototyp användes Arkimedes princip samt Newtons andra lag för att bestämma vilka mått som behövdes för att prototypen skulle kunna bära upp en användare på vattnet. När delar av prototypen inte kunde tillverkas på egen hand med enkla verktyg så utnyttjades olika verkstäder. För delar tillverkade i plåt användes Prototyplaboratoriet på Chalmers med tillgång till material och bearbetningsverktyg. Komponenter av trä tillverkades i en träverkstad på Chalmers.

Datorstödd modellering (CAD) användes i flera syften. Tredimensionella modeller gjorda i CAD-mjukvara användes ofta som ett sätt att kommunicera lösningar och detaljer både med tillverkningsföretag men även inom gruppen. Modellerna användes också för att ta fram ritningar av delar som senare tillverkades. Ännu en tillämpning av CAD var genom att ta fram enkla modeller som sedan användes för att göra virtuella tester, så kallade datorsimuleringar.

### **3.3.4 Simuleringar och tester**

För att få en förståelse kring hur vattnet under skidorna flödar och hur skidorna påverkas av detta, användes strömningssimuleringsprogrammet Star-CCM+. Enkla CAD-modeller simulerades i tre dimensioner där fokus inriktades på krafter, tryck, placering, form och storlek på en framdrivningsmekanism. Från simuleringarna kunde användbar data erhållas och verifieras med fysiska tester.

Utöver simuleringar skedde flertal test genom prototypbygge. Material som användes var lättillgängliga och prisvärda. Med tillgång till både Chalmers bassäng och flertal verkstäder kunde tester utföras på Chalmersområdet. Både mindre och fullskaliga prototyper användes för att testa olika funktioner och lösningar. Vid varje test fördes dessutom ett testprotokoll som beskrev vad som testades, vad resultatet blev och vilka slutsatser som kunde dras. Detta användes sedan för utvärdering.

### **3.3.5 Utvärdering**

Efter varje test gjordes en utvärdering som bedömde hur väl varje prototyp och test hade fungerat, samt uppnått resultat. Om testet bedömdes vara ogiltigt på grund av att en prototyp till exempel gått sönder eller inte gav trovärdiga resultat, blev utvärderingen att återupprepa bygget. Andra konsekvenser från tester kunde vara identifiering av ett nytt problem, varpå en idégenerering eller expertkonsultation återigen fick tillsättas. När ett test gav ett trovärdigt resultat, kunde kunskapen tas med inför konceptvalet i nästa steg.

## **3.4 Konceptval och designförbättringar**

Den utvärderade kunskapen från designspiralen skapade förutsättningarna för konceptvalet. Genom det skedde en slutgiltig eliminering så att de mest fördelaktiga koncepten kunde lyftas. Sedan kunde det valda konceptet optimeras ytterligare genom designförbättringar.

### **3.4.1 Slutgiltig eliminering**

Koncepten som återstod från elimineringsmatrisen testades och utvärderades successivt enligt designspiralsmetodiken. De koncept som presterade sämre i testen kunde då elimineras. Vissa koncept kunde elimineras genom expertkonsultation, samtidigt som andra koncept kunde framhävas baserat på experternas kunskap. Genom att jämföra olika koncept och eliminera baserat på både testresultat och expertkonsultation så återstod till sist ett koncept.

### **3.4.2 Designförbättringar**

Även här har spirala produktutvecklingsprocessen använts men med utgångspunkt i valt koncept. Här låg fokus på detaljnivå och hur det valda konceptet kunde optimeras ytterligare. Varje del av det valda konceptet undersöktes men även dess helhet. När det optimala konceptet, med tidsbegränsningen i beaktande, uppnåddes så tillverkades den slutgiltiga prototypen. Vissa delar tillverkades externt med hjälp av Vaxholms Komposit AB och Aros Polymerteknik AB. En extern tillverkning användes för att det gav möjligheten att utnyttja mer komplexa material med högre prestanda och för att ta slutprototypen närmare en färdig produkt. Produktutvecklingsarbetet avslutades med ett slutttest samt utvärdering av prototypen utifrån delar av kravspecifikationen.

## 4 Genomförande

I detta kapitel presenteras de beslut som togs under genomförandets gång och hur metoden successivt ledde till ett konceptval. Kapitlet består av tre avsnitt; användaren och kravsättning, utvecklingen från idégenerering till lösning och tillverkning.

### 4.1 Användaren och kravsättning

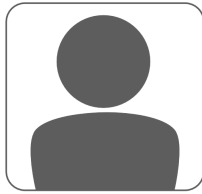
Avsnittet beskriver resultatet av identifieringen av användaren, hur en MFP konstruerades samt den resulterande funktionslistningen och kravspecifikationen.

#### 4.1.1 Identifierad användare

I Tabell 1 redovisas kännetecken hos användaren som anses relevanta för användningen tillsammans med en beskrivning. Tabellen lade grunden för en persona, se Figur 10. Även om personen inte aktivt utnyttjades i senare skeden av projektet, bidrog den till att säkerställa en enhetlig förståelse av användaren, vilket beaktades kontinuerligt under processen.

Tabell 1: Användarens kännetecken

| Kännetecken              | Beskrivning   |
|--------------------------|---|
| Intention                | Användarens syfte med produkten är i första hand nöje och motion  |
| Fysisk förmåga           | Användaren måste ha förmågan att stå upp och hålla balansen med den tänkta produkten. Det krävs liknande fysisk förmåga som vid vanlig längdskidåkning. |
| Intresse för vattensport | Den tänkta användaren är förmodligen intresserad av liknande vattensporter såsom SUP och Kajak  |
| Intresse för skidåkning  | Den tänkta användaren är förmodligen intresserad av skidåkning och vill kunna utföra detta på sommaren.   |



*Namn:* Erik

*Ålder:* 51 år

*Intressen:* Längdskidåkning

Eriks största intresse är längdskidåkning, något som han lägger mycket tid på under vinterhalvåret. Somrarna spenderar han allra helst vid och på vattnet.

För ett par år sedan köpte Erik en SUP som han uppskattar eftersom den ger honom möjligheten att motionera på vattnet. Helst hade han dock åkt skidor året runt. Tidigare åkte han mycket rullskidor men med åren tycker han att det inte längre känns lika säkert.

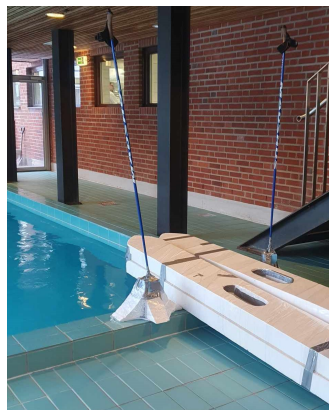
För Erik hade det bästa varit om han kunde få åka skidor på vattnet. Då skulle han få motion, uppleva skidåkningskänslan året om och samtidigt få vistas på vattnet.

Figur 10: Bild av persona

#### 4.1.2 Minsta funktionsdugliga prototyp

Det huvudsakliga materialet som användes för att tillverka MFP var expanderad polystyren (EPS). Tack vare den låga densiteten kunde prototyper ha en god flytförmåga i förhållande till storleken som behövdes. Samtidigt var materialet både lättillgängligt och prisvärt. EPS kan bearbetas snabbt och med enkla verktyg såsom kniv och värmetråd. Övriga material som användes för MFP var träskivor för att förbättra styvheten och tejp för att hålla ihop delarna.

På grund av både beräkningar och materialtillgång blev skidornas längd 2,4 m och bredd 0,3 m. För att förhindra att skidorna skulle brytas förstärktes dem med varsin träskiva i mitten. Fronten avrundades och gavs en spetsig stäv, med anledningen att efterlikna tidigare vattenfarkoster såsom SUP och kajak. För att komma lägre i förhållande till vattenytan och på så sätt erhålla mer stabilitet gjordes även hål för fötterna. Byggandet avslutades med att sätta ihop delarna med silvertejp, samt tillsätta ett par provisoriska stavar. Stavarna tillsattes eftersom skidkänslan, manövreringsförmågan och stabiliteten förväntades kunna förbättras avsevärt med hjälp av dem. Se Figur 11 för den färdiga prototypen.



Figur 11: Minsta funktionsdugliga prototyp med stavar inför test 1

Under testet prövades bland annat manövreringsförmåga, skidkänsla och stabilitet, se Figur 12. Det noterades hur stabiliteten i sidled var otillräcklig, vilket ledde till en stor påfrestning på insida lår, i jämförelse med längdskidor på snö. Stavarna kom att bli viktiga för både manövreringen och skidkänslan. Som tidigare nämnt i avgränsningar används stavar och andra hjälpmedel endast för att stötta test av prototypen. Stavarna från pilottestet ansågs vara så pass hjälpsamma att de fortsatte att användas för senare tester, men de utvecklades inte vidare. Efter testet kunde funktionslistningen skapas. För exakta mått på prototypen, resultat och närmare beskrivning av vad som testades, se testprotokoll i Bilaga B.

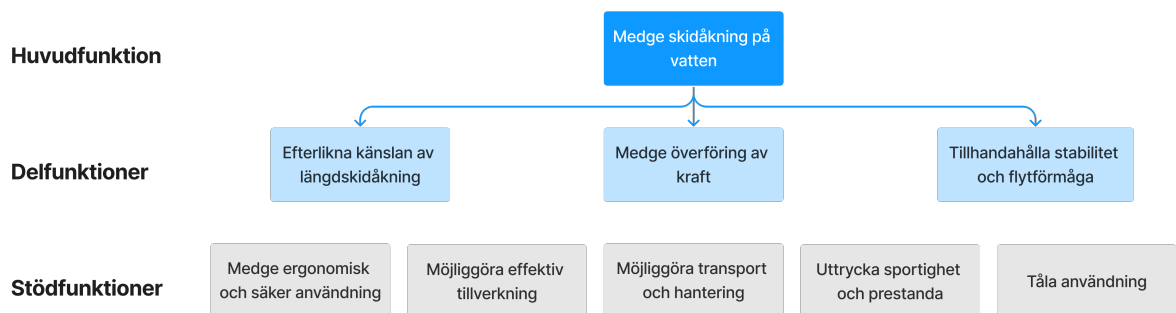


Figur 12: Bild från test 1

#### 4.1.3 Funktionslistning och kravspecifikation

Den tänkta produktens huvudfunktion definierades tidigt i projektet utifrån mål och syfte som ”Medge skidåkning på vatten”. Efter utvärdering av MFP kunde delfunktioner listas. Funktioner tillkom därefter under projektets gång. En övergripande bild av funktionerna presenteras i ett funktionsträd i Figur 13. För fullständig funktionslista se Bilaga C.

Delfunktionen ”Medge överföring av kraft” som också inkluderar styrning och kraftomvandling, är nödvändig för att användaren ska ha möjligheten att manipulera produktens läge i vattnet. Delfunktionen ”Tillhandahålla stabilitet och flytförmåga” säkerställer att produkten kan användas. Delfunktionen ”Efterlikna känslan av längdskidåkning” uppfyller syftet med produkten.



Figur 13: Funktionsträd

Utifrån funktionslistningen specificerades krav och önskemål i en kravspecifikation. Där listades praktiska krav, såsom maximal längd för att uppfylla funktionen ”medge hanterbarhet” eller maximalt djup för att ”medge användning i den tänkta miljön”. En annan del i kravspecifikationen är prestandakrav som berör till exempel hastighet, styrning och stabilitet. För fullständig kravspecifikation med målvärden och verifieringsmetod, se Bilaga D. En sammanfattad kravlista baserad på kravspecifikationen finns i Figur 14.

| Kriterier             | Målvärde                 | Kriterier               | Målvärde         |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
| Flytförmåga i vatten  | ≤ 85 kg                  | Enkel förflyttning      | < 6kg per skida  |
| Framdrift hastighet   | 7 km/h                   | Maximal fotbredd        | 0,4m C-C         |
| Styrning              | 180 grader/ 30s          | Frånkoppling efter fall | < 10s            |
| Livslängd             | 10 år                    | Fortsättning vid fall   | < 5 min          |
| Längd                 | ≤ 3m                     | Styvhet                 | < 5 cm utböjning |
| Bredd                 | ≤ 0,6m per skida         | Tillverkningskostnad    | < 3000kr         |
| Höjd                  | ≤ 0,25 m                 | Materialkostnader       | < 1500kr         |
| Tillåten nedsjunkning | < skrovhöjd + klafflängd |                         |                  |

Figur 14: Kravlista

#### 4.1.4 Idégenerering

Från idégenereringen framkom koncept med syfte att medge produktens funktioner. I Figur 15 visas en översikt av skisser på några av de koncept som uppkom under momentet. En del av koncepten fokuserades på framdriften av skidorna, medan en annan del fokuserade på hur produkten ska utformas för att öka stabilitet. Komplexiteten hos lösningarna varierade. Till exempel var vissa framdriftskoncept statiska, där vattnet fångas upp av en form och därmed skapar ett motstånd när skidan förs bakåt. Andra koncept krävde mer komplexa system med rörliga delar. Koncepten listades och togs in i elimineringsmatrisen. För samtliga koncept, se konceptkatalogen i Bilaga E.



Första versionen av stavarna bestod av ett par längdstavar, där spetsen utgjordes av ett EPS-block för att skapa flytförmåga. Andra versionen byggdes av samma par längdstavar men med en kona och XPS-skum som klistrades fast på toppen, se Figur 16b. Syftet med konen är att det ska efterlikna en liten padel. XPS-skummet lades till för att staven skall flyta både under användning och ifall användaren skulle tappa staven.



(a) Stav med EPS-block



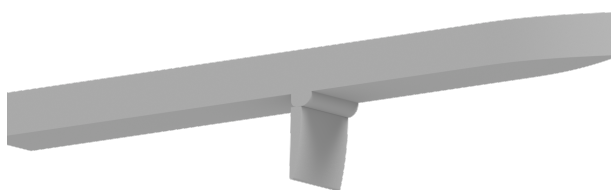
(b) Stav med kona

Figur 16: De olika stavarna som användes under projektet

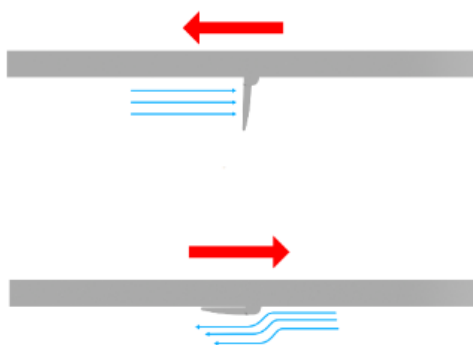
#### 4.2.2 Framdrift

Tre koncept för framdrift kvarstod efter elimineringsmatrisen. Dessa lösningar benämns som klaffar, skopor och fenor. Nedan presenteras de olika koncepten, samt en förklaring av hur de testades och utvecklades.

Konceptet klaffar, som blev en del av det slutgiltiga konceptet, är en mekanism som bygger på att en klaff fälls ut och skapar ett motstånd då skidan förs bakåt, se Figur 17a. När skidan förs framåt fälls klaffen upp och motståndet försvinner, se Figur 17b.



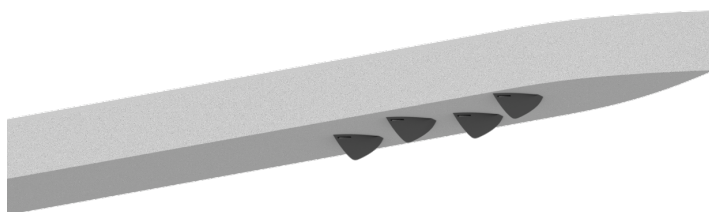
(a) Klaff på undersidan av skidan



(b) Klaffmekanismen då skidan förs framåt och bakåt

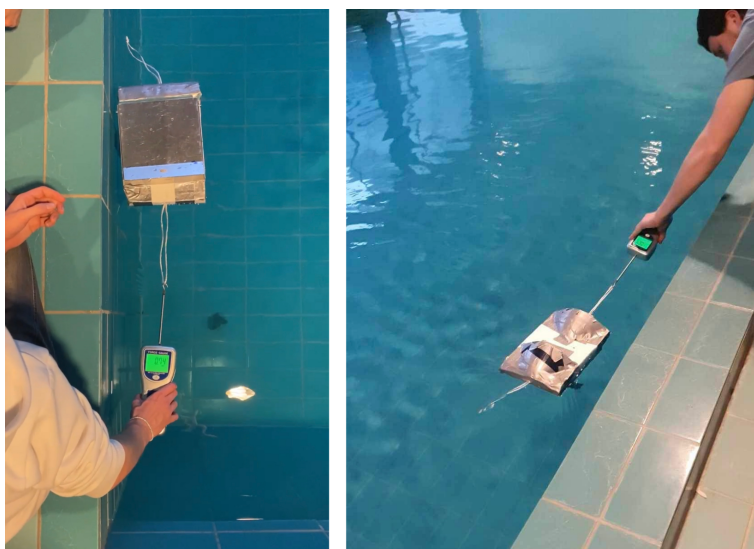
Figur 17: Klaffar

Vidare testades konceptet skopor. Skoporna utnyttjar en mekanism som bygger på att skidans undersidor formas som skopor. När skidorna förs bakåt fylls de med vatten och ett motstånd skapas, när skidan förs framåt får vattnet flöda längs dess strömlinjeformade utsida, se Figur 18.



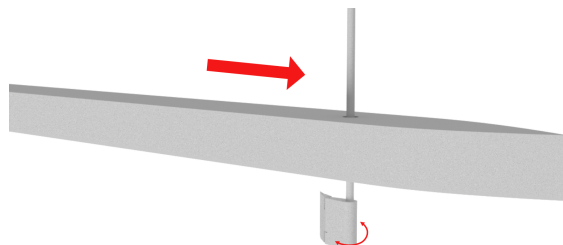
Figur 18: Bild av skoporna

Ett jämförande test i mindre skala mellan klaffar och skopor genomfördes. Skopor modellerades i CAD och skrevs ut med 3D skrivare, klaffar konstruerades av böckad plåt. Inför testet monterades de olika prototyperna på en EPS-skiva som drogs genom vattnet åt båda håll med en dynamometer. Se Figur 19. Upprepade mätningar visade att konceptet klaffar både skapade ett större motstånd bakåt och ett mindre motstånd framåt än skopor. Se testprotokoll i Bilaga B för ytterligare detaljer kring testet. Utifrån testresultatet eliminerades skopor och klaffar behölls.



Figur 19: Bild av jämförande test mellan skopor och klaffar

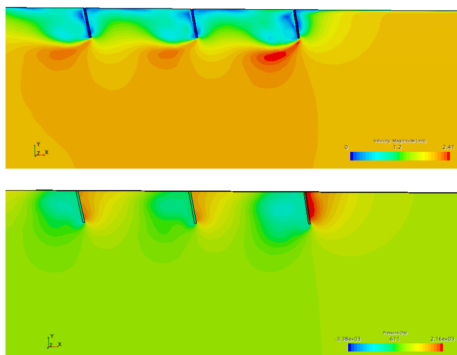
Det tredje konceptet som kvarstod efter elimineringsmatrisen var fenor. Mekanismen som eftersträvades inspirerades av mekanismen för stjärtfenan på en fisk. Konzeptets design gick ut på att montera stag genom skidorna som kopplas samman ovanför vattnet. Momentet som skapas då skidorna läge manipuleras i förhållande till varandra får fenorna att röra på sig vilket genererar framdrift, se Figur 20. Konzeptet utvecklades inte vidare, trots den höga potentialen, då konceptet ansågs vara för komplext och dyrt för att produceras. Därav eliminerades även fenor.



Figur 20: Bild av fenor

Konceptvalet för framdrift blev slutligen klaffar. Vidare i fasen ”designförbättringar” bestämdes antalet klaffar, placering, vinkel mot undersidan och storleken på klaffarna genom tester och simuleringar.

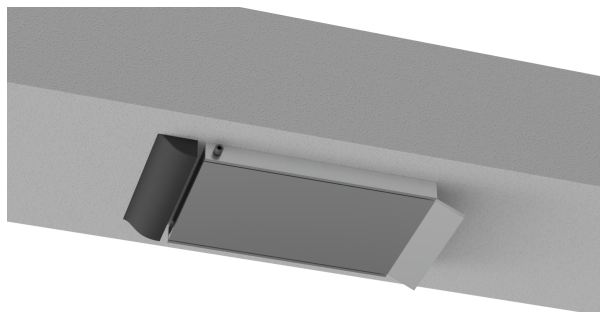
Genom att simulera ett flöde mot en klaff kunde trycket identifieras som störst vid  $90^\circ$ , se den nedre bilden i Figur 21. En nackdel med en vinkel på  $90^\circ$  är att ett större motstånd även motverkar rörelsen framåt, då klaffen har en längre sträcka att rotera vid skiftningen från att skidan förs bakåt till att den förs framåt. Trots nackdelen visade simuleringarna och testerna att motståndet bakåt var förhållandevis så pass mycket högre än motståndet framåt och därmed att  $90^\circ$  var den optimala vinkeln. Inför test gav även simuleringarna vägledning i storlek och placering av klaffarna. Simuleringarna visade att större klaffar gav mer motstånd bakåt, men att det också krävde större kraft från användaren för att föra skidorna framåt eftersom klaffarna då fälls upp. Placeringen av klaffarna kunde inte bestämmas exakt. Resultatet av simuleringarna visade däremot att vid kontinuerligt flöde ges mest motstånd då klaffarna är så långt ifrån varandra som möjligt.



Figur 21: Exempel på simuleringsresultat från Star-CCM+ där den övre bilden visar hastighet och nedre visar tryck

Klaffar som framdrift presterade bäst i testerna men kunde förbättras. När användaren och skidorna stod stilla eller färdades i väldigt låg hastighet föll klaffarna ner några grader, vilket resulterade i en trögare start samt något mer motstånd vid långsam åkning. Ett försök gjordes på att utveckla klaffarna med fjäder eller gum-miband som syftade till att hålla ihop klaffarna med en liten kraft. Beräkningar visade att fjäderkraften måste vara liten eftersom en för hög kraft skulle hindra klaffen från att öppnas i frånskjutet. Ett test utfördes, resultatet visade att det inte blev någon märkbar skillnad med den fjäder som valdes. Lösningen skulle innebära fler rörliga delar, vilket inte bidrar till uppfyllnaden av kravet om minimalt underhåll och därav eliminerades den.

Då klaffarna var parallella med skidorna bildades ett hål i den främre delen mellan skida och klaff där vatten flödade fritt, vilket gjorde att klaffarna inte fälldes ner så effektivt som möjligt. För att motverka detta och göra undersidan av skidan mer strömlinjeformad så implementerades ramper, se Figur 22. De är utformade på så sätt att de är högre närmare klaffen och sluttar sedan nedåt mot skidan. Deras bredd är den samma som för klaffarna för att inte släppa igenom vatten men samtidigt inte utgöra ett onödigt högt motstånd, jämfört med de plana delarna på skidans undersida.



Figur 22: Klaff med ramp framför

#### 4.2.3 Skrovform, längd och styvhet

Från MFP framkom det att styvheten behövde förbättras då skrovets utböjning under foten ledde till försämrat glid samt sprickbildning i skrovmaterialiet. Skidornas stabilitet i sidled var också bristande och användaren fick snabbt ont i insida lår av att behöva hålla ihop skidorna. Skrovets tvärsnittsform antogs ha störst påverkan på faktorerna glid, styvhet och stabilitet. Detta prioriterades därför tidigt i projektet.

Genom idégenerering togs ett antal olika tvärsnittsformer fram för skrovet, dels för att försöka förbättra stabiliteten och dels för att underlätta glidet framåt. Några av dessa former eliminerades redan i elimineringsmatrisen, se Bilaga F, medan fem lösningar gick vidare till fysiska tester i full skala. Former på tvärsnitt som testades och jämfördes listas nedan och visas i Figur 23.

- Avrundat skrov (a)
- Katamaranformat skrov (b)
- Platt skrov (c)
- Platt skrov med fasade ytterkanter på undersidan (d)
- Platt skrov med fasade innerkanter på undersidan (e)



Figur 23: Bild på tvärsnittsformer på den högra skidan sett bakifrån (varianter a, b, c, d respektive e)

Avrundat skrov eliminerades efter testen på grund av dålig stabilitet vilket ledde till mer belastning på användaren. Katamaranformat skrov eliminerades på grund av att den sjönk längre ned i vattnet under användningen och därmed blev motståndet större på grund av större våtyta. Detta är en oönskad egenskap och hade negativ inverkan på glidet. Det platta skrovet med fasad innerkant eliminerades också då den fick försämrade bärförmåga på insidan, vilket ledde till att skidorna gled isär och ökade påfrestningarna på insida lår.

Två former på tvärsnittet presterade väl i testerna, formen med den platta undersidan och formen med fasad ytterkant. Genom en rekommendation från experten Magnus Lindstedt (personlig kommunikation, 4 mars, 2024) eliminerades även formen med fasade ytterkanter. Fasade kanter medför mindre volym och sämre flytförmåga. Enligt Lindstedt innebär det mer våtyta som leder till mer motstånd. Trubbiga kanter försämrar dessutom styrförmågan på skidorna. Därav fick den slutgiltiga formen platt botten.

Parallellt med utvecklingen av tvärsnittsformen genererades även idéer på fronten, det vill säga framsidan på skidorna, i syfte att uppnå bättre glidförmåga framåt. Variationer på frontens form inkluderade rak eller avrundad stäv (alltså om övergången mellan fronten och undersidan är rätvinklig eller avrundad), samt om fronten är rak eller spetsig, sett uppifrån. Fyra av fem idéer för fronten gick vidare från elimineringsmatrisen, se Bilaga F. Kombinationer som testades listas nedan och illustreras i Figur 24.

- Platt front med rak stäv (a)
- Platt front med avrundad stäv (b)
- Spetsig front med rak stäv (c)
- Spetsig front med avrundad stäv (d)

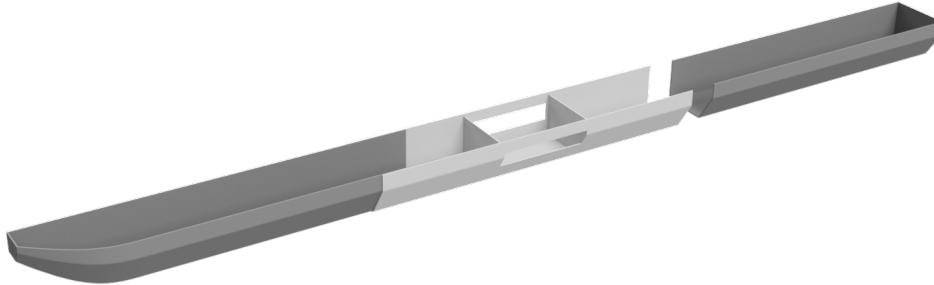


Figur 24: Bild på olika former på fören (varianter a, b, c, respektive d)

Under testerna framkom det att den viktigaste egenskapen hos fronten för att få bra glid och lite motstånd var att klyva vattnet istället för att försöka plana på vattenytan. Vid försök till bättre planingsegenskaper (avrundad stäv) blev motståndet högre vid framdrift då vattnet plogades på ett oönskat sätt. Som resultat av detta eliminerades alla utom spetsig front med rak stäv, se variant c i Figur 24. Testprotokoll finns i Bilaga B. I testet med MFP var baksidan platt. Utformningen ansågs bidra till turbulens, därför genomfördes test med en avrundad baksida. Den avrundade baksidan var dock kontraproduktiv eftersom den innebar försämrat ingrepp på vattnet när skidan fördes bakåt. I kombination med att ingen tydlig prestandaökning noterades när skidan fördes framåt, valdes helt platt baksida för prototypen.

Som nämnt i avsnitt 4.1.2, var längden på MFP 2,4 m. Av flera anledningar behölls längden i de efterföljande testen. Den första, uppenbara anledningen var för att EPS-skivan hade den längden, så det var praktiskt att behålla den. Den andra anledningen var att längden inte ansågs kunna minskas för att ha tillräckligt med volym för att kunna bära upp användaren. Detta då varken bredden eller tjockleken ansågs kunna ändras av ergonomi-, respektive stabilitetsskäl. Den tredje anledningen var att skidorna ansågs bli för långa för att kunna transporteras på ett smidigt sätt. Skidorna ansågs också bli för svåra att styra om de blev för långa.

Efter ytterligare kommunikation med Magnus Lindstedt (personlig kommunikation, 4 mars, 2024) tillkom information om att en längre vattenlinje skulle bidra till förbättrat glid, så därför ansågs det viktigt att testa längre skidor. På grund av tidsbrist kunde inte tillverkning och testning av olika längder på skidor utföras. Därav designades en slutprototyp som bestod av flera delar som kunde skjutas in i varandra som ett teleskop, se Figur 25. Detta skulle erbjuda möjligheten att utvärdera längden i efterhand. Efter dialog med tillverkare framkom det dock att en sådan prototyp skulle ta mycket längre tid och kräva mer resurser att tillverka, något som inte skulle vara möjligt inom projektets avgränsningar. Därför togs beslutet att utvärdera endast en längre längd innan tillverkningen av slutprototypen påbörjades.



Figur 25: CAD-modell av skida med justerbar längd

Skidornas längd utökades till det maximala tillåtna värdet som definierats i kravspecifikationen, begränsat av hanterings- och transportskäl. En 3 m lång skida tillverkades och jämfördes sida vid sida med den 2,4 m långa skidan. Den längre skidan presterade bättre i testet. Den hade bättre glidförmåga eftersom den sjönk ner mindre under vattenytan tack vare sin större volym, se testprotokoll i Bilaga B. Förbättringen av prestandan i vattnet ledde till att den sämre transporterbarheten accepterades. Se de 3 m långa skidorna i Figur 26.



Figur 26: Prototyp av 3 meter lång skida

Både tvärsnittsformen och längden på skidorna påverkade skidornas styvhet. Styvheten kunde förbättras genom en längre och tjockare träskiva, och senare även med en regel längs skidornas utsidor. Detta förbättrade styvheten avsevärt som i sin tur påverkade glidförmågan positivt. Väldigt lite fokus lades på den specifika utvecklingen av styvheten då detta ansågs vara ett icke-problem eftersom den slutgiltiga prototypen konstruerades av kolfiberförstärkt polymer (CFRP).

#### 4.2.4 Stabilitet

Bristen på stabilitet var något som noterades tidigt i processen. Under det inledande testet med MFP observerades en särskild påverkan på ljumskan och fotleden på grund av behovet av att kompensera för att skidorna gled isär.

Tidigt i processen testades fotens placering i höjddled och dess inverkan på stabiliteten. Det observerades att stabiliteten försämrades om användaren stod på skidans övre yta jämfört med att stå på träskivan som var placerad i mitten mellan de två EPS-blocken. Testet bekräftade teorin i avsnitt 2.1.4 om att ett lägre masscentrum ger ett stabilare system.

Fotplaceringens läge i sidled testades. Testerna visade att den optimala stabiliteten, definierad i kapitel 2.1.4, uppnås då användaren och skidornas bärighetscentrum befinner sig mitt under vardera skida, det vill säga om fötterna placeras i mitten av vardera skida, se Figur 27a. Placering närmare insidan av skidorna skiftade bärighetscentrumet och gav sämre stabilitet men hade ergonomiska fördelar då användaren inte tvingades stå lika bredbent. Den försämrade stabiliteten ledde dock till att användaren behövde kompensera med hjälp av musklerna i fotlederna, se Figur 27b.



(a) Skidornas läge i vattnet med fotplacering i mitten av skidorna

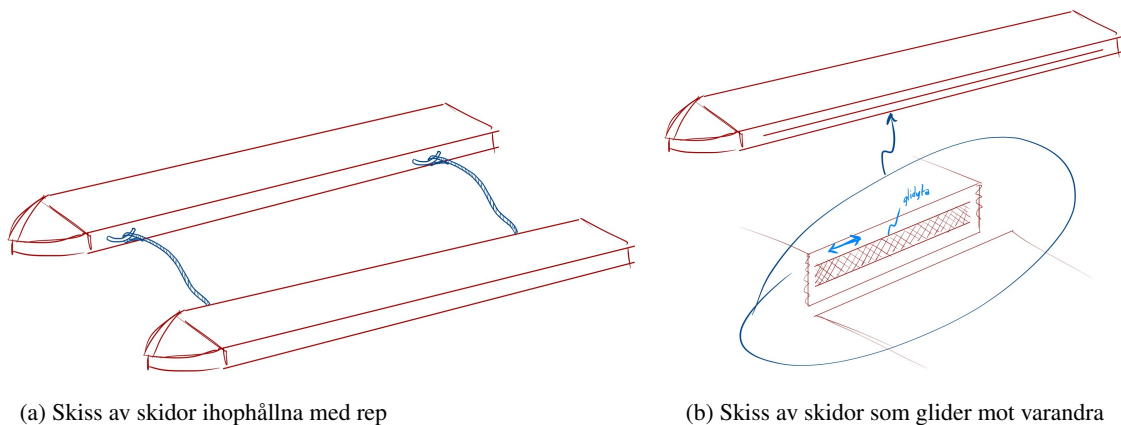
(b) Skidornas läge i vattnet med fotplacering på insidan av skidorna

Figur 27: Skidornas läge i vatten med olika fotplaceringar

Idéer genererades för att förbättra stabiliteten utan att försämra ergonomin, och från elimineringsmatrisen, se Bilaga F, klarade sig tre av sju lösningar. Dessa är listade nedan.

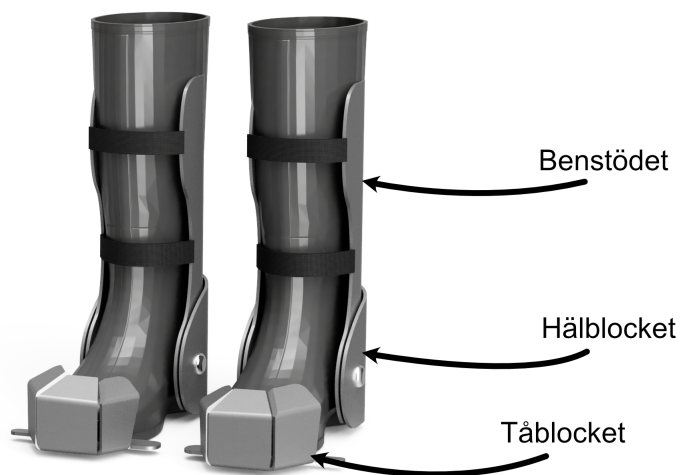
- Iphophållning av skidor med rep eller liknande, se Figur 28a
- Skidor som glider mot varandra, se Figur 28b
- Pjäxor, se Figur 29

Ett test gjordes där skidorna kopplades ihop med två rep, se Figur 28a. Tanken med lösningen är att användaren ska kunna vila emellanåt, utan att anstränga musklerna i ljumskan. Repen resulterade däremot i att rörelsen blev begränsad och därmed försämrades både framdrift och balans. Användaren fick dock möjlighet för att vila enligt lösningens mål, men trots det blev det inte en ergonomisk lösning på grund av den bredbenta vilopositionen som krävdes, så idén eliminerades. Idén med att kunna glida skidorna mot varandra testades genom att applicera en plastfilm med låg friktion på insidan av skidorna, se Figur 28b. Det upptäcktes att användningen av skidorna blev lättare och konceptet gick vidare.



Figur 28: Skisser av stabilitetsspecifika koncept

Påverkan på lumsken och fotleden kvarstod dock, så designförbättringar behövde göras. Problemet med stabiliteten var att den centrala tyngdpunkten, som befinner sig mellan skidorna, bidrog till att skidorna roteras inåt. Detta resulterade i att mycket av momentet som krävdes för att hålla skidorna vågräta hamnade runt anklarna. Detta löstes genom ytterligare ett varv i designspiralen, där resultatet blev ett par enkla pjäxor vars storlek kan anpassas. Syftet med pjäxorna är att kraften som krävs för att hålla skidorna vågrätt ska komma från benen och inte från anklarna.



Figur 29: Bild på rendering av pjäxorna

Pjäxorna tillverkades av ett par stövlar och plåt och skruvades fast i skidornas träskivor. De utvärderades både vid användning men även vid på- och avstigning. Vid användning gav pjäxorna god stabilitet och gjorde rörelsen mer komfortabel. Vid det första testet skruvades inte benstödet fast i hälblocket, vilket resulterade i att benstödet kunde fastna i hälblocket om foten lyftes för högt, se Figur 29 för bild på pjäxornas komponenter. Detta medförde att balansen rubbades samt att man behövde stanna för att åtgärda detta problem. Storleken på pjäxorna kunde inte heller justeras. Därför behövde pjäxorna förbättras.

Det konstaterades att en skruv inte kunde användas för att fixera benstödet i hälblocket på grund av ergonomiska skäl. Istället implementerades en lösning där benstödet sitter fast i hälblocket med hjälp av vajrar. Dessa vajrar erbjuder rörelsefrihet uppåt och framåt men tillåter inte benstödet att åka upp över hälblocket där det riskerar att fastna. Pjäxorna modifierades även så att storleken kunde anpassas genom att klippa av den främre delen av stövlarna som tillsammans med tåblocken kunde flyttas framåt och bakåt. De uppdaterade pjäxornas kunde valideras med hjälp av ett nytt test.

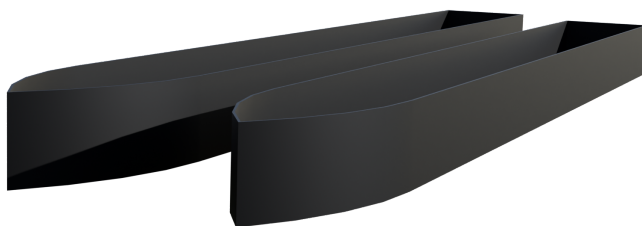
### 4.3 Tillverkning av slutprototyp

Tillverkningen skedde både externt och internt. Skidorna tillverkades externt av Vaxholm Komposit AB och övriga delar tillverkades internt.

#### 4.3.1 Extern tillverkning

För att få en styvare och lättare prototyp med mer professionellt utseende krävs att prototypen tillverkas i ett annat material såsom glasfiber, kolfiber, polyeten eller liknande. Till följd av bristande tid och kunskap inom projektet kontaktades företaget Vaxholm Komposit AB för extern produktion.

Skrovet för den sista prototypen tillverkades i kolfiberförstärkt polymer (CFRP). Detta gjordes för att få en styvare men samtidigt lättare prototyp. De delar som tillverkades på egen hand monterades på kolfiberskrovet med hjälp av lim försett av Stefan Grönqvist på Aros Polymerteknik AB.



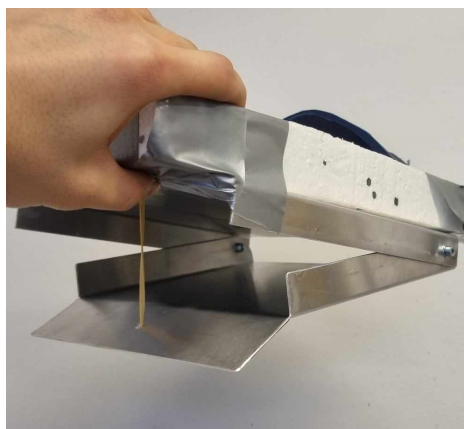
Figur 30: Rendering på skidor i kolfiber från Vaxholm Komposit AB

### 4.3.2 Intern tillverkning

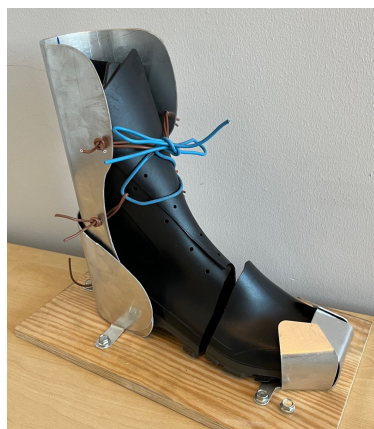
Till den slutliga prototypen tillverkades klaffar, pjäxor med tillhörande fotblock och stavar på egen hand på Chalmers.

Klaffarna skissades från idégenereringen och gjordes till CAD-ritningar. De består av tre komponenter; själva klaffen, basplattan som klaffen fästs i och som i sin tur limmas fast på skrovets undersida, samt en ramp som förbättrar strömlinjeformningen av övergången mellan skrov och klaff och förhindrar att vattnet åker ut när skidan skall få fäste. Ritningarna togs sedan till Chalmers prototyplaboratorie. På plats i prototyplaboratoriet gav handledare tips och råd för att enklare producera klaffarna men ändå behålla funktionaliteten. Klaffarna är producerade av två stycken bockade 1,5 millimeter (mm) tjocka aluminiumplåtar som är ihopsatta med maskinskruv och låsmutter, se Figur 31a. Mellan lagrena av plåt, skruvarna och muttrarna är det brickor som bidrar till att själva klaffen kan rotera lättare. Rampen gjordes inledande i XPS men skrevs sedan ut med 3D skrivare i PLA plast.

Pjäxorna tillverkades av ett par gummistövlar samt 1,5 mm aluminiumplåt som är valsad och bockad, se Figur 31b. Stövlarna är uppklippta längs mitten av foten för att sedan kunna knytas ihop med snöre för lättare på- och avtagning. Tåpartiet på stövlarna är också avklippta så att den kan flyttas fram och bak så att pjäxorna passar olika stora fötter. Två av plåt detaljerna sitter fast i fotblocket med skruvar som i sin tur sitter fast i gängor och går att justera om man vill byta till en annan storlek. Den tredje plåt detaljen är benstödet som är valsad och bockad så att den ska passa till utsidan av stöveln vid hälen. Den har även utsatta hål i sig för att möjliggöra knytning och därmed kunna fästa detaljen i stöveln för att sedan placera pjäxan på fotblocket i de fasta detaljerna.



(a) Bild på klaff



(b) Pjäxa och fotblock

Figur 31: Klaff och pjäxa efter tillverkning

### **4.3.3 Sammansättning av slutprototyp**

För att montera klaffarna, ramperna och pjäxorna på skidorna, limmades de på med ett epoxylim försett av Aros Polymerteknik AB. Innan limmet applicerades slipades de släta ytorna med ett grovt sandpapper samt rengjordes med aceton för att limmet skulle få bättre fäste. Efter att limmet hade applicerats lämnades skidorna för att torka under en natt. Hela limningsprocessen skedde i kompositlaboratoriet på Chalmers med hjälp av Filip Gustafsson.

När alla komponenter satt på sin plats klarlackades skidorna för att få en bättre ytfinhet. Klarlacken gjorde även att skidorna blev mer vattentåliga och fick en slätare yta med mindre friktionsmotstånd mot vattnet och varandra. Eventuellt epoxidamm binds också, vilket minskar påverkan på omgivningen.

## **4.4 Test av slutprototyp**

Det sista testet gjordes med slutprototypen. Testet utformades för att kunna bedöma hur väl skidorna uppfyllde kravspecifikationen och utfördes vid Delsjöbadet i Göteborg. I och med att sjön var större än Chalmers egna bassäng, kunde en mer korrekt bedömning göras. Hastigheten testades exempelvis genom att åka skidorna en sträcka på 20 meter med en hastighetsmätare. Sedan testades även manövreringsförmågan genom att ta tiden för en 180 ° vändning.

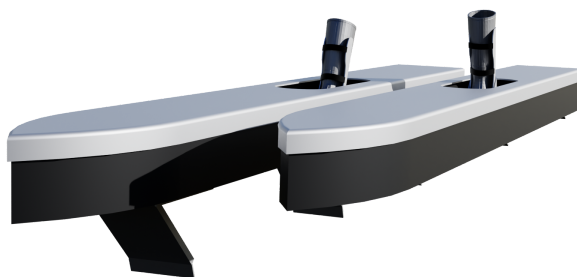
Det fanns flera yttre faktorer såsom vind och vågor, vilket kan ha påverkat testningen. Den sista prototypen hann aldrig att täckas över på dess ovansida, och det i kombination med testmiljön ledde till att vatten kunde skvätta in. Detta gjorde att förmågan att komma upp i maximal hastighet begränsades då användaren behövde undvika att få in vatten i skidorna.

## 5 Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av den slutliga prototypen samt hur väl den uppfyller kraven i kravspecifikationen.

### 5.1 Slutprototypen

I detta avsnitt beskrivs mer i detalj varje resultat från vardera del med mått och geometrier. En rendering på den slutliga prototypen kan ses i Figur 32, och den fysiska prototypen kan ses i Figur 33.



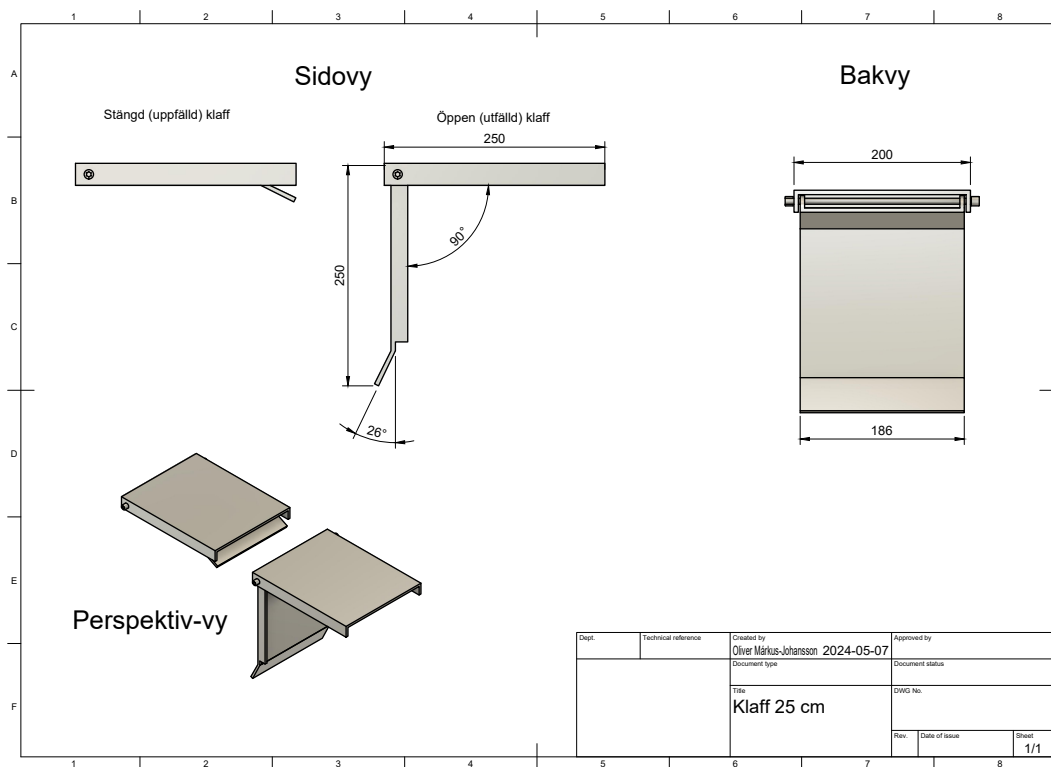
Figur 32: Bild på rendering av den slutliga prototypen



Figur 33: Bild på den slutliga prototypen under användning

### 5.1.1 Framdrift

Klaffarna under skidorna är 25 centimeter (cm) långa, 20 cm breda och 1,5 cm höga. Se Figur 34 för ritning. Bak på klaffen är 4 cm av plåten bockad cirka 25° neråt för att snabbt kunna fällas ner när skidan förs bakåt. Vinkeln som klaffarna fälls ner är 90°. Klaffarna är tillverkade i aluminium.



Figur 34: Ritning av klaff

Antalet klaffar valdes till 3 stycken per skida. Dels på grund av det tillfredsställande resultatet från simuleringar och tester, men även på grund av tidsbrist då fler inte hade hunnit att tillverkas. Placeringen på klaffarna på undersidan är i linje bakom varandra längs mitten. På grund av begränsad tid kunde det inte testas att placera klaffarna på ett annat sätt till exempel längs utsida kant eller alternerande.

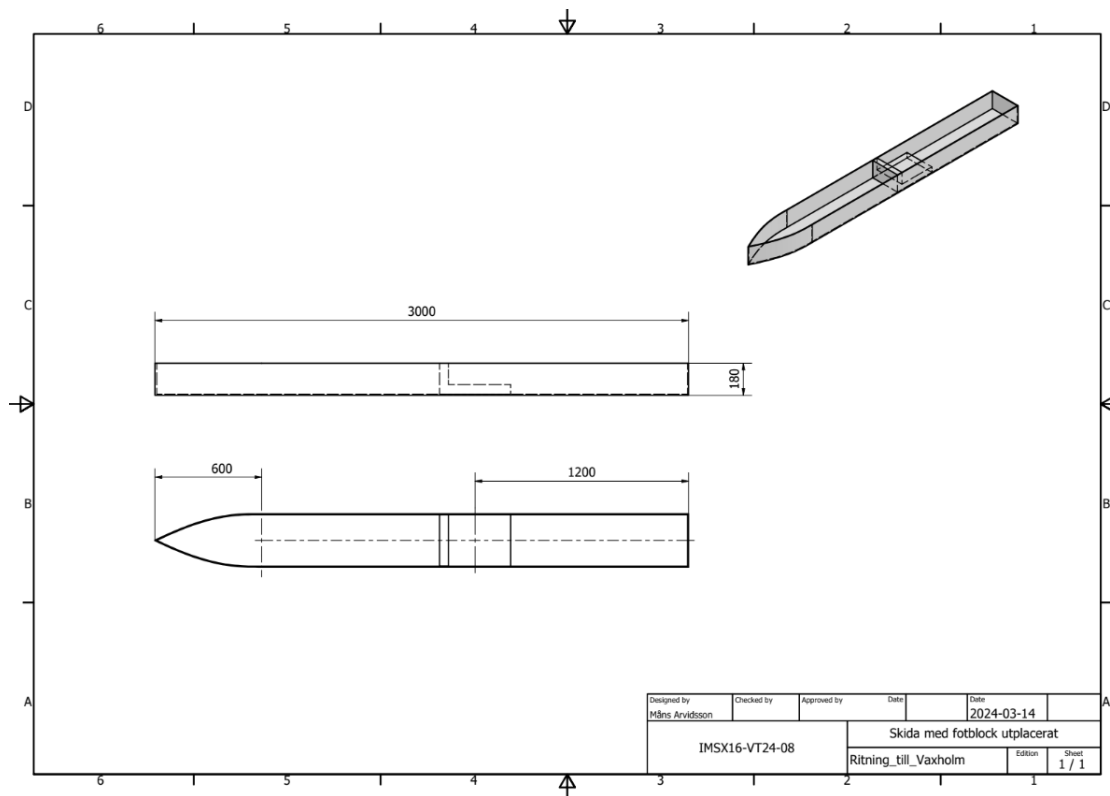
Klaffarnas placering längdmässigt är så långt isär som möjligt för att varje klaff ska ge så högt motstånd som möjligt. Desto längre isär klaffarna är desto mer vatten finns bakom varje klaff som kan ge motstånd under en lite längre sträcka bakåt innan det blir konstant flöde. När flödet blir konstant minskas motståndet från de främre klaffarna. Eftersom klaffarna är 25 cm långa sätts den bakre klaffen 5 cm från den bakre kanten så det blir marginal. Toppen av skidan är 60 cm lång och därför sätts den främre klaffen 60 cm från spetsen av skidan. Detta resulterar i att det blir ett avstånd på 80 cm mellan varje klaff.

### 5.1.2 Form

Slutprototypens form och mått är enligt ritningen i Figur 35 som visas nedan. En skillnad mot ritningen är att övergången mellan spetsen och övriga skrovet blev rakt och inte rundat som på ritningen, på grund av begränsningar i tillverkningen. Formen på skidans undersida är helt platt då detta resulterar i bra framglidningsförmåga och god stabilitet. En platt botten ger också skidorna en simplare design vilket resulterar i att produktionen blir billigare och därmed även möjligt med avseende på projektets avgränsningar.

Formen på skidans främre del är spetsig front med rak stäv eftersom denna lösningen klyver vattnet bäst och ger minst motstånd framåt. Toppen på skidorna är 0,6 meter långa för att de ska vara tillräckligt spetsiga för att klyva vattnet på ett effektivt sätt, men samtidigt inte vara för långa så att flytförmågan framtill inte blir för dålig.

Skidorna är 3 m långa eftersom längre skidor har mindre vågbildningsmotstånd som normalt sett är större än friktionsmotståndet som ökar med vattenlängden. Resultatet av testerna verifierar detta och 3 m ger bättre känsla då motståndet är mindre än för 2,4 m långa skidor. Bredden på skidorna är 0,3 m per skida då detta ger god stabilitet och gör att det inte blir för brett mellan fötterna när man står i mitten av skidorna.



Figur 35: Ritning över skidans form med mått

Formen på baksidan av skidan är platt och rektangulär då detta ger mest motstånd när skidorna åker bakåt.

### 5.1.3 Stabilitet

Den slutliga fotplaceringen är 1,2 m från bakändan av skidan och är placerad i mitten sidledes, se Figur 35. Vid användning av funktionsprototypen står användaren på en träskiva mellan två EPS-lager, medan vid användning av slutprototypen står man längst ned i botten på skidorna. Detta har påverkat stabiliteten positivt tack vare den lägre tyngdpunkten, i enlighet med konceptet masscentrum, beskrivet i avsnitt 2.1.4. Andra stabilitetsfaktorer som används till slutprodukten är att utnyttja den låga friktionen hos CFRP som gör att ytorna mellan skidorna kan glida mot varandra. Detta resulterar i att användaren kan ha fötterna närmare varandra och inte behöva tänka på att hålla isär skidorna.

För ytterligare stabilitet vid användningen av skidorna valdes pjäxor för att lasta av vikten runt anklarna, som kom från vridmomentet i sidled. Pjäxorna gör det bekvämare för användaren att åka eftersom man sitter fast med fötterna och får bättre kontroll. Pjäxorna hjälper även till att minska belastningen på tårna då belastningen på en pjäxa delas ut på hela foten samt upp mot benet.

## 5.2 Uppfyllanden av kravspecifikation

Se Bilaga G för den sammanställda kravspecifikationen. Många av kraven bedömdes vara uppfyllda såsom hastighet, manövreringsförmåga och mått. Däremot fanns även krav och önskemål kring material och miljöpåverkan, som riktar in sig på den färdiga produkten och inte kunde uppfyllas av prototypen.

Måtten på skidorna är beskrivna i ritningen i Figur 35. Kraven om mått och maximal fotbredd är uppfyllda. Maximal fotbredd kan dock variera beroende på användarens teknik vid åkning. Kraven om flytförmåga, höjd och hur mycket de får sjunka ner i vattnet uppfylldes vid det sista testet. De slutliga skidorna av kolfiber är lättare än de funktionella skidorna av EPS och trä, vilket medför att kravet om flytförmåga även är godkänd då tidigare prototyper också klarat kravet. Massan är dock högre än målvärdet och är därmed underkänt detta önskemålet.

Vid det sista testet verifierades det även att kraven för styrning och stabilitet uppfylldes av slutprototypen. Som nämnt i avsnitt 5.1.3 blev en förbättring med slutprototypen att användaren står 10 cm längre ner med fötterna, vilket leder till en lägre tyngdpunkt som i sin tur leder till ökad stabilitet.

Enligt kravspecifikationen är ett målvärde att det ska gå att uppnå en snitthastighet på 7 km/h vid användning. Detta klassificeras inte som krav utan som önskemål. Vid sluttestet uppnåddes 3 km/h som maxhastighet.

Förutom hög ytfinhet är detaljer i CFRP allmänt kända för att ha hög styvhet, vilket verifierades för slutprototypen. Utböjningen bedömdes vara så liten att den ej gick att mäta.

Miljökraven är något som inte har kunnat undersökas helt, dels på grund av projektets syfte och dels på grund av den begränsade tidsramen. Tillverkaren är erfaren inom båtbranschen och den slutliga prototypen tillverkades med material som används för tillverkning av skrov till båtar. Därav kan det antas att den slutliga prototypen har motsvarande miljöpåverkan som båtar har. Detta krav bedöms även vara mer relevant för den färdiga produkten.

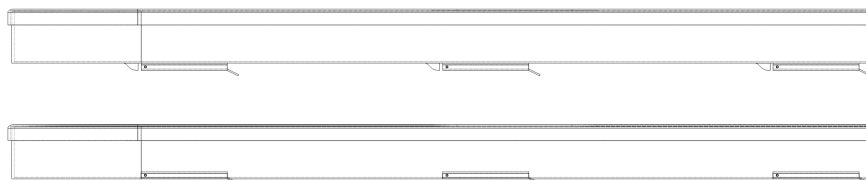
## 6 Rekommendationer

Då detta projekt har en begränsad tidsram så har inte allt hunnit att testas. Därför finns det vissa rekommendationer som kan föra produktutvecklingen framåt för framtida intressenter. När det kommer till produkten finns det flera detaljer där det finns goda möjligheter för vidareutveckling.

### 6.1 Utvecklingsmöjligheter för klaffarna

Minimering och eliminering av delar är en central del för att minska kostnaderna och komplexiteten av produktens tillverkning. Den nuvarande prototypen har tre komponenter per klaff; själva klaffen, basplattan och rampen. Detta medför oönskade konsekvenser. Dels behöver basplattan fästas på skrovets undersida med lim vilket utgör ett extra tillverkningsmoment. Vid användning bidrar även höjden på hela klaffmontaget till ett onödigt motstånd när klaffen är stängd.

Genom att designa in urgröpningar i skrovets undersida kan dessa agera som basplatta för klaffarna, och således kan man eliminera basplattan och rampen. Detta skulle också minska motståndet framåt då klaffens höjd inte längre skulle bidra. Limningen av delarna undviks också vilket innebär att tillverkningsmomentet kan elimineras. För att se hur en möjlig integration kan se ut, se Figur 36.



Figur 36: Skida med externa (övre) respektive integrerade (nedre) klaffar

Ännu en tänkbar förbättring som kan kopplas till klaffarna är den uppböjda ”vinge” som riskeras att böjas eller brytas vid hantering och förvaring. En möjlig lösning är att göra vingen flexibel, exempelvis genom att tillverka klaffarna i plast. Att tillverka klaffarna i plast kan även vara intressant då de hade blivit lättare. Om materialet har en lägre densitet än vatten så kommer det leda till att de inte kommer att sjunka då produkten är stillastående i vattnet. Det hade därför varit intressant att se hur det påverkar framdriften och glidet.

### 6.2 Utvecklingsmöjligheter för skrovet

Som nämnt i avsnitt 5.1.2 blev resultatet inte exakt som den inskickade ritningen. Ett första möjliga steg för utvecklingen hade därför varit att tillverka skidorna enligt ritningarna, och därefter utforska mer avancerade former.

En annan central del för användningen är transporterbarheten. Det finns många potentiella användare som inte har tillgång till taksäck eller släpvagn för att kunna transportera de långa skidorna. En modulär design hade gjort det möjligt för dessa användare att transportera skidorna i bagageutrymmet. Som nämnt i avsnitt 4.2.3, uppkom just den idén i form av flera delar som skulle skjutas in eller ut likt ett teleskop. Av komplexitetsskäl eliminerades idén, men det finns potential att vidareutveckla den i ett senare arbete eller inför produktion. Här finns det två huvudsakliga utmaningar som gruppen har upptäckt; att erhålla hög styvhet i systemet under användning samt att täta skidorna så att vatten inte läcker in och därmed försämrar flytförmågan.

För det sistnämnda hade exempelvis ett flexibelt, ballong-lik membran på insidan kunnat vara en lösning. Med en sådan produkt hade man även kunnat anpassa skidans längd till användarens vikt för optimal upplevelse genom att inte fälla ut skidan fullt ut. Ytterligare en idé om hur man lättare kan transportera skidorna är att göra dem uppblåsbara likt SUP-brädor.

### **6.3 Utvecklingsmöjligheter för stabilitetsspecifika delar**

De delar som underlättar stabiliteten såsom stavar och pjäxor har också förbättringspotential.

Pjäxorna är en komplex produkt i sig som behöver förfinas avsevärt, där allt ifrån materialvalen till säkerheten och bindningen behöver utvecklas. Säkerheten är särskilt viktig att utveckla, då det är viktigt att användaren lätt kan avlägsna skidorna om den skulle falla i vattnet.

Som nämnt i avsnitt 4.2.1 så prioriterades inte stavar i projektet, så här finns också möjligheter för vidareutveckling. Man hade exempelvis kunnat undersöka om SUP-paddlar skulle kunna förbättra styrningen och stabiliteten eller hur storleken på konerna påverkar användningen.

Ännu ett intressant hjälpmedel att utforska är om ihopkopplingen av skidorna med en hasp skulle avlasta lårmuskulerna och förbättra stabiliteten vid vila. En sådan lösning skulle kunna utformas på så sätt att haspen är fäst i ena skidan där den kan ligga längsmed när den inte används. Om användaren sedan skulle vilja använda den så kan den med enkelhet fästas i en ögla på andra skidan så att det bildas en koppling emellan dem, och användaren kan vila.

## 7 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultatet för det slutgiltiga konceptet, syfte och måluppfyllnad. Vidare diskuteras lärdomar från projektet, lärdomar om produkten, etik och hållbarhet. Kapitlet innefattar även en utvärdering av testningen och möjligheter för *Längdskidor på vatten* i framtiden.

### 7.1 Diskussion av slutkonceptet

Slutkonceptet liknar MFP på många sätt. Tvärsnittet har samma form. Bredden är densamma och fronten har liknande utformning. De ändringar som har implementerats är en längdökning, reducering av höjden och fotplacering längre bak på skidan. Utvecklingsarbetet kan därför ses som förbättringar av MFP snarare än implementering av nya koncept. Å ena sidan kan det ses som en svaghet hos projektet som tyder på att utvecklingen inte har haft någon större påverkan på resultatet. Å andra sidan kan det ses som en styrka då många initiala antaganden var korrekta och tiden för utvecklingsarbetet har kunnat användas för att förfinas konceptet.

Det var svårt att värdera resultatet för MFP eftersom det inte fanns något att jämföra med. Många av de antaganden som gjordes för MFP var korrekta men det kunde inte bekräftas utifrån den kunskap som då fanns tillgänglig. Därför genomfördes, trots det goda resultatet, ett utvecklingsarbete. Till exempel undersöktes flera andra former utan att nå bättre resultat. Flera antaganden för MFP bekräftades också senare av experter, vilket tyder på att det snarare var en styrka än en svaghet hos projektet. Sammanfattningsvis antas MFP ha haft en positiv inverkan på resultatet för projektet och ett positivt bidrag till effektiviteten i utvecklingsarbetet.

En annan viktig aspekt att ta hänsyn till när slutkonceptet utvärderas är likheten med traditionell längdskidåkning vid användning. Framst begränsas skidåkningen på vatten av det faktum att skidorna måste flyta. Det medför att skidorna måste ha betydligt större volym än traditionella skidor och i detta fall även en högre vikt. I kombination med vikten och sugproppseffekten som uppkommer då man försöker lyfta skidan ur vattnet blir det svårt att efterlikna det lyft som görs i slutet av fråntryckningen. Glidet däremot, utvecklades mycket från MFP till slutkonceptet. Med tillräckligt god styvhet och framdrift blev upplevelsen av glidet lik upplevelsen med traditionella längdskidor.

En olikhet, som till följd av att skidorna måste flyta, är avståndet mellan fötterna. Traditionella längdskidor är ungefär lika breda som foten till skillnad från slutkonceptet där skidorna är 30 cm breda. Trots försök att begränsa avståndet mellan fötterna måste användaren arbeta med musklerna i insida lår och ljumske för att skidorna inte ska flyta isär. Troligtvis begränsar det varaktigheten för användandet, något som inte har kunnat undersökas.

Stavarna hade en överlag positiv inverkan på skidkänslan. Att använda en paddel som vid SUP är möjligtvis en mer effektiv lösning, däremot bidrog stavarna till att användaren kunde efterlikna den traditionella skidrörelsen väl.

Sammanfattningsvis är traditionell längdskidåkning en komplex aktivitet där vissa delar kunde efterliknas, och andra inte, i användningen av den slutgiltiga prototypen.

### 7.2 Lärdomar om framdrift

Det uppnådda resultatet för klaffarna leder till ett optimeringsproblem. Klaffens funktion kan delas upp i två delar. Den första delen är att skapa motstånd då skidan förs bakåt. Det innebär att klaffen snabbt ska fällas ut och därmed skapa så stort motstånd som möjligt. Den andra delen är att motståndet ska vara så litet som

möjligt då skidan istället förs framåt. Det innebär att klaffen ska vara lätt att fälla upp och skapa ett så litet motstånd som möjligt under tiden. Dessa delfunktioner hos klaffen motsätter sig till viss del varandra och det blir därför intressant att söka ett optimalt läge med litet motstånd framåt och högt motstånd bakåt.

Målet med framdriften är att ta sig framåt så fort som möjligt med så lite kraft som möjligt. Resultatet visar att aspekterna som påverkar mest är storleken på klaffarna, antalet och placeringen. Desto större och desto fler klaffar, desto större blir motståndet och desto effektivare blir skidan i bakåtrörelsen. Å andra sidan leder det också till att motståndet blir större i framåtriktningen. Det går åt mer kraft åt att fälla upp klaffarna. Den intressanta frågan blir därmed vad den optimala utformningen är för att skidan ska vara effektiv i såväl framåt som bakåtrörelsen. Effektiviteten beror även på hur stor kraft åkaren genererar. Därför blir det intressant med olika konfigurationer för att skidan ska anpassas efter en specifik användare. Det kan liknas vid sättet man anpassar en skidvalla efter åkaren inom traditionell längdskidåkning.

I projektet gjordes ett försök till tidseffektiv optimering av framdriften genom att simulera olika utformningar. Simuleringarna gav tydliga resultat gällande optimal vinkel. De gav endast indikationer gällande storlek, antal och placering. I enlighet med testerna tyder trots allt simuleringresultaten på att klaffarna är en fungerande lösning.

Sammanfattningsvis kunde framdriftskonceptet klaffar endast valideras till viss del till följd av begränsningar i testmiljön, begränsade simuleringskunskaper och tidsbrist. Fler tester i en längre bassäng för att mäta och jämföra maximal uppnådd acceleration och hastighet skulle göra det lättare att optimera framdriften.

### **7.3 Lärdomar om skrovform**

Formen påverkade prestandan för flera delar i helhetslösningen och viktiga lärdomar erhöles från expertkonsultationer samt tester. Riktlinjer för god prestanda var till exempel skarpa kanter för att medge styrning. Ett annat exempel var att optimera längden på vattenlinjen på ett sätt som gör att minimalt motstånd uppnås utan att skidorna känns otympliga. En längre vattenlinje gör att skidans våtyta kan öka och därmed ökas också friktionsmotståndet. Dock gör det även att vågbildningsmotståndet minskar. Detta leder till att längden på vattenlinjen är ett optimeringsproblem som också bestäms av hastigheten och ytfinheten på skidorna.

Skrovets form påverkar dessutom stabiliteten på andra sätt. Fördelningen av volym påverkar skidornas läge i vattnet, i kombination med storleken av stödytan avgör det hur stabila skidorna är. Till exempel ger avfasad utsida ett vridmoment utåt som motverkar det naturliga vridmomentet inåt som kommer från den centrala tyngdpunkten. Däremot leder en sådan utformning till att skidorna sjunker längre ned i vattnet och medför sämre glidförmåga.

Formen skapar även förutsättningar för framdriftsmekanismer. Till exempel hade en rundad form varit svårare att kombinera med klaffarna medan en platt undersida medger enklare tillverkning och montering. Ett potentiellt koncept för form var en enskrovslösning likt en SUP. En sådan form hade lättare kunnat kombineras med andra lösningar för framdrift såsom propeller. Nackdelen med enskrovslösning är att längdskidåkningskänslan minskar och att produkten blir mer lik en SUP.

I ett tidigt stadié så antogs det att utvecklingen av en mer avancerad utformning på skidorna skulle medföra ett bättre resultat under testerna. Det visade sig att en sådan form inte nödvändigtvis leder till bättre prestanda.

## 7.4 Lärdomar om stabilitet

Fördelen med att ha två separata skidor när det kommer till stabilitet är att användaren själv kan ändra storlek på stödytan. Vid påverkande faktorer, såsom oväder, kan användaren placera skidorna lite bredare och på så sätt få större stödyta och därmed bättre stabilitet. Möjlig storlek på stödytan begränsas dock kraftigt av användarens styrka i ljumske och insida lår. Som tidigare nämnt innebär en bredare placering av fötterna att användaren måste hålla emot med mer kraft då skidorna lättare vill glida isär.

En annan lärdom om stabilitet är att pjäxor är fördelaktigt för en bekväm och stabil användning. Pjäxorna som tillverkades är enkelt utformade på grund av tidsbrist och liten budget, vilket medför vissa nackdelar vid användning. När man skjuter ifrån med fötterna bakåt åker hälen upp för att få ytterligare längre rörelse. Dessvärre finns det ett stopp på hur högt hälen kan åka upp och när användaren når detta är det lätt att tappa balansen, vilket är något som bör utvecklas. En annan lärdom om pjäxorna är att det måste vara lätt att få på sig i vattnet och att de måste kunna lösas ut ifall användaren skulle trilla.

## 7.5 Lärdomar om projektarbetet

Projektet har lett till många lärdomar om hur produktutveckling fungerar i grupp. Det är något som har öppnat upp tankebanor kring hur arbete kan delas upp beroende på befintliga kunskaper och egenskaper, men även hur olika expertiser kan komplettera varandra för att skapa ett optimalt arbete. Sedan har det även skapats lärdom kring hur en stor rapport ska skrivas och hur den ska struktureras upp för att vara sammanhängande.

En mer projektspecifik lärdom är att lära sig åka längdskidor på vatten. Under projektets gång så har många prototyptester genomförts på vatten vilket har lett till att tekniken för att kunna använda prototyperna har ökat med tiden. I början var det svårt att veta ifall det var prototypen som var dålig eller användaren. Denna lärdom är även för framtida användare att ta in. Det kommer alltså att vara en inlärningskurva, men precis som mycket annat så kommer det att bli lättare med tiden.

Något som har underskattats under projektets gång är hur lång tid saker tar. Exempelvis påbörjades sökningen efter företag, som skulle tillverka skrovet för slutprototypen, för sent. Många företag hade långa ledtider och inte tid för att starta igång ett nytt projekt. Även priserna för tillverkningen underskattades. Som tur var så hittades Vaxholm Komposit AB som ville ta sig an uppdraget och materialkostnaderna samt Aros Polymer-teknik som var villiga att sponsra arbetet. Sammanfattningsvis är det viktigt att vara ute i god tid och att ha större marginaler när det gäller tid och datum.

## 7.6 Etik och hållbarhet

Vid längdskidåkning på vatten kan användarens balans avgöra huruvida svår användningen av produkten är. En sämre balans eller instabil produkt kan leda till säkerhetsrisker om man tappar balansen och faller ner i vattnet. Eftersom produkten nyttjar fästen för fötterna så kan det vara kritiskt om något går fel och användaren inte kan ta sig loss från produkten, vilket är ett viktigt område att utveckla vidare.

När det gäller miljön så finns det en risk för att produkten förloras av användaren och eventuellt riskerar att sjunka till botten, vilket bidrar till nedskräpning. Det kan även finnas mindre delar som kan lossna såsom skruvar och muttrar. En annan potentiell risk hade varit om materialet, som är i kontakt med vattnet, skulle vara giftigt eller reaktivt. Detta kan riskera lokal miljöförgiftning. Vid slutet av produktens livscykel kan återvinning och nedbrytbarhet variera beroende på produktens material. Det är dock svårt att uppskatta dessa risker innan den slutgiltiga produkten har utvecklats och dess material har valts.

Produkten kan också leda till en positiv påverkan på samhället och individen. Eftersom användaren behöver anstränga sig fysiskt för att föra sig framåt med produkten bidrar det till ökad motion. Detta kan hjälpa till att förebygga folkhälsoproblem kopplade till en passiv livsstil. Produkten skulle alltså kunna bidra till mer fysisk aktivitet och därmed ge hälsofrämjande effekter på samhällsnivå.

## 7.7 Utvärdering av testernas pålitlighet

Under de utförda testerna så fanns det vissa delar värda att diskutera för huruvida testerna var legitima. Det fanns positiva och negativa aspekter men även begränsningar för prototypstandet.

### 7.7.1 Positiva aspekter

Den valda testmetodiken bidrog till hög effektivitet i utvärderingen av koncepten och lösningarna. Med tillgång till bassäng, prototyplaboratorie och träverkstad på Chalmers, kunde kostnaden för prototyperna och testerna hållas innanför budgetens ramar. De flesta testerna tillhandahöll tydliga resultat som hade avgörande påverkan på utvecklingen av koncepten. På grund av den begränsade tidsramen för projektet var det fördelaktigt med effektiva test vilket gjorde att fler tester kunde genomföras och därmed blev det fler iterationer i designloopen och mer välutvecklade koncept.

### 7.7.2 Begränsningar

**Testmiljö** Testerna genomfördes i en bassäng med begränsad längd och inte förens vid den slutgiltiga utvärderingen testades skidorna i den tänkta användningsmiljön. Därav var det svårt att testa till exempel hastighet eller känslan av längre kontinuerlig åkning för de olika koncepten under processen. Den korta sträckan om ungefär 5 meter gav endast indikationer på uppnåbar hastighet och känsla vid användning. Manövreringen var också svår att testa då bassängen endast var 4 meter bred.

För det slutgiltiga testet så var det, som nämnt tidigare, yttre faktorer så som vind och vågor som påverkade testet. Påverkan bedömdes vara tillräckligt liten för att resultatet skulle vara trovärdigt och vidare tester utfördes inte. Det bör dock tas i beaktande att de framtagna värdena kan skilja sig från de optimala värdena.

Den mest gynnsamma testmiljön vore en större inomhusbassäng, där yttre förhållanden så som strömmar, vind eller andra faktorer inte påverkar resultatet. Det behöver fortfarande vara möjligt att uppnå maximal hastighet och manövrera utan begränsningar.

**Prototypbegränsningar** För att testa de olika koncepten användes snabbt tillverkade prototyper som medförde vissa begränsningar. Styvheten var ett problem till följd av materialen som användes för prototyperna; träskivor och EPS. För att testa olika former effektivt subtraherades delar av grundformen på olika sätt. Det i samband med materialens begränsningar medförde att dessa koncept fick avsevärt sämre styvhet. Den försämrade styvheten påverkade andra egenskaper hos prototyperna negativt, till exempel glid. Det betyder att de olika formerna inte kunde jämföras utifrån likgiltiga villkor, något som kan ha påverkat resultatet gällande valet av

form. Optimalt hade varit att använda ett styvare material där formen inte påverkar styvheten lika mycket, till exempel kolfiber som användes för den slutgiltiga prototypen. Det var dock inte möjligt att använda kolfiber för alla former på grund av kostnad och tidsåtgång.

**Testpersoner** De flesta testen var mer eller mindre subjektiva, jämförande test där testpersonerna värderade olika koncept mot varandra utifrån ett antal kriterier. Det medför risken att testpersonernas egna åsikter påverkade resultatet. Som nämnt tidigare utvecklades förmågan att åka skidor på vatten under projektets gång. Det kan ha påverkat resultatet då det i vissa fall var svårt att avgöra om det var konceptet eller testpersonen som presterade bättre från testomgång till testomgång.

### 7.7.3 Förbättringsmöjligheter av projektet

**Testet av MFP** Det första testet med MFP gav en bra initial överblick av problemen och funktionerna som produkten behöver ha. En helt obearbetad utformning hade kunnat betona ytterligare att det är den minsta möjliga funktionsdugliga prototypen. Detta genom att inte skära av och avrunda fronten utan snarare hålla hela prototypen blockformad. Med det så hade vidare testningar kunnat jämföras mycket bättre då blockformen utgör en enklare grund att jämföra mot än den verkliga MFP som gjordes. Avskärningar och formändringar hade sedan kunnat jämföras med grundläget för prototypen. Om en blockformad MFP hade testats så hade det nästa testet troligen ändå inneburit en spetsig front på grund av för högt motstånd framåt, det slutgiltiga resultatet hade förmodligen blivit detsamma.

**Flerkonceptstestning** Vid vissa test undersöktes flera koncept samtidigt. Exempelvis så testades en specifik bottenform med en frontform medan ett annat test hade en annan bottenform med en annan frontform. Analysen och bedömningen av ett koncept kan därför ha påverkats av ett annat koncept som testades samtidigt. En förbättring hade varit att testa koncepten oberoende av varandra, men det hade tagit längre tid och fler tester. De tester som har utförts tillhandahöll tillräckliga underlag för att välja det bästa konceptet, vilket medför att enskild testning av koncepten inte nödvändigtvis hade påverkat resultatet. Inför varje test ändrades inte allt för många variabler från föregående test. Detta ledde till att det ändå gick att analysera de olika delarna som hade förändrats.

**Trä som material till prototypen** Något som noterades i mitten av projektet är att trä inte är ett optimalt material för en prototyp som ska testas i vatten. Då träskivan låg emellan två EPS-bitar som var inlindat i plastfolie och inte togs isär mellan användningarna så möglade träskivan. Detta ledde till att tid behövde läggas på ny tillverkning av skidorna som dock gick relativt snabbt. När de nya skidorna användes så plockades delarna isär efteråt så att de skulle kunna torka, vilket löste problemet. Detta är något som borde ha tänkts på tidigare i projektet men som nu framtida parter kan ha i åtanke.

## 7.8 Framtid

Den slutgiltiga produkten skulle kunna leda till en ny aktivitet och ytterligare ett sätt att motionera i naturen. En popularitet av produkten kan innebära nya idrottsgrenar där tävlingar kan hållas likt Vasaloppet eller som en gren i OS, såsom kanot eller rodd. Huruvida detta är något som kommer ske är utifrån detta projekt svårt att svara på. En kundundersökning hade gjort det möjligt att skapa en större uppfattning kring projektets framtid.

## 8 Slutsats

Projektets syfte var att undersöka möjligheterna och utmaningarna med att utveckla en prototyp som imiterar längdskidåkning på vatten. Genom en spiral utvecklingsprocess har tester genomförts med flera olika prototyper. Processen gav en nyanserad bild av problemen och vilka utmaningar som finns med utvecklingen av längdskidåkning på vatten. Den slutliga prototypen, som är tillverkad i kolfiber, uppfyller de flesta av kraven. Även om vissa av kraven inte kan testas, anses de vara nyttiga riktlinjer för vidare utveckling av produkten och antas uppfyllas om projektet återupptas. På grund av tidsramen uteblev många intressanta koncept och den externa tillverkarens långa ledtider bromsade en del av utvecklingen. Projektets mål att ta fram en funktionsduglig prototyp i full skala har uppfyllts, men för framtiden finns flertal rekommendationer och idéer för hur prototypen kan vidareutvecklas. Den sista prototypen är i ett tidigt skede och representerar ett steg på vägen att bli en färdig produkt.

## Referenser

- A Dictionary of Physics* (6 ed.). (2009 januari). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ACREF/9780199233991.001.0001>
- Bailey, G. W. (2018). WATERCRAFT WITH MANUAL PROPULSION SYSTEM. EP3403915A1.
- Buytaert Dries. (2018). Optimizing your product strategy for the short- and long-term. <https://dri.es/optimizing-your-product-strategy-for-the-short-and-long-term>
- Carmichael, J. (1991). CROSS WATER SKI. CA2008954A1.
- Dam, R. F., & Teo, Y. S. (2024 februari). Personas – A Simple Introduction. <https://www.interaction-design.org/literature/article/personas-why-and-how-you-should-use-them>
- Danish Fishermen's Occupational Health Services. (2014). STABILITY GUIDE FOR SMALLER VESSELS, 5–8. <https://www.dma.dk/Media/637743958799877207/Stability%20Guide%20for%20Smaller%20Vessels%20by%20Danish%20Fishermen%27s%20Occupational%20Health%20Services.pdf>
- Dawes, B. (2023 april). Understanding Stand Up Paddle Board Shapes and Styles - SUPBoardGuide.com. <https://www.supboardguide.com/understanding-paddle-board-shapes/>
- Dubrovsky, V. A. (2010). Ships and Offshore Structures Multi-hulls: new options and scientific developments SHORT COMMUNICATION Multi-hulls: new options and scientific developments. *Ships and Offshore Structures*, 5(1), 81–92. <https://doi.org/10.1080/17445300903149038>
- Google. (2024a). Google Trends: Kayak. <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=Kayak&hl=sv>
- Google. (2024b). Google Trends: SUP. <https://trends.google.com/trends/explore?q=SUP&date=now%201-d&geo=SE&hl=sv>
- Orth, D. (2021). MANUALLY PROPELLED WATER SKIS. WO2021221686A1.
- Paul, J. (2018). Tracing the Colorful History of Stand Up Paddling — The Inertia. <https://www.theinertia.com/surf/tracing-the-colorful-history-of-stand-up-paddling/>
- Praxis Framework. (u. å). <https://www.praxisframework.org/en/library/cost-of-change>
- Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (2019). Diffusion of innovations. *An Integrated Approach to Communication Theory and Research, Third Edition*, 415–433. <https://doi.org/10.4324/9780203710753-35/DIFFUSION-INNOVATIONS-1-EVERETT-ROGERS-ARVIND-SINGHAL-MARGARET-QUINLAN>
- Schram, B., & Furness, J. (2017). Exploring the Utilisation of Stand up Paddle Boarding in Australia. *Sports*, 5(3), 53. <https://doi.org/10.3390/sports5030053>
- Söderkajak. (2022). Hur snabbt paddlar man kajak? - 4 tips för att öka din kajakhastighet! <https://www.soderkajak.se/blogg/hur-snabbt-paddlar-man-kajak>
- Thomasson, B. (2023 januari). Längd — Björn Thomasson Design. <https://www.thomassondesign.com/valja-kajakdimensioner/langd>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2014). *Produktutveckling: konstruktion och design* (2. utg., Vol. 1). Studentlitteratur AB.

Washington, A. (2023 augusti). What is a Minimum Viable Product (MVP)? Definition, Examples, and How-to — Amplitude. <https://amplitude.com/blog/what-is-a-minimum-viable-product-mvp>

Wikberg Nilsson, Å., Ericson, Å., & Törlind, P. (2015). *Design- Process och metod* (1:1). Studentlitteratur AB.

## 9 Bilagor

### Bilaga A

Uppdragsbeskrivning

## **Skidåkning på Vatten**

### **Hur ser en produkt ut som gör det möjligt att åka skidor på vatten?**

Senaste åren har ett antal produkter för vattensport utvecklats, t ex SUP och Foil skiis) som gör det möjligt att utöva människodrivna sportaktiviteter på vattnet. I detta projekt vill man undersöka och utveckla lösningar för något som motsvarar längdskidåkning på vatten, där hittills bara ett fåtal försök finns beskrivna.

I projektet förväntas ni undersöka och formulera krav och utvärderingskriterier för utrustning som möjliggör nära verklighetstrogen längdskidåkning på vatten samt utveckla förslag på utformning och tillverkning av "skidorna" för detta ändamål. (Även om stavar kan effektivisera åkningen ingår utformningen av dessa inte i uppgiften). Målet är att med en prototyp demonstrera kritiska funktioner, idealt en fungerande vattenskidlösning. I projektet finns möjlighet att samverka med Aros Polymerteknik AB för tillverkning av prototyper. Ett tillfälle att kombinera konstruktion och prototyputveckling med entreprenerskap och innovation.

## Bilaga B

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Test1 :</b>      | Minsta funktionsdugliga prototyp  |
| <i>Typ:</i>         | Pilottest. Fysiskt test i full skala  |
| <i>Kategori:</i>    | Alla  |
| <i>Syfte:</i>       | Fördjupad förståelse för problemet  |
| <i>Beskrivning:</i> | Första testet, prövar hur det fungerar att testa, prövar om <del>testmetodiken</del> är lämplig. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Form: rektangulärt tvärsnitt, rak stäv</li> <li>- Längd: 2400 mm, bredd: 300 mm</li> <li>- Fotplacering: mitten av skidan</li> <li>- Framdrift: ingen</li> <li>- Stavar</li> </ul>  |
| <i>Resultat:</i>    | Prototypen bär upp användaren (tillräcklig flytkraft). Ingen möjlighet till framdrift utan stavar.  |
| <i>Utvärdering:</i> | <p><i>Stabilitet och tyngdpunkt</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tyngdpunkten kändes hög vilket ledde till en naturlig instabilitet. För vidare prototyper ska en lägre tyngdpunkt testas. Flytelementen på ovansidan utnyttjades inte, det skulle därför gå bra att ta bort delar av det undre flytelementet (forma).</li> <li>- Tyngdpunkten hamnar mer åt den inre kanten av skidorna vilket gör att de "välter" inåt och användaren tvingas pressa tillbaka yttersidorna med hjälp av musklerna i fotlederna.</li> </ul> <p><i>Stabilitet i sidled</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Skidorna flyter isär. Det leder till att användaren blir kobent och får använda musklerna i insida lår mycket enbart för att skidorna inte ska glida isär (sätta ihop dem eller få dem att glida mot varandra).</li> </ul> <p><i>Längd</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Skidorna som två stycken separata kroppar är lite för långa. Skulle man på något sätt göra att de går i spår eller liknande så funkar de. Problemet är att de fastnar i varandra nedtill</li> </ul> <p><i>Bredd</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bredden var bra, man hade inte velat stå bredare dock. Möjligtvis att göra dem smalare.</li> </ul> <p><i>Flytförmåga och tjocklek</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mer än tillräcklig flytförmåga, då vattennivån var under mitten av skidorna. Det borde räcka med halva tjockleken, alltså med en frigolitskiva istället för två.</li> </ul> <p><i>Styvhet</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Skidorna böjdes när man stod på dem och något behöver göras för att förstärka dem.</li> </ul> <p><i>Styrförmåga</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- För att styra skidorna behövdes stavar. Med stavar var det inga problem att svänga.</li> </ul> <p><i>Form</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fronten hade kunnat rundats för att göra den mer strömlinjeformad.</li> </ul> <p><i>Stavar</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkar ha stor inverkan för balans och framdrift.</li> </ul> |

| <b>Test 2:</b>      | <b>Framdriftsmekanismer</b>   |                 |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
|---------------------|---|-----------------|------------------|-----------------|---|------|------|---|------|------|---|------|------|------------|------|------|---------------|------------------|-----------------|---|------|------|---|------|-------|---|------|------|------------|------|------|
| <i>Typ:</i>         | Fysiskt test i mindre skala   |                 |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| <i>Kategori:</i>    | Framdrift   |                 |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| <i>Syfte:</i>       | Testa koncept: Skopa och flärp  |                 |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| <i>Beskrivning:</i> | <p>Testade två olika koncept på framdriftsmekanismer i mindre skala som båda bygger på principen att skapa motstånd eller "fäste" i <u>fråntryckningen</u>. Koncepten utvärderades mot varandra genom att på vardera sida av en 300x300 mm frigolitskiva montera lösningarna för respektive framdrivningskoncept. Frigolitskivan simulerade skidans undersida. Skivan drogs genom vattnet med en dynamometer för att mäta motståndet som genererades av respektive lösning. Eftersom lösningarna monterades på var sin sida av skivan var det enkelt att vända på den och testa koncepten mot varandra flera gånger.</p>  |                 |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| <i>Resultat:</i>    | <p>Resultat av den <u>hovformade</u> skopan:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Försök nummer</th> <th>Kraft framåt (N)</th> <th>Kraft bakåt (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2,60</td> <td>3,58</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2,92</td> <td>3,74</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2,30</td> <td>3,82</td> </tr> <tr> <td>Medelvärde</td> <td>2,61</td> <td>3,71</td> </tr> </tbody> </table> <p>Kraftförhållande (Bak / Fram) : 1,42</p> <p>Resultat av flärp:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Försök nummer</th> <th>Kraft framåt (N)</th> <th>Kraft bakåt (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1,94</td> <td>8,82</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2,00</td> <td>10,80</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1,82</td> <td>8,96</td> </tr> <tr> <td>Medelvärde</td> <td>1,92</td> <td>9,52</td> </tr> </tbody> </table> <p>Kraftförhållande (Bak / Fram) : 4,96<br/> Fördyligande: försöken för att testa de upplevda krafterna framåt är separat från försöken bakåt</p> | Försök nummer   | Kraft framåt (N) | Kraft bakåt (N) | 1 | 2,60 | 3,58 | 2 | 2,92 | 3,74 | 3 | 2,30 | 3,82 | Medelvärde | 2,61 | 3,71 | Försök nummer | Kraft framåt (N) | Kraft bakåt (N) | 1 | 1,94 | 8,82 | 2 | 2,00 | 10,80 | 3 | 1,82 | 8,96 | Medelvärde | 1,92 | 9,52 |
| Försök nummer       | Kraft framåt (N)  | Kraft bakåt (N) |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| 1                   | 2,60  | 3,58            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| 2                   | 2,92  | 3,74            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| 3                   | 2,30  | 3,82            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| Medelvärde          | 2,61  | 3,71            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| Försök nummer       | Kraft framåt (N)  | Kraft bakåt (N) |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| 1                   | 1,94  | 8,82            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| 2                   | 2,00  | 10,80           |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| 3                   | 1,82  | 8,96            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| Medelvärde          | 1,92  | 9,52            |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |
| <i>Utvärdering:</i> | <p><u>Flärpmekanismen</u> gav mycket större skillnad i den upplevda kraften bakåt jämfört med den framåt än <u>skopmekanismen</u>. Det leder till att framdriften blir effektivare med <u>flärpmekanismen</u>.</p> <p>Förhoppningsvis betyder detta att man i full skala åker framåt mycket mer med den främre skidan där mekanismen inte ska vara hindrande (glid) än vad man åker bakåt med den bakre skidan där mekanismen ska medge motstånd (faste). Nästa steg är att utföra ett test i full skala med flärparna på undersidorna av skidorna för att se om det stämmer.</p> <p>Resultatet av testet medför att konceptet med skopor kunde elimineras.</p>   |                 |                  |                 |   |      |      |   |      |      |   |      |      |            |      |      |               |                  |                 |   |      |      |   |      |       |   |      |      |            |      |      |

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Test 3:</b>      | <b>Flärpmekanism, styvhet, sammankoppling</b>   |
| <i>Typ:</i>         | Fysiskt test i full skala   |
| <i>Kategori:</i>    | Framdrift, stabilitet   |
| <i>Syfte:</i>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Testa koncept "flärpar" i full skala</li> <li>- Utvärdera inverkan av ökad styvhet</li> <li>- Testa koncept "sammankopplande skidor"</li> </ul>  |
| <i>Beskrivning:</i> | <p>Implementerade det vinnande konceptet från föregående test: flärpar i den fullskaliga prototypen genom att montera en flärp på undersidan av vardera skida.</p> <p>Provade också inverkan av bättre styvhet genom att stärka insidan av vardera skida med en plywoodskiva som motverkar utböjning i z-led.</p> <p>Testade en sammankoppling genom att montera en tamp mellan skidorna för att begränsa isärglidning.</p>   |
| <i>Resultat:</i>    | <p>Ökad styvhet har positiv inverkan på <u>skidkänslan</u> och gör det möjligt att uppnå en högre hastighet.</p> <p>Sammankopplingen begränsar rörelseomfånget kraftigt, liten positiv inverkan på avlastning för användarens muskler i insida lår.</p> <p>Flärpar medger framdrift i full skala, till viss del "bakhalt"</p> <p><i>Nya Funktioner:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Medge fritt rörelseomfång</li> <li>- Underlätta transport (inte skada sig på flärpar)</li> </ul> <p><i>Nya krav:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>inte begränsa skidrörelsen</u></li> </ul>   |
| <i>Utvärdering:</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flärpar fungerar väl, men motståndet blev inte tillräckligt. <u>Liknar</u> känslan av att ha det "bakhalt" på ett par vanliga längdskidor. Glidet var bra men vi kom tyvärr inte upp i särskilt hög hastighet.</li> <li>- På videor som togs under vattnet kan man tydligt se att flärpen trycks helt upp mot skidan när man åker framåt, jämfört med när skidan är stilla. Detta kan ses som en effekt av <u>bockningen</u> som gjordes på flärpen. Bockningen tvingar vattnet som flödar längs med flärpen nedåt, vilket skapar en kraft uppåt som stänger igen flärpen.</li> <li>- Sammankopplingen hade totalt sett negativ inverkan på helheten. Det blev lite lättare att stå stilla men <u>skidrörelsen</u> begränsades, försämrade <u>skidkänslan</u>. Ingen positiv ergonomisk inverkan under själva användningen. Försämrade balans.</li> <li>- Bekräftelse på att hög styvhet är värt att eftersträva, påverkar alla andra aspekter positivt.</li> </ul> <p><i>Möjliga förbättringar för Flärpar</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flera flärpar, placering, storlek på flärpar.</li> <li>- Ta bort gummiband, <u>ersätta</u> med vridfjäder eller inget alls.</li> <li>- Mekanism som håller upp flärp vid transport.</li> </ul> <p>Resultatet av testet medförde att <u>sammankoppling</u> kunde elimineras.</p> |

| <b>Test 4:</b>       | <b>Undersidans form</b>   |  |  |  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
|----------------------|---|--|--|--|--|------------------------|--------|-------|----------------|------------|---|--|--|--|-------------|--|--|-------------------------------|---|----------|---|---|--|--|----------------------|-------|------------|--------|-------|-------------|---|---|---|---|
| <i>Typ:</i>          | Fysiskt test i full skala   |  |  |  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| <i>Kategori:</i>     | <u>Form, stabilitet</u>   |  |  |  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| <i>Syfte:</i>        | - Testa olika former och dess påverkan på stabiliteten och <u>glidförmågan</u> .  |  |  |  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| <i>Beskrivning:</i>  | Prototypen <u>konstruerades</u> på ett sätt som gjorde det enkelt att snabbt modifiera formen på undersidan. Olika bitar skars ut som tillsammans kunde kombineras till de olika formerna som skulle testas.  |  |  |  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| <i>Resultat:</i>     | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><u>Katamaranformad</u></th> <th>U-form</th> <th>Platt</th> <th>Avfasad utsida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stabilitet</td> <td>Foten sjönk ned under vattenytan<br/>Stabil vid belastning</td> <td>Inget motstånd i sidled, uppnådde stabilitet när den sjönk ned</td> <td>Stabil både när den utsätts för tyngd och när den inte är belastad</td> <td>Mindre avstånd mellan fötterna.<br/>Bäst stabilitet</td> </tr> <tr> <td>Flytförmåga</td> <td>Sämre flytförmåga går djupare vilket leder till mer motstånd</td> <td>Sämre flytförmåga går mycket djupare → mycket motstånd</td> <td>God flytförmåga, går grundare</td> <td>Sämre flytförmåga, går djupare än platt</td> </tr> <tr> <td>Motstånd</td> <td>Lite mer motstånd framåt eftersom mer volym frigolit kommer djupare under vattnet</td> <td>Mycket motstånd, känsla av att skidan "grävde" i vattnet.</td> <td>Lågt motstånd, sjunker bara några få centimeter under vattenytan</td> <td>Lite mer motstånd framåt, mer massa djupare under vattnet.</td> </tr> <tr> <td>Styvhet (vid testet)</td> <td>lägre</td> <td>Mycket låg</td> <td>Normal</td> <td>lägre</td> </tr> <tr> <td>Rangordning</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> |  |  |  |  | <u>Katamaranformad</u> | U-form | Platt | Avfasad utsida | Stabilitet | Foten sjönk ned under vattenytan<br>Stabil vid belastning | Inget motstånd i sidled, uppnådde stabilitet när den sjönk ned | Stabil både när den utsätts för tyngd och när den inte är belastad | Mindre avstånd mellan fötterna.<br>Bäst stabilitet | Flytförmåga | Sämre flytförmåga går djupare vilket leder till mer motstånd | Sämre flytförmåga går mycket djupare → mycket motstånd | God flytförmåga, går grundare | Sämre flytförmåga, går djupare än platt | Motstånd | Lite mer motstånd framåt eftersom mer volym frigolit kommer djupare under vattnet | Mycket motstånd, känsla av att skidan "grävde" i vattnet. | Lågt motstånd, sjunker bara några få centimeter under vattenytan | Lite mer motstånd framåt, mer massa djupare under vattnet. | Styvhet (vid testet) | lägre | Mycket låg | Normal | lägre | Rangordning | 3 | 4 | 1 | 2 |
|                      | <u>Katamaranformad</u>  | U-form   | Platt  | Avfasad utsida   |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| Stabilitet           | Foten sjönk ned under vattenytan<br>Stabil vid belastning   | Inget motstånd i sidled, uppnådde stabilitet när den sjönk ned | Stabil både när den utsätts för tyngd och när den inte är belastad | Mindre avstånd mellan fötterna.<br>Bäst stabilitet         |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| Flytförmåga          | Sämre flytförmåga går djupare vilket leder till mer motstånd  | Sämre flytförmåga går mycket djupare → mycket motstånd         | God flytförmåga, går grundare                                      | Sämre flytförmåga, går djupare än platt                    |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| Motstånd             | Lite mer motstånd framåt eftersom mer volym frigolit kommer djupare under vattnet   | Mycket motstånd, känsla av att skidan "grävde" i vattnet.      | Lågt motstånd, sjunker bara några få centimeter under vattenytan   | Lite mer motstånd framåt, mer massa djupare under vattnet. |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| Styvhet (vid testet) | lägre   | Mycket låg   | Normal   | lägre  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| Rangordning          | 3   | 4  | 1  | 2  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |
| <i>Utvärdering:</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vid både <u>katamaranformen</u> och U-formen blev den totala prestandan lägre. Det berodde dels på att styvheten blev sämre vid testet (begränsas av frigolit som byggmaterial men går att åtgärda). Dels berodde det på att mindre flytelement gjorde att skidan sjönk ned djupare vilket ledde till mer motstånd och därmed sämre glid.</li> <li>- När det gäller stabiliteten blev den sämre främst i det obelastade läget när tyngden läggs på den andra skidan. Den u-formade skidan <u>wobbade</u> kraftigt utan belastning men blev stabil till följd av att tyngdpunkten <u>hamnade</u> lågt i förhållande till vattenytan vid belastning.</li> <li>- Avfasning fungerar bättre än u-form och <u>katamaranform</u>. Gör det möjligt att ha fötterna närmare varandra än den platta skidan men försämrar stabilitet och styrförmåga. Det gör också att den går något djupare och på grund av prototypens begränsningar får den väldigt låg styvhet.</li> </ul> <p>Resultatet av testet medförde att den u-formade skidan och <u>katamaranformade</u> skidan kunde elimineras. Den platta undersidan presterade allra bäst i testet.</p>   |  |  |  |  |                        |        |       |                |            |   |  |  |  |             |  |  |                               |   |          |   |   |  |  |                      |       |            |        |       |             |   |   |   |   |

| <b>Test 5:</b>            | <b>Skidornas front</b>   |   |  |  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
|---------------------------|--|---|--|--|--|----------------------------|-------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|--|---|--|--|-----------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|----------|------|------|-------|------|-------------|---|---|---|---|
| <i>Typ:</i>               | Fysiskt test i full skala  |   |  |  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| <i>Kategori:</i>          | Form   |   |  |  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| <i>Syfte:</i>             | Testa olika former på skidornas toppar och dess påverkan på  |   |  |  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| <i>Beskrivning:</i>       | Olika former på skidornas front och bakdelar.  |   |  |  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| <i>Resultat:</i>          | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Platt front, avrundad stäv</th> <th>Platt front</th> <th>Spetsig front, avrundad stäv</th> <th>Spetsig front, rak stäv</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Förmåga att bryta vattnet</td> <td>Bryter inte vattenytan, vattnet flödar under</td> <td>Bryter inte vattenytan, skapar motstånd och plask</td> <td>Bryter vattenytan delvis men tvingar också in vattnet under.</td> <td>Bryter vattnet väl. mycket låg vågbildning</td> </tr> <tr> <td>smidighet</td> <td>osmidig gång, guppar, plogar vattnet</td> <td>osmidig gång, plaskar, gräver ner sig, plogar vattnet</td> <td>relativt smidig gång plogar vattnet</td> <td>smidig gång, ingen plogning</td> </tr> <tr> <td>motstånd</td> <td>högt</td> <td>högt</td> <td>medel</td> <td>lågt</td> </tr> <tr> <td>rangordning</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> |   |  |  |  | Platt front, avrundad stäv | Platt front | Spetsig front, avrundad stäv | Spetsig front, rak stäv | Förmåga att bryta vattnet | Bryter inte vattenytan, vattnet flödar under | Bryter inte vattenytan, skapar motstånd och plask | Bryter vattenytan delvis men tvingar också in vattnet under. | Bryter vattnet väl. mycket låg vågbildning | smidighet | osmidig gång, guppar, plogar vattnet | osmidig gång, plaskar, gräver ner sig, plogar vattnet | relativt smidig gång plogar vattnet | smidig gång, ingen plogning | motstånd | högt | högt | medel | lågt | rangordning | 4 | 3 | 2 | 1 |
|                           | Platt front, avrundad stäv   | Platt front   | Spetsig front, avrundad stäv                                 | Spetsig front, rak stäv                    |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| Förmåga att bryta vattnet | Bryter inte vattenytan, vattnet flödar under   | Bryter inte vattenytan, skapar motstånd och plask     | Bryter vattenytan delvis men tvingar också in vattnet under. | Bryter vattnet väl. mycket låg vågbildning |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| smidighet                 | osmidig gång, guppar, plogar vattnet   | osmidig gång, plaskar, gräver ner sig, plogar vattnet | relativt smidig gång plogar vattnet                          | smidig gång, ingen plogning                |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| motstånd                  | högt   | högt  | medel  | lågt                                       |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| rangordning               | 4  | 3   | 2  | 1  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |
| <i>Utvärdering:</i>       | <p>Den helt platta fronten presterade som väntat sämst. Den skapade mycket motstånd och kändes osmidig.</p> <p>Även den platta fronten med avrundad stäv skapade mycket motstånd.</p> <p>Den spetsiga avrundade fronten fungerade något bättre men alla tre fronter plogade vattnet framför sig och det skvätte mycket vilket tyder på att gången är ineffektiv.</p> <p>Den spetsiga fronten med rak stäv bröt vattnet väl och plogade inte framför sig, den kändes smidig i vattnet.</p> <p>Spetsig front, rak stäv presterade bäst i testet.</p>   |   |  |  |  |                            |             |                              |                         |                           |  |   |  |  |           |                                      |   |                                     |                             |          |      |      |       |      |             |   |   |   |   |

| <b>Test 6:</b>      | <b>Skidornas längd och fotplacering</b>  |   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
|---------------------|--|---|--|---------|---------|------|---|--|------------|------------------|--------------------------------------|-----------|-------|----------------------|-------------------|---|---|-------------|---|---|
| <i>Typ:</i>         | Fysiskt test i full skala  |   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| <i>Kategori:</i>    | Form   |   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| <i>Syfte:</i>       | Testa längdens påverkan på prestandan  |   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| <i>Beskrivning:</i> | Olika former på skidornas front och bakdelar. Fotplaceringen testades även, varpå vi testade i mitten av skidan och en bit bakom i skidan.   |   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| <i>Resultat:</i>    | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2400 mm</th> <th>3000 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Glid</td> <td>Mer volym under vattenytan som leder till mer <u>motstånd</u></td> <td>Glider bättre, mindre volym under vattenytan</td> </tr> <tr> <td>Stabilitet</td> <td>relativt stabila</td> <td>Stabilare, känns tryggare att stå på</td> </tr> <tr> <td>Smidighet</td> <td>medel</td> <td>något sämre än medel</td> </tr> <tr> <td><u>Skidkänsla</u></td> <td>Begränsad <u>skidkänsla</u>, mindre glid, mer av att man gräver ner sig i vattnet.</td> <td>Mer <u>skidkänsla</u>, möjligt att "glida" på vattenytan</td> </tr> <tr> <td>rangordning</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> |   |  | 2400 mm | 3000 mm | Glid | Mer volym under vattenytan som leder till mer <u>motstånd</u> | Glider bättre, mindre volym under vattenytan | Stabilitet | relativt stabila | Stabilare, känns tryggare att stå på | Smidighet | medel | något sämre än medel | <u>Skidkänsla</u> | Begränsad <u>skidkänsla</u> , mindre glid, mer av att man gräver ner sig i vattnet. | Mer <u>skidkänsla</u> , möjligt att "glida" på vattenytan | rangordning | 2 | 1 |
|                     | 2400 mm  | 3000 mm   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| Glid                | Mer volym under vattenytan som leder till mer <u>motstånd</u>  | Glider bättre, mindre volym under vattenytan              |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| Stabilitet          | relativt stabila   | Stabilare, känns tryggare att stå på                      |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| Smidighet           | medel  | något sämre än medel                                      |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| <u>Skidkänsla</u>   | Begränsad <u>skidkänsla</u> , mindre glid, mer av att man gräver ner sig i vattnet.  | Mer <u>skidkänsla</u> , möjligt att "glida" på vattenytan |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| rangordning         | 2  | 1   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |
| <i>Utvärdering:</i> | <p>Den längre skidan var krångligare att hantera utanför vattnet, svårare att bära och tog mycket mer plats. I vattnet fick den längre vattenlinje och mindre volym under vattenytan vilket gjorde att den hade mindre motstånd än den kortare skidan. Den långa skidan var också stabilare men något mindre smidig eftersom den är så mycket större. Båda fungerar <u>väl</u> <u>storlek</u> och viktmassigt. Det är oklart om 3000 mm är <u>det optimala</u> eller om de hade kunnat vara ännu längre. 3000 mm skidorna presterade bäst i det här testet.</p> <p>Ny krav kring <u>fotplaceringen</u></p>   |   |  |         |         |      |   |  |            |                  |                                      |           |       |                      |                   |   |   |             |   |   |

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Test 7:</b>      | <b>Kapsejsning</b>  |
| <i>Typ:</i>         | Full skala, fysiskt   |
| <i>Kategori:</i>    | Övrigt (Säkerhet)   |
| <i>Syfte:</i>       | Testa möjligheten att ta sig upp på skidorna vid kapsejsning  |
| <i>Beskrivning:</i> | Platta skidor. Försök att ta sig upp på skidorna utan några extra hjälpmedel.   |
| <i>Resultat:</i>    | Möjligt men utmanande. Kräver god styrka i bål och armar.   |
| <i>Utvärdering:</i> | <p>Måns fick testa sig fram för en någorlunda bra teknik. Det som verkade vara mest effektivt var att stå mellan skidorna och hålla med händerna i fotsulorna. Därefter kunde man slänga upp benen på var sin skida och häva sig upp. Med lite träning kan detta vara en bra teknik, och tog mindre än en minut. Däremot hade man kunnat effektivisera detta och göra det lättare med någon delfunktion. Att ta sig upp och få med sig stavarna testades inte.</p> <p>I nuläget prioriteras inte vidare utveckling.</p> |

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Test 8:</b>      | Pjäxor   |
| <i>Typ:</i>         | Full skala, fysiskt  |
| <i>Kategori:</i>    | Stabilitet   |
| <i>Syfte:</i>       | Testa om <u>pjäxor</u> har en påverkan på stabiliteten   |
| <i>Beskrivning:</i> | "Pjäxor" tillverkades i prototypplattet av bockad plåt och ett par stövlar. De monterades sedan på skidorna.   |
| <i>Resultat:</i>    | Gav bättre stabilitet.   |
| <i>Utvärdering:</i> | Pjäxan var svår att utforma vilket gjorde att prototypen inte <u>presterade</u> optimalt, till exempel var det svårt att få ner fötterna och den lossnade med jämna mellanrum.<br>Men konceptet med pjäxor kunde ändå valideras. Resultatet av testet ger trots allt stöd åt att en vidareutvecklad pjäxa skulle ha mycket god inverkan på stabilitet och kontroll. Någon typ av säkerhetslösning för att "lösa ut" om man skulle kapsejsa måste implementeras i samband med pjäxor. |

## Bilaga C

| <b>Huvudfunktion</b>       | <b>Beskrivning</b>  |
|----------------------------|---|
| Medge skidåkning på vatten | Användaren ska kunna förflytta sig på vatten i ett upprätt stående läge, på ett sätt som liknar längdskidåkning på snö. |

| <b>Delfunktioner</b>   | <b>Beskrivning</b>   |
|--|--|
| <b>Kraftöverföring</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Överföra kraft</li><li>- Omvandla kraft</li><li>- Medge glid</li><li>- Medge fäste</li><li>- Medge styrning</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Användaren ska kunna överföra kraft till produkten.</li><li>- Produkten ska omvandla kraften från användaren till rörelse framåt.</li><li>- Produkten ska kunna glida framåt.</li><li>- Produkten ska skapa fäste bakåt.</li><li>- Produkten ska kunna styras av användaren.</li></ul> |
| <b>Stabilitet och flytförmåga</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Tillhandahålla stabilitet</li><li>- Möjliggöra flytbarhet</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Produkten ska vara stabil i vattnet (se definition av stabil).</li><li>- Produkten ska flyta med sin egen vikt + användarens vikt.</li></ul>   |
| <b>Känsla</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Efterlikna längdskidåkning</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Produkten ska göra det möjligt att efterlikna längdskidåkning på snö, fast på vatten.</li></ul>  |

| <b>Stödfunktioner</b>  | <b>Beskrivning</b>  |
|--|---|
| <b>Ergonomi och säkerhet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Medge säker användning</li><li>- Fallning</li><li>- Medge ergonomisk användning</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Produkten ska kunna användas på ett säkert sätt.</li><li>- Användaren ska kunna falla i vattnet på ett säkert sätt.</li><li>- Produkten ska inte försätta användaren i skadliga kroppspositioner eller slita naturligt mycket på användarens kropp.</li></ul>   |
| <b>Konstruktion, tillverkning</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Möjliggöra effektiv tillverkning</li><li>- Tåla användning saltvatten</li><li>- sötvatten</li><li>- Medge användning i den tänkta miljön</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Produkten ska vara enkel att tillverka på ett sådant sätt att till exempel form anpassas till tillverkningsmetod.</li><li>- Tåla användning över lång tid.</li><li>- Tåla användning i saltvatten.</li><li>- Tåla användning i sötvatten.</li><li>- Produkten ska vara konstruerad på ett sådant sätt att den kan användas i vatten med begränsat djup.</li></ul> |
| <b>Transport och hantering</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Möjliggöra transport</li><li>- Möjliggöra sjösättning</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Användaren ska kunna transportera produkten.</li><li>- Användaren ska kunna lägga i och ta ur produkten ur vattnet utan hjälpmedel.</li></ul>   |
| <b>Utseende</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Uttrycka sportighet</li><li>- Uttrycka prestanda</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Produkten ska uttrycka sportighet.</li><li>- Produkten ska uttrycka att den har hög prestanda.</li></ul>  |

# Bilaga D

Kravspecifikation Kandidatarbete - Skidor på vatten

IMSX16-24-08 Skapad: 2024-02-13

Modifierad: 2024-04-17

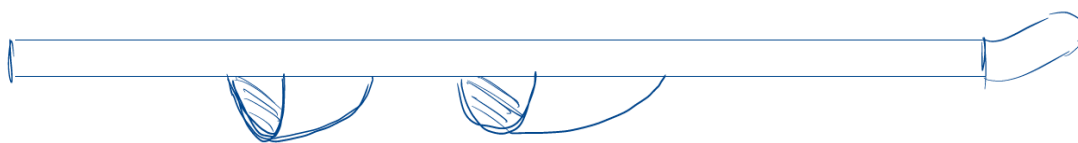
| Kriterier                                       | Mål   | Målvärde  | K/Ö              | Vikt | Verifieringsmetod   |
|---|---|---|------------------|------|---|
| <b>Funktioner</b>                               |   |   |                  |      |   |
| Omvandla kraft till hastighet                   | Produkten ska kunna omvandla den överförda kraften till hastighet   | -   | K                |      | Göra ett test där skidorna dras av en dynamometer för att mäta kraften framåt och bakåt. Testa åka på vattnet; se om man åker framåt mer än |
| Flytförmåga i vatten                            | Produkten och användaren ska kunna flyta under användning   | ≤ 85 kg   | K                |      | Beräkningar, samt test av prototyp med användare  |
| Styrning  | Produkten skall kunna styras under användning   | -   | Ö                | 5    | Fysiskt test  |
| Stabilitet                                      | Användaren ska ha en god stabilitet så att fokus kan läggas på framdrift  | -   | Ö                | 4    | Fysiskt test  |
| Överföra kraft                                  | Produkten ska kunna överföra kraft från användaren till produkten   | -   | K                |      | Fysiskt test med prototyp   |
| <b>1. Prestanda</b>                             |   |   |                  |      |   |
| 1.1 Framdrift hastighet                         | Produkten skall kunna uppnå en viss medelhastighet vid användning   | 7 km/h  | Ö                | 5    | Mäta hur lång tid det tar att komma en viss sträcka (5 meter)   |
| 1.2 Styrning                                    | Produkten skall kunna styras ett visst antal grader under en viss tid   | 180 grader/ 30s   | Ö                | 4    | Fysiskt test där man tar tiden som krävs för att svänga 180 grader  |
| 1.3 Stabilitet                                  | Produkten ska vara stabil i förhållande till förutbestämde definition av stabilitet*  | -   | Ö                | 1    | Fysiskt test där man utvärderar stabiliteten  |
| <b>2. Miljö</b>                                 |   |   |                  |      |   |
| 2.1 Material                                    | Materialen som produkten består av ska ha så låg påverkan på miljön som möjligt   | -   | Ö                | 2    | Fakta   |
| <b>3. Livslängd</b>                             |   |   |                  |      |   |
| 3.1 Livslängd                                   | Produkten ska hålla utan lagningar  | 10 år   | K                |      | Beräkningar och framtidsanalyser  |
| <b>4. Storlek</b>                               |   |   |                  |      |   |
| 4.1 Längd                                       | Längden ska inte förhindra möjlighet till transport   | ≤ 3m  | K                |      | Mäta längden med måttband eller liknande  |
| 4.2 Bredd                                       | Bredden får inte vara bredare än att användaren ska kunna stå rakt utan att slå i skidorna i varandra                             | ≤ 0,6m per skida  | K                |      | Mäta längden med måttband eller liknande och fysiskt test   |
| 4.3 Höjd  | Höjden på skrovet måste vara tillräckligt för att hålla ovsidan av skidorna över vattenytan med en användare på med massan <85 kg | ≤ 0,25 m  | K                |      | Fysiskt test och beräkningar  |
| 4.4 Tillåten nedsjunkning                       | Nedsjunkning för produkten får inte överstiga målvärdet för en användare som har massan <85 kg                                    | < skrovhöjd + klafflängd  | K                |      | Mätning   |
| <b>5. Massa</b>                                 |   |   |                  |      |   |
| 5.1 Massa                                       | Produktens massa får inte överskrida den gräns så att kravet på "Flytning på vattnet" omöjliggörs                                 | -   | K                |      | Beräkning   |
|   | Förflytning   | Massan bör göra det möjligt för användaren att transportera produkten | < 6 kg per skida | Ö    | 3 Fysiskt test  |
| <b>6. Ergonomi</b>                              |   |   |                  |      |   |
| 6.1 Fysisk ergonomi                             | Produkten skall inte utgöra en skaderisk ur ett ergonomiskt perspektiv vid normal användning                                      | -   | Ö                | 4    | Bedömning av om hållning och rörelse görs på ett ergonomiskt sätt   |
| 6.2 Maximal fotbredd                            | Det får inte vara för långt mellan fötterna.  | 0,4m C-C  | K                |      |   |
| <b>7. Säkerhet</b>                              |   |   |                  |      |   |
| 7.1 Frånkoppling efter fall                     | Användaren måste kunna ta sig loss från produkten vid kapsejsning   | < 10 s  | K                |      | Fysiskt test under säkra omständigheter   |
| 7.2 Försättning vid fall                        | Användaren måste kunna ta sig upp på skidorna igen från vattnet   | < 5 min   | K                |      | Fysiskt test under säkra omständigheter   |
| <b>8. Material</b>                              |   |   |                  |      |   |
| 8.1 Styvhet                                     | Materialiet måste vara tillräckligt styvt för att inte böjas med användaren på  | < 5 cm utböjning  | K                |      | Beräkning   |
| 8.2 Korrosion                                   | Materialen ska kunna motstå både söt och saltvatten   | -   | K                |      | Användning av material som är beständiga emot saltvatten  |
| <b>9. Kvalitet, tillförlitlighet, underhåll</b> |   |   |                  |      |   |
| 9.1 Serviceintervall                            | Undvika större åtgärder mellan användningstillfällen  | -   | Ö                | 4    | Se om åtgärd behövs mellan användningar   |
| <b>10. Inköps-/tillverkningskostnader</b>       |   |   |                  |      |   |
| 10.1 Tillverkningskostnad                       | Tillverkningen ska hållas relevant för kraven   | < 3000 kr   | Ö                | 3    | Beräkning av estimerade kostnader   |
| 10.2 Materialkostnader                          | Materialkostnaderna ska hållas relevanta för kraven   | < 1500 kr   | Ö                | 3    | Beräkning av estimerade kostnader   |
| <b>11. Drift</b>                                |   |   |                  |      |   |
| 11.1 Stavar                                     | Produkten ska fungera utan stavar   | -   | Ö                | 1    | Fysiska tester  |
| 11.2 Elektronik                                 | Produkten ska inte använda sig av elektronik  | -   | K                |      |   |
| <b>12. Återvinning</b>                          |   |   |                  |      |   |
| 12.1 Återanvändning, Återvinning                | Om produkten är av olika material ska det vara enkelt att demontera för återvinning eller återanvändning                          | -   | Ö                | 3    | Fysiskt test  |
| <b>13. Utseende</b>                             |   |   |                  |      |   |
| 13.1 Sportighet                                 | Produkten ska uppfattas som sportig   | -   | Ö                | 5    | Fråga användare   |
| 13.2 Prestanda                                  | Produkten ska uppfattas som högpresterande  | -   | Ö                | 5    | Fråga användare   |

# Bilaga E

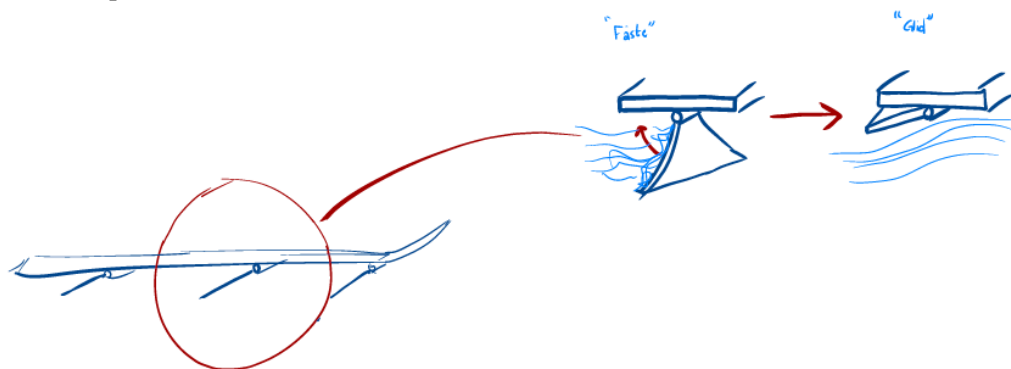
## Konceptkatalog

### Framdrift

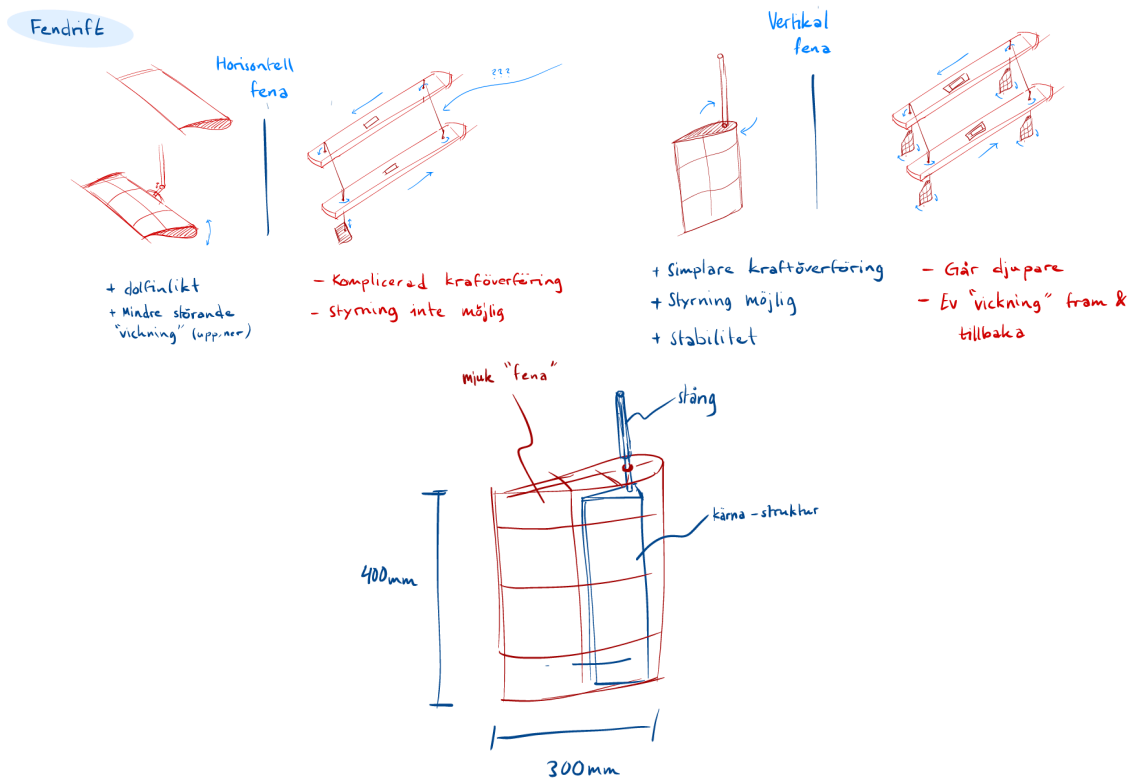
- Inget på undersidan
- Skopor på undersidan:



- Klaffar på undersidan:



- Fena på undersidan:



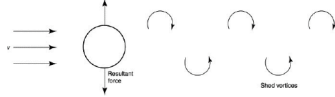
# Fiskdrift

Teori:

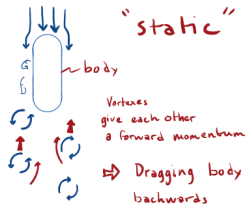
"Von Karman Vortex Street"

länk

<https://www.scienceDirect.com/topics/physics-and-astronomy/karman-vortex-street>

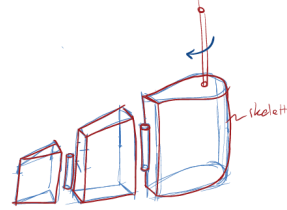
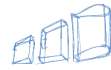
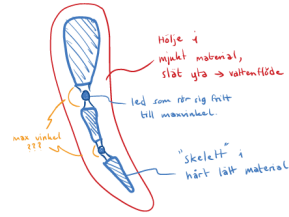


Varför fiskar simmar så fort:



<https://youtu.be/wYDh5d2pfu8?si=XqcYXaafx7ih6RBr>

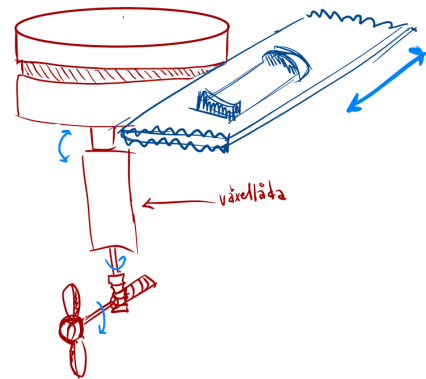
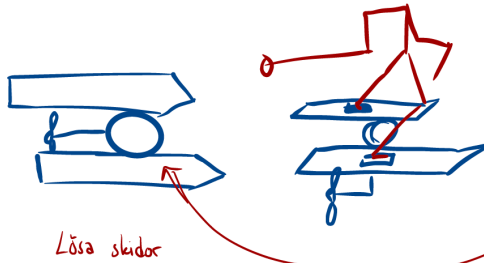
länk



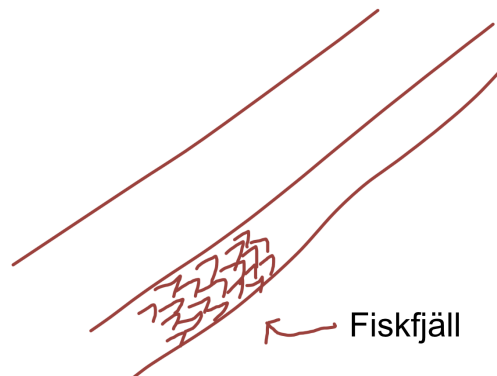
Silvertejp +

- Propeller (manuellt driven):

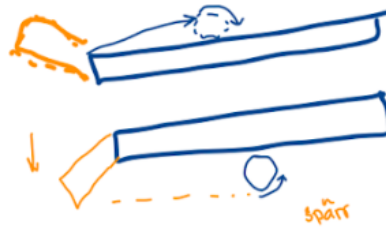
Propeller - inte "fäste" & "glid", endast framdrift



- Ytstruktur (fiskfjäll eller liknande):

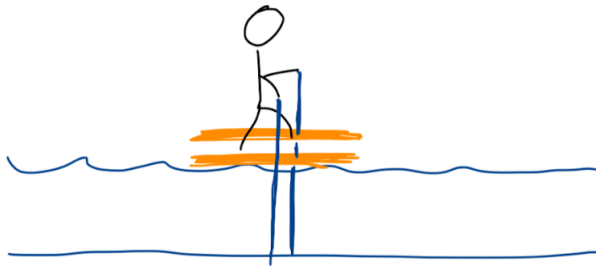


- Plask-klaff:

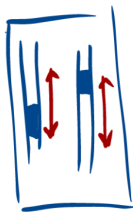
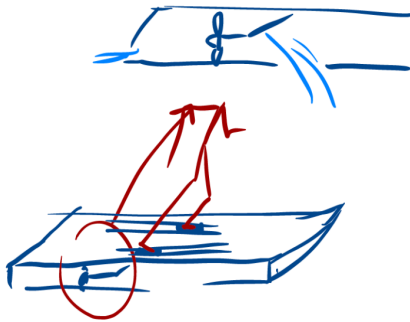


drar upp  
den i varje  
bentag och  
lossnar när  
hjulet byter  
riktning

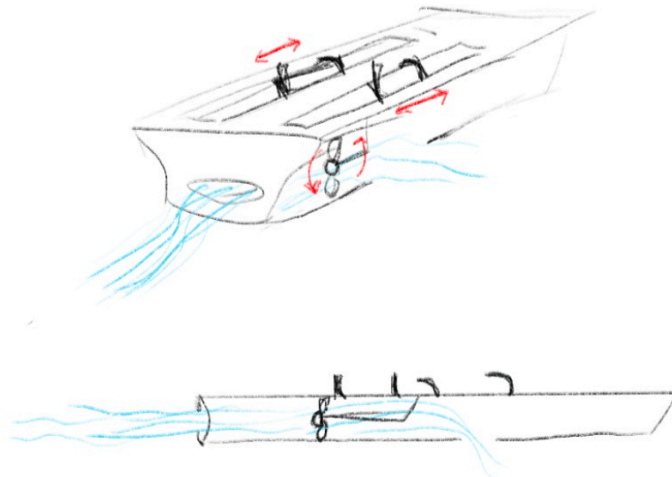
- Stavar mot havsbotten:



- Mekanisk water-jet (manuellt driven):

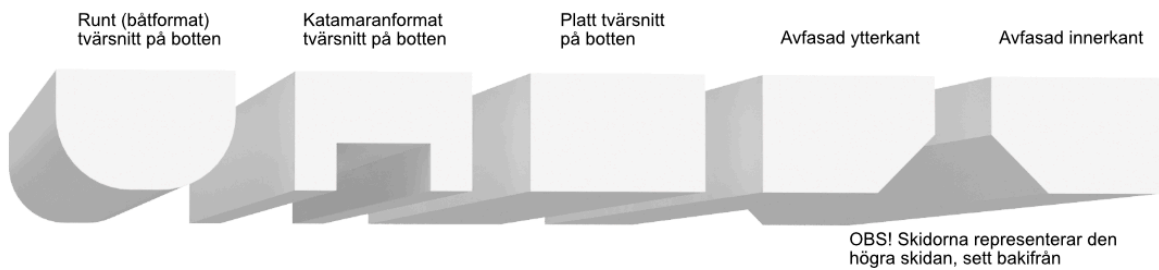


Fötternas rörelse  
fram & tillbaka  
genererar  
framdrift

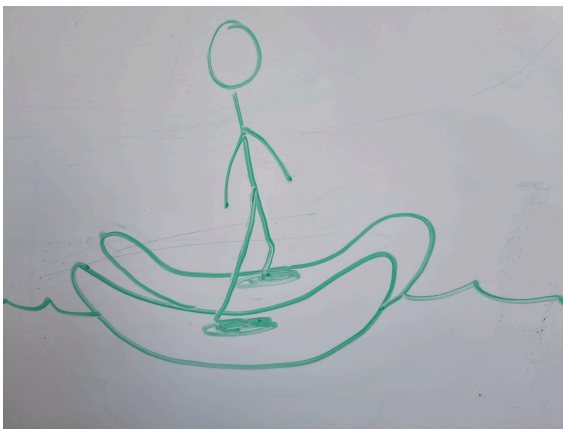


## Skrovform - Botten

- Avrundad, katamaranformat och platt botten samt avfasad ytterkant och innerkant:



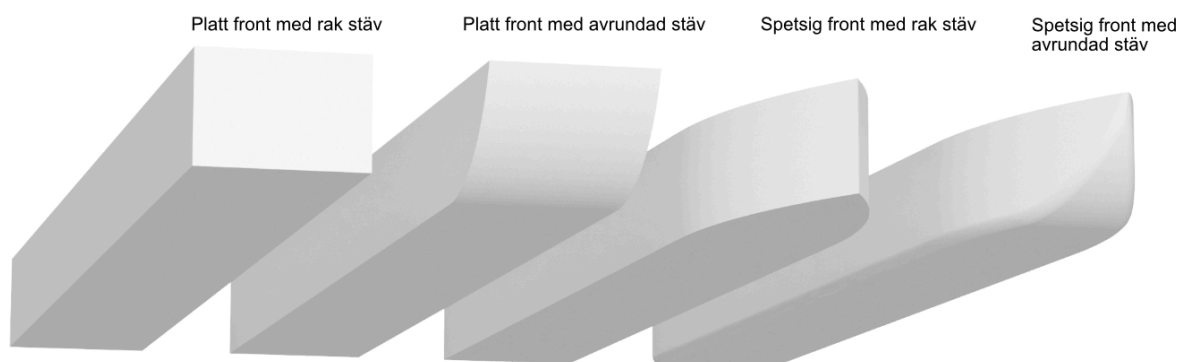
- Bananform:



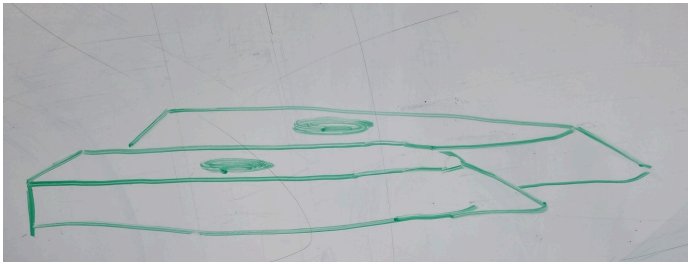
- Eric Solbus form (OBS! Inkluderas ej på grund av sekretessavtal)

## Skrovform - För (front)

- Kombinationer på förer med platt eller spetsig front och rak eller rundad stäv:

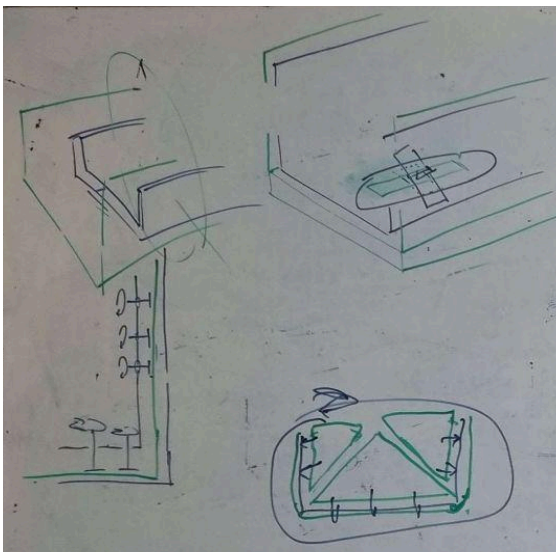


- Negativ stäv:



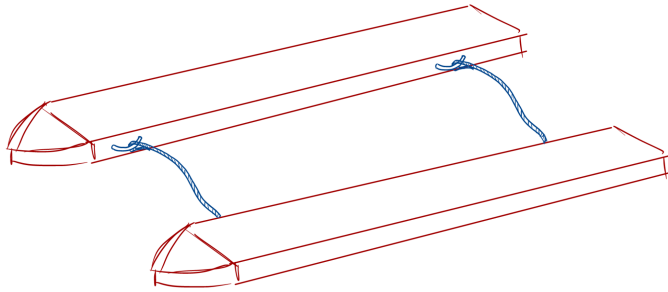
## Skrovform - Längd

- 150 cm
- 240 cm
- 300 cm
- 400 cm
- Modifierbar längd. Några koncept på sammanfogning av delar:



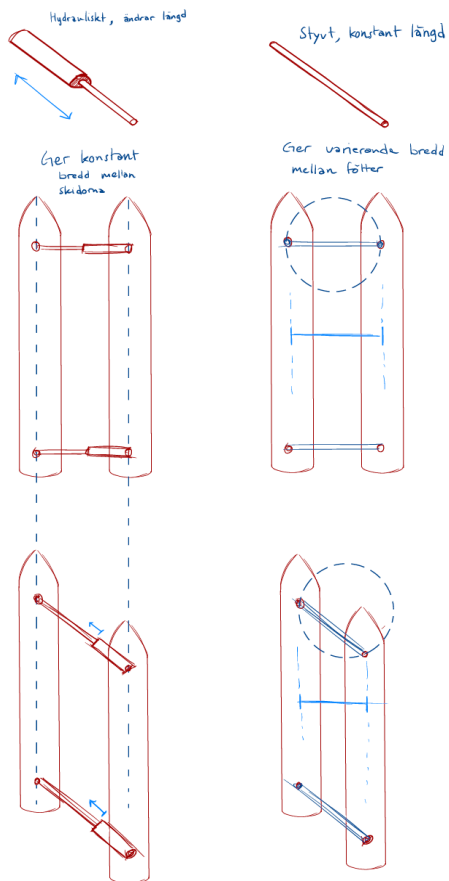
# Stabilitetsspecifika koncept

- Iophållda skidor med snöre:



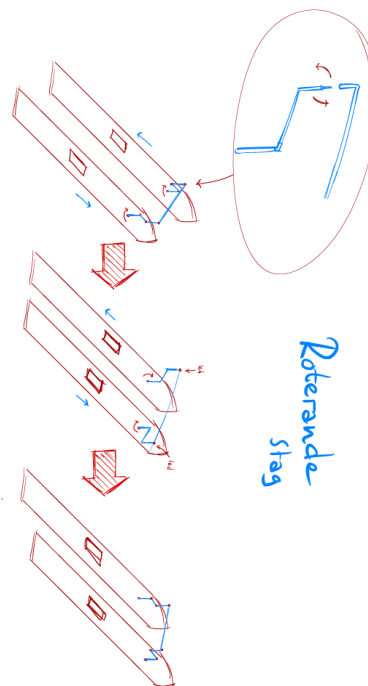
- Iophållda skidor med stag:

Stag?

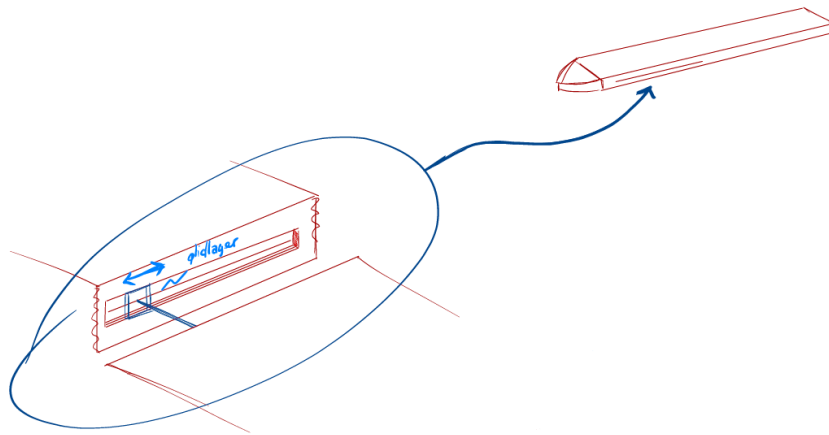


Till Designbeslut

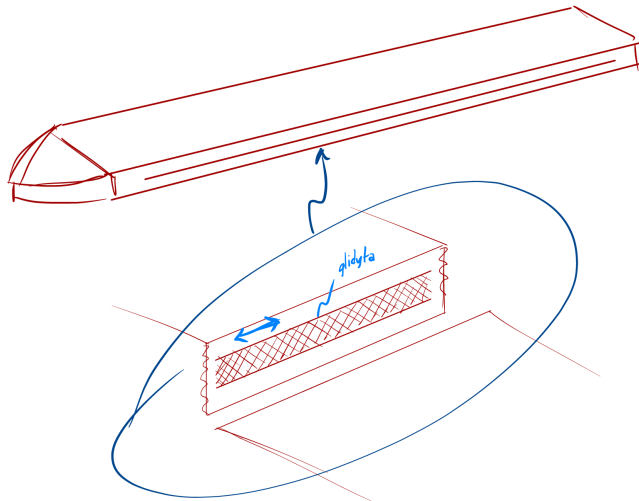
1. Konstant bredd mellan fötterna?
2. Hur störande är det att röra fötterna i cirkel?



- Iophållda skidor med skena:



- Skidor som kan glida mot varandra:



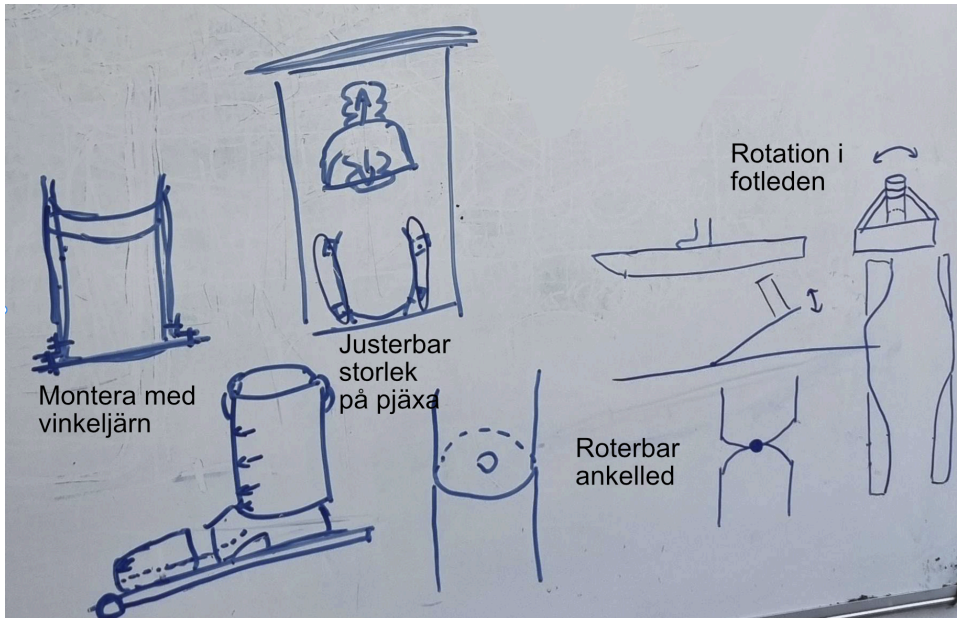
- Gåstol:



- Handtag:

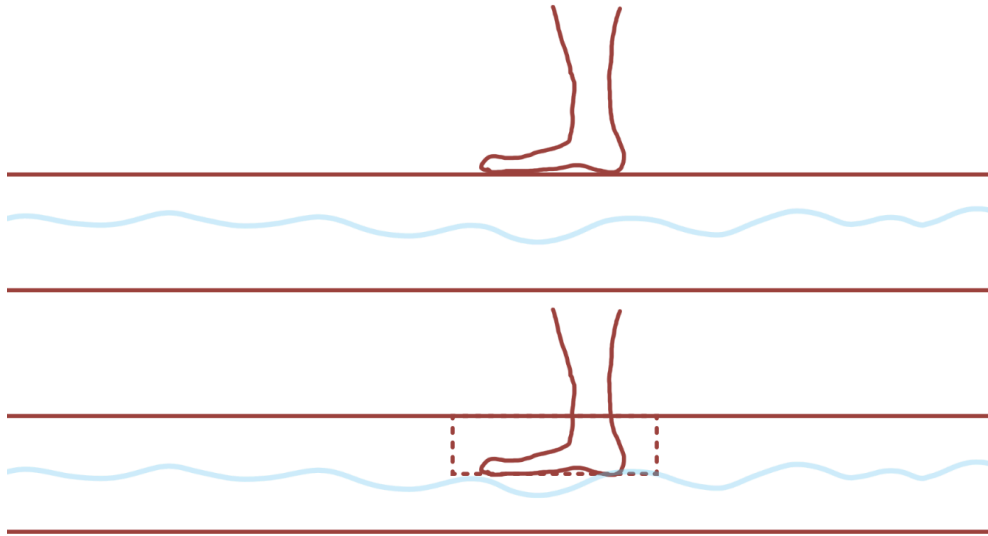


- Pjäxa:



## Fotplacering

- Fötterna på respektive i en urgröpfung i skidan:



- Fotplaceringen förutom i mitten även framtill och baktill längs skidan

## Bilaga F

Elimineringsmatriser:

| Koncept                      | Kriterium  |         |             |      |          |          |                      |           |        |   | Vidare? | Kommentarer |
|------------------------------|------------|---------|-------------|------|----------|----------|----------------------|-----------|--------|---|---------|-------------|
|                              | Stabilitet | Styhhet | Komplexitet | Glid | Ergonomi | Styrning | Tillverkningskostnad | Transport | Känsla |   |         |             |
| <b>Bottenform</b>            |            |         |             |      |          |          |                      |           |        |   |         |             |
| Platt botten                 | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Katamaranformad botten       | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Rund botten                  | ?          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Avfasad utsida               | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Avfasad insida               | +          | +       | +           | +    | -        |          |                      |           |        |   |         | Ja          |
| Bananform                    | ?          | +       | -           |      |          |          |                      |           |        |   |         |             |
| Eric's form                  | +          | +       | -           |      |          |          |                      |           |        |   |         | Nej         |
| <b>Front</b>                 |            |         |             |      |          |          |                      |           |        |   |         |             |
| Platt front                  | +          | +       | +           | ?    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Spetsig front, rak stäv      | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Spetsig front, avrundad stäv | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Platt front, avrundad stäv   | +          | +       | +           | ?    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| Negativ front                | +          | +       | +           | -    |          |          |                      |           |        |   |         | Nej         |
| <b>Längd</b>                 |            |         |             |      |          |          |                      |           |        |   |         |             |
| 100cm                        | +          | +       | +           | -    |          |          |                      |           |        |   |         | Nej         |
| 240cm                        | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | +      | + | +       | Ja          |
| 300cm                        | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | ?      | + | +       | Ja          |
| 400cm                        | +          | +       | +           | +    | +        | +        | +                    | +         | -      |   |         | Nej         |
| Modifierbar längd            | +          | ?       | ?           | +    | +        | +        | ?                    | +         | +      | + | +       | Ja          |

| Koncept                               | Kriterium       |             |      |          |          |          |                      |           |        |     | Vidare? | Kommentarer   |
|---------------------------------------|-----------------|-------------|------|----------|----------|----------|----------------------|-----------|--------|-----|---------|---|
|                                       | Fäste/Framdrift | Komplexitet | Glid | Ergonomi | Säkerhet | Styrning | Tillverkningskostnad | Transport | Känsla |     |         |   |
| <b>Framdrifts mekanism</b>            |                 |             |      |          |          |          |                      |           |        |     |         |   |
| Inget på undersidan                   | -               |             |      |          |          |          |                      |           |        |     |         | Nej   |
| Skopor på undersidan                  | +               | +           | +    | +        | +        | +        | +                    | +         | +      | +   | +       | Ja  |
| Klaffar på undersidan                 | +               | +           | +    | +        | ?        | +        | +                    | +         | +      | +   | +       | Ja  |
| Fena på undersidan                    | +               | +           | +    | +        | +        | +        | -                    |           |        |     |         | Nej   |
| Propeller (manuellt driven)           | +               | -           |      |          |          |          |                      |           |        |     |         | Nej   |
| Ytstruktur (fiskfjäll eller liknande) | +               | -           |      |          |          |          |                      |           |        |     |         | Nej   |
| Plask-klaff                           | ?               | -           |      |          |          |          |                      |           |        |     |         | Nej   |
| Stavar mot havsbotten                 | +               | +           | +    | +        | +        | +        | +                    | +         | ?      | Nej |         | Begränsar produkten för mycket med avseende på djupet |
| Mekanisk water-jet (manuellt driven)  | +               | -           |      |          |          |          |                      |           |        | Nej |         |   |

| Koncept                                  |             |          |          |          |                      |           |        | Vidare? | Kommentarer             |
|--|-------------|----------|----------|----------|----------------------|-----------|--------|---------|-------------------------|
|  | Komplexitet | Ergonomi | Säkerhet | Styrning | Tillverkningskostnad | Transport | Känsla |         |                         |
| <b>Stabilitetsspecifika koncept</b>      |             |          |          |          |                      |           |        |         |                         |
| Ihophållda skidor snöre                  | +           | +        | +        | +        | +                    | +         | +      | Ja      |                         |
| Ihophållda skidor med stag               | +           | +        | +        | -        |                      |           |        | Nej     |                         |
| Ihophållda skidor med skena              | +           | +        | +        | +        | -                    |           |        | Nej     |                         |
| Skidor som kan glida mot varandra        | +           | +        |          | +        | +                    | +         | +      | Ja      |                         |
| Handtag                                  | +           | +        | +        | -        |                      |           |        | Nej     | leder till inga stavar  |
| Gåstol                                   | +           | +        | +        | -        |                      |           |        | Nej     | Kan vara ett komplement |
| Pjäxa                                    | +           | +        | +        | +        | +                    | +         | +      | Ja      |                         |
| <b>Fotplacering</b>                      |             |          |          |          |                      |           |        |         |                         |
| Fötterna på skidorna                     | +           | +        | +        | +        | +                    | +         | +      | Ja      |                         |
| Fotfäste i urgröpning i mitten av skidan | +           | +        | +        | +        | +                    | +         | +      | Ja      |                         |
| Fotfäste i urgröpning framtill på skidan | +           | +        | +        | +        | +                    | +         | -      | Nej     |                         |
| Fotfäste i urgröpning baktill på skidan  | +           | +        | +        | +        | +                    | +         | +      | Ja      |                         |

# Bilaga G

| Uppfylld av kravspecifikation   |  |                  |     |   |                            |         |                             |
|---------------------------------|--|------------------|-----|---|----------------------------|---------|-----------------------------|
| IMXS16-24-08 Skapad: 2024-04-24 |  |                  |     |   |                            |         |                             |
| Modifierad: 2024-05-10          |  |                  |     |   |                            |         |                             |
| Kriterier                       | Mål  | Målvärde         | K/Ö | Verifieringsmetod   | Verkligt värde             | Godkänt | Kommentar                   |
| Omvandla kraft till hastighet   | Produkten ska kunna omvandla den överförda kraften till hastighet  | -                | K   | Testa åka på vattnet; se om man åker framåt mer än bakåt  | -                          | Godkänt |                             |
| Flytförmåga i vatten            | Produkten och användaren ska kunna flyta under användning  | 85 kg            | K   | Beräkningar, samt se om produkten, med användare, håller sig ovanför vattenytan   | 85kg                       | Godkänt |                             |
| Styrning                        | Produkten skall kunna styras under användning  | -                | Ö   | Se om användaren kan styra produkten på vattnet   | -                          | Godkänt |                             |
| Stabilitet                      | Användaren ska ha en god stabilitet så att fokus kan läggas på framdrift   | -                | Ö   | Se om användaren kan hålla balansen samtidigt som den försöker röra sig framåt på produkten   | -                          | Godkänt |                             |
| Överföra kraft                  | Produkten ska kunna överföra kraft från användaren till produkten  | -                | K   | Se om användaren kan, med hjälp av fysiska rörelser, få produkten att röra sig  | -                          | Godkänt |                             |
| Framdrift hastighet             | Produkten skall kunna uppnå en viss medelhastighet vid användning  | 7 km/h           | Ö   | Mäta hur lång tid det tar att komma en viss sträcka genom att markera två punkter och notera tiden det tar för användaren att röra sig från första till andra punkten. I detta ska inte uppstarten tas med utan vid första punkten bör användaren ha uppnått en jämn hastighet som sedan ska hållas till andra punkten.   | 3 km/h                     | U       |                             |
| Styrning                        | Produkten skall kunna styras ett visst antal grader under en viss tid  | 180 grader/ 30s  | Ö   | Fysiskt test där det noteras hur lång tid det tar för användaren att svänga 180 grader. Detta utförs med och utan en initial hastighet framåt för att se om det är möjligt för båda fallen. En startpunkt och en slutpunkt kommer att markeras för att säkerställa att det blir 180 grader.   | 18.9s                      | Godkänt |                             |
| Stabilitet                      | Produkten ska vara stabil i förhållande till förutbestämd definition av stabilitet                                       | -                | Ö   | Fysiskt test där användaren och observatörer analyserar stabiliteten vid användning av produkten.   | -                          | Godkänt |                             |
| Miljö - material                | Materialen som produkten består av ska ha så låg påverkan på miljön som möjligt  | -                | Ö   | Fakta   | -                          | -       | Önskemål för färdig produkt |
| Livslängd                       | Produkten ska hålla utan lagningar   | 10 år            | K   | Beräkningar och framtidsanalys  | -                          | -       | Krav för färdig produkt     |
| Längd                           | Längden ska inte förhindra möjlighet till transport  | ≤ 3m             | K   | Fysiskt test genom att transportera produkten för hand men även med hjälp av transportmedel så som bil och släpvagn. Även längden bör mätas.  | 3m                         | Godkänt |                             |
| Bredd                           | Bredden får inte vara bredare än att användaren ska kunna stå rakt utan att slå i skidorna i varandra                    | ≤ 0,6m per skida | K   | Mäta längden. Det ska även undersökas hur användaren står under användning och om skidorna slår i varandra.   | 0,3m                       | Godkänt |                             |
| Tjocklek                        | Tjockleken på skrovet måste vara tillräckligt tjock för att hålla ovasidan av skidorna över vattenytan med användaren på | -                | K   | Beräkningar och sedan undersöka om ovasidan av skidorna är ovanför vattenytan vid användning  | -                          | Godkänt |                             |
| Djup                            | Djupet för hela produkten får inte vara för stort  | 0,5m             | K   | Mäta men även utföra fysiskt test för att se om produkten är för djup. Detta vid användning och transport.  | 0,35m                      | Godkänt |                             |
| Massa                           | Produktens massa får inte överskrida den gräns så att kravet på "Flytning på vattnet" omöjliggörs                        | -                | K   | Beräkning och fysiskt test med analys om produkten flyter.  | -                          | Godkänt |                             |
| Förflyttning                    | Massan bör göra det möjligt för användaren att transportera produkten  | <6kg per skida   | Ö   | Fysiskt test genom att transportera produkten för hand men även med hjälp av transportmedel så som bil och släpvagn. Även dess vikt bör vägas.  | 10,8kg per skida           | U       |                             |
| Fysisk ergonomi                 | Produkten skall inte utgöra en skaderisk ur ett ergonomiskt perspektiv vid normal användning                             | -                | Ö   | Bedömning av om hållning och rörelse görs på ett ergonomiskt sätt, detta utförs av användaren och observatörer.   | -                          | Godkänt |                             |
| Maximal fotbredd                | Det får inte vara för långt mellan fötterna.   | 0,4m C-C         | K   | Mäta och undersökas hur användaren står under användning.   | 0,3m                       | Godkänt |                             |
| Frånkoppling efter fall         | Användaren måste kunna ta sig loss från produkten vid kapsejsning  | <10s             | K   | Fysiskt test som först utförs på land för att se om användaren kan ta sig loss under satt tid. För detta används tidtagarur. Om det testet blir godkänt så utförs sedan ett test i vattnet där testpersonen ska efterlikna kapsejsning. Under det testet ska säkerhetsåtgärder följas så som att fler ska befinna sig i vattnet för att kunna hjälpa till om något inte går som det ska. Testgruppen kommer även att, innan testet, grundligt gå igenom hur testet ska gå till och vad alla ska göra vid eventuell olycka. Om testet går som det ska så ska tidtagarur användas för att notera tiden. | -                          | U       |                             |
| Fortsättning vid fall           | Användaren måste kunna ta sig upp på skidorna igen från vattnet  | <5min            | K   | Fysiskt test under säkra omständigheter där testpersonen ska efterlikna kapsejsning och efter det ta sig upp på skidorna igen. Tiden ska noteras från det att testpersonen befinner sig i vattnet tills dess att den står på skidorna.  | 17s                        | Godkänt |                             |
| Styvhet                         | Materialet måste vara tillräckligt styvt för att inte böjas med användaren på  | <5cm utböjning   | K   | Beräkning och fysiskt test där utböjningen mäts.  | ej mätbar (liten skillnad) | Godkänt |                             |
| Korrosion                       | Materialen ska kunna motstå både söt- och saltvatten   | -                | K   | Fakta om de material som används. Faktan bör ta reda på ifall materialen är beständiga emot söt- och saltvatten   | -                          | -       | Krav för färdig produkt     |
| Serviceintervall                | Undvika större åtgärder mellan användningstillfällena  | -                | Ö   | Se om åtgärd behövs mellan användningar   | -                          | Godkänt | Inga större åtgärder krävs  |
| Tillverkningskostnad            | Tillverkningen ska hållas relevant för kraven  | < 3000 kr        | Ö   | Beräkning av estimerade kostnader   | -                          | -       | Önskemål för färdig produkt |
| Materialkostnader               | Materialkostnaderna ska hållas relevanta för kraven  | < 1500 kr        | Ö   | Beräkning av estimerade kostnader   | -                          | -       | Önskemål för färdig produkt |
| Stavar                          | Produkten ska fungera utan stavar  | -                | Ö   | Fysiskt test där testpersonen använder produkten utan stavar. Det bör vara så nära den tidigare prestandan som möjligt.   | -                          | Godkänt |                             |
| Elektronik                      | Produkten ska inte använda sig av elektronik   | -                | K   | -   | -                          | Godkänt |                             |
| Ateranvändning, Återvinning     | Om produkten är av olika material ska det vara enkelt att demontera för återvinning eller återanvändning                 | -                | Ö   | Fysiskt test där demontering genomförs, det kan även ske genom logiskt tänkande   | -                          | -       | Önskemål för färdig produkt |
| Sportighet                      | Produkten ska uppfattas som sportig  | -                | Ö   | Subjektiv bedömning av individer med koppling till projektet. Även stickprov på utomstående kan genomföras.   | -                          | Godkänt |                             |
| Prestanda                       | Produkten ska uppfattas som högpresterande   | -                | Ö   | Subjektiv bedömning av individer med koppling till projektet och andra möjliga observatörer   | -                          | U       |                             |

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

IMSX16-VT24-08

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**