



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Utveckling av handkontroll till motoriserad surfbräda

Examensarbete inom design och produktutveckling under våren 2018

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet design och produktutveckling

GUSTAV BERGENDAHL & FREDRIK ENGELBREKTSSON

Förord

Detta produktutvecklingsprojekt är ett examensarbete utfört på Chalmers tekniska högskola av två studenter studerandes på högskoleingenjörsprogrammet design- och produktutveckling. Arbetet utfördes under vårterminen 2018 och omfattar 15 högskolepoäng.

Vi vill framförallt tacka Torped AB för möjligheten att utveckla en ny och spännande produkt, för vägledning och insyn i en spännande bransch.

Vidare vill vi även tacka vår handledare Olof Wranne för rådgivning och stöd under projektet.

Ytterligare ett stort tack riktas till de som deltagit i utvärderingar och intervjuer.

Göteborg, 2018-05-21

Gustav Bergendahl & Fredrik Engelbrektsson

Sammanfattning

Detta arbete behandlar produktutveckling av en handkontroll tillhörande en motoriserad surfbräda. Projektet utfördes på uppdrag av Torped AB, ett företag med ambition att lansera en motoriserad surfbräda för kommersiellt bruk. I nuläget har företaget en funktionsduglig prototyp av handkontrollen där ergonomi och tillverkning inte tagits i beaktning.

Syftet med detta arbete var att undersöka vilka krav som ställs på denna typ av handkontroll gällande ergonomi och tillverkning.

Målet med arbetet var att ta fram ett konceptförslag gällande handkontroll till motoriserad surfbräda med användaren och tillverkningsmetod i åtanke. Arbetet omfattade enbart handkontrollen och till viss del tillhörande stödlina.

Arbetet har genomförts med sin grund i en traditionell produktutvecklingsprocess med vissa nyare metoder inkluderade. Projektet inleddes med en informationsinsamling där information samlades in via intervju, konkurrentanalys samt ergonomisk efterforskning.

Denna information låg sedan till grund för idégenereringsprocessen där metoder som moodboard, brainstorming och brainwriting användes för att skapa olika funktionslösningar som sedan kombinerades till ett antal olika koncept med hjälp av en morfologisk matris.

Ett antal utvärderingsmetoder så som PUGH-matris, modellering samt reversed engineering har sedan använts som hjälpmedel för att systematiskt komma fram till ett slutgiltigt koncept. Vidare har konceptet realiserats genom detalj- och mekanisk konstruktion där krav från Torped AB funnits att förhålla sig till.

Projektet resulterade slutligen i en ergonomiskt riktig handkontroll konstruerad för att tillverkas i både mindre och större serier. Handkontrollen har sedan satts i sin kontext där lösningar rörande tillhörande komponenter utvecklats i konceptuellt stadiet.

Sammanfattningsvis kan det framtagna konceptet tas i bruk eller användas som inspiration för Torped AB vid vidare utveckling av sin handkontroll.

Summary

This bachelor thesis covers the development of a handheld throttle controller used for a motorized surfboard. The project was performed on behalf of Torped AB, a company with the ambition to launch their motorized surfboard for commercial use. The current hand control is a functional prototype with no regards to ergonomics or manufacturing.

The purpose of this thesis was to explore the requirements of a hand control connected to a motorized surfboard with ergonomics and manufacturing in mind. The objective of this project was to develop a product concept for a hand control. The development only covered the hand control and to some extent the attached support cable.

The product development comprised of traditional methods combined with modern methods such as reversed engineering. The project started with gathering information through interviews, analysis of competitors and analysis of ergonomic data. This information then formed the basis of the ideation process, including methods like moodboard, brainstorming and brainwriting. These methods were used to form different functional solutions, that were then combined into a variety of concepts using a morphological matrix. Several evaluation methods have then been used, such as PUGH-matrix and both digital and real-life 3D-models systematically leading to a definite product concept. Furthermore, the product concept has been designed through detailed mechanical construction where demands from Torped AB was taken in to account.

The project ultimately resulted in an ergonomically correct hand control, designed to be manufactured in both small and large series. The hand control has then been put into context where components related to the hand control has been developed but not settled.

In summary the developed hand control can be implemented or serve as inspiration for Torped AB:s further development of their hand control.

Innehållsförteckning

Ordlista	1
1 Bakgrund	2
1.1 Teknisk funktion surfbrädan	2
1.2 Syfte och mål	4
1.3 Avgränsning.....	4
1.4 Frågeställning	4
1.4.1 Utökad frågeställning	4
2 Teoretisk referensram.....	5
2.1 Materialegenskaper	5
2.1.1 Mekaniska egenskaper	5
2.1.2 Termiska egenskaper.....	5
2.1.3 Kemiska egenskaper.....	5
2.2 Termoplast.....	6
2.2.1 Polypropen (PP)	6
2.2.2 Polyamid (PA).....	7
2.2.3 Akrylnitril-butadien-styren (ABS)	7
2.2.4 Termoplastisk elastomer (TPE).....	7
2.2.5 Polykarbonat (PC)	7
2.3 Tillverknings tekniker	8
2.3.1 Formsprutning	8
2.3.2 Flerkomponentsformsprutning	8
2.3.3 Friformsframställning (FFF)	9
2.4 Produktsemantik.....	10
2.4.1 Kanomodellen	10
2.5 Hållbarhetsperspektiv	11
2.6 Maskinelement	11
2.6.1 Skruvförband.....	11
2.6.2 Dragfjädrar	11
2.7 Ergonomi	12
2.7.1 Antropometri	12
2.7.2 Handtagsergonomi	12
2.7.3 Interaktion mellan människa och maskin	13
3 Metod	14
3.1 Datainsamlingsmetoder	14

3.1.1 Konkurrensanalys.....	14
3.1.2 Intervju	14
3.2 Idégenereringsmetoder.....	15
3.2.1 Moodboard	15
3.2.2 Brainstorming.....	15
3.2.3 Brainwriting	15
3.3 Analysmetoder	15
3.3.1 Fysiska modeller	15
3.3.2 Reversed engineering.....	16
3.3.4 Funktionsanalys.....	16
3.3.5 Kravspecifikation	16
3.3.6 Morfologisk matris	17
3.4 Utvärderingsmetoder.....	17
3.4.1 Pugh matris.....	17
3.4.2 Tänka-högt-metoden.....	17
3.4.3 PNI (Positivt, negativt eller intressant)	17
4 Genomförande och resultat.....	19
4.1 Informationsinsamling	19
4.1.1 Intervju	19
4.1.2 Undersökning av konkurrenters handkontroll.....	20
4.1.3 Ergonomisk studie av såghandtag.....	23
4.2 Funktionsanalys.....	25
4.3 Konceptgenerering	26
4.3.1 Moodboard	26
Moodboardens bilder är sammanställda ut efter vad projektgruppen och Torped anser utstråla kvalité och premiumkänsla. Hajen och knytnäven illustrerar aggressivitet och kraftfullhet, något som stämmer väl överens med surfbrädans höga prestanda. Flera av bilderna förmedlar olika material och känsla som bilderna på kolfiberväven och olika ytstrukturer på exempelvis drönaren, hörlurarna och ratten.....	26
4.3.2 Idégenerering 1.....	27
4.3.2 Morfologisk matris	28
4.3.3 PUGH - Matris	30
4.3.4 3D modeller.....	30
4.3.5 Idégenerering 2.....	32
4.3.6 Digital skissning.....	33

4.3.7 Utvärdering koncept 2 & 3.....	34
4.4 Konceptualisering.....	34
4.4.1 Variant A	35
4.4.2 Variant D	36
4.4.3 Utvärdering av varianter	36
4.4.4 Val av variant	37
4.4.5 Kravspecifikation	38
4.5 Detaljkonstruktion av valt koncept	39
4.5.1 Tillverkning	39
4.5.2 Tekniska funktioner.....	39
4.5.3 Materialval	42
4.6 Slutgiltigt produktkoncept.....	45
4.6.1 Handkontrollen i sin kontext	50
4.6.2 Hållbarhet.....	52
5 Slutsats och diskussion.....	53
Referenser.....	54
Bilaga 1: Intervjufrågor	57

Ordlista

BMS (Battery management system) – Elektronisk regulator samt mjukvara som övervakar och kontrollerar bland annat laddning, temperatur och status på batteriers celler (Rouse, 2014).

Bärplan – Förekommer på bland annat bärplansbåtar där bärplanet är som vingar sammanbyggda med skrovet. Bärplanet genererar lyftkraft vid ökad hastighet och får skrovet att lyfta upp ur vattnet, således minskar framdriftsmotståndet (Nationalencyklopedin, Bärplansbåt, 2018).

CAD (Computer aided design) – Datorstödd konstruktion (Nationalencyklopedin, CAD, 2018).

CES Edupack – Materialdatabas där det finns möjlighet att jämföra olika materials egenskaper (Granta Design, 2018)

Förkroma – Ytbehandling av material, vanligen elektroplätering (Nationalencyklopedin, Förkromning, 2018)

Haptisk – Information som går att uppfatta med känselsinnet (Nationalencyklopedin, Haptisk, 2018).

Konstruktionsplast – Plast med egenskaper lämpade för användning som kräver högre prestanda (Nationalencyklopedin, Konstruktionsplast, 2018)

Kvalitativa data – Avser data som syftar till att förstå, ofta subjektiv (Rexfelt, 2017).

Kvantitativa data – Avser data som kan kvantifieras, t.ex. siffror, mätningar m.m. (Rexfelt, 2017)

LCA (Life Cycle Analysis) – På svenska; Livscykelanalys, metod för att räkna ut en produkts miljöpåverkan under hela dess livscykel (Nationalencyklopedin, 2018)

NURBS-kurvor – Står för Non-Uniform Rational B-Spline och avser matematiska modeller som beskriver allt ifrån en 2D-kurva till en komplex 3D-form inom datorstödd konstruktion (Rhino3D, 2018).

Pivoterande – Något som vrider sig runt en axeltapp (Nationalencyklopedin, Pivoter, 2018).

Polygonmodell – 3D-geometri baserad på flera sammanlänkade ytor i form av polygoner (Krisitansson, 2016).

Slagseghet – Beskriver ett materials förmåga att stå emot belastning i form av stötar (Nationalencyklopedin, Slagseghet, 2018).

Sträckgräns – Den gräns av spänning där ett material börjar deformeras (Nationalencyklopedin, Sträckgräns, 2018)

1 Bakgrund

Torped AB bildades i början av 2017 för att utveckla en motoriserad surfbräda. Under hösten 2017 färdigställdes den första prototypen. Surfbrädan består av ett skrov av kolfiber, en elektrisk motor, styrenhet, batteri, handkontroll och jetpump. Surfbrädan används i all marin miljö och är utformad därefter.

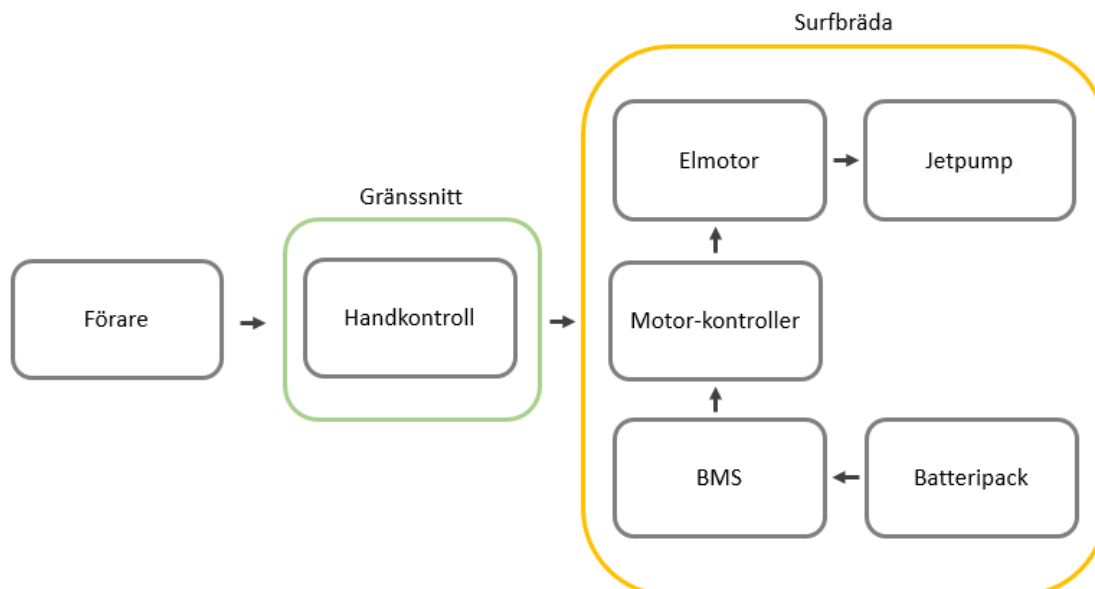
En viktig del av brädan och användarupplevelsen är handkontrollen som är användarens länk till maskinen. Det är viktigt att den uppfyller mekaniska så väl som ergonomiska krav. Nuvarande handkontroll är endast en tillfällig prototyp som saknar vissa viktiga funktioner och lämpar sig inte för produktion.



Figur 1.1 - Surfbrädan i profil (Torped AB, 2018)

1.1 Teknisk funktion surfbrädan

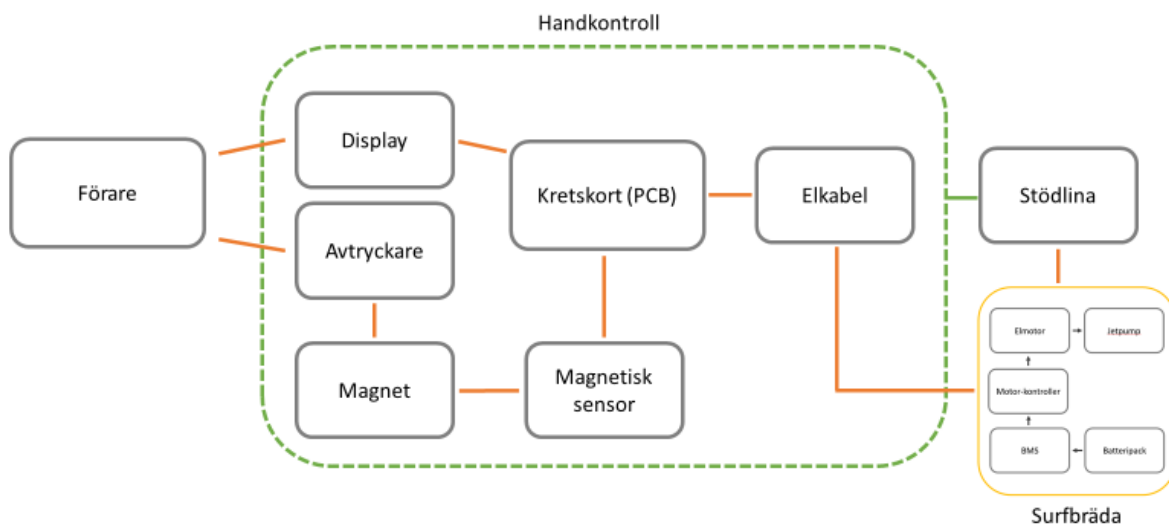
Den motoriserade surfbrädan är i dagsläget en fungerande prototyp med flertalet komponenter. I korta drag består brädan av ett skrov innehållande batteripack, BMS (Battery management system), motor-kontroller, elmotor och en jetpump. För att kunna reglera motorkraft samt få ett stöd så finns en handhållen kontroll fäst i en lina till brädan.



Figur 1.2 - Schematisk bild över surfbräda (Författarens egen bild)

När föraren interagerar med avtryckaren på handkontrollen påverkas en sensor via en magnet fäst på avtryckarens rotationsaxel. Data från sensorn registreras av motor-kontrollen som reglerar strömstyrkan och spänningen till elmotorn som i sin tur driver jetpumpen. Motor-kontrollen sköter även omvandlingen av likström från batteriet till växelström som elmotorn kräver. BMS (Battery management system) övervakar batteriets olika variabler såsom laddningsstatus, balansering mellan celler och cellernas temperatur. Viss information kommer att visas på displayen på handkontrollen som till exempel batteriets laddningsstatus. Batteripacket är konstruerat för att snabbt kunna bytas mellan åkturerna och laddas vid sidan av.

Stödlinan som handkontrollen fästs i har som funktion att stötta föraren samt skydda och bära elkabeln mellan brädan och handkontrollen.



Figur 1.3 - Schematisk bild över handkontroll (Författarens egen bild)



Figur 1.4 - Bild på prototyp (Torped AB, 2018)

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att undersöka vilka krav som ställs på en handkontroll för en motoriserad surfbräda ur ett ergonomiskt perspektiv med hänsyn till tillverkning.

Målet med arbetet är att ta fram ett konceptförslag för en handkontroll anpassat för en motoriserad surfbräda med tillverkningsmetod i åtanke.

1.3 Avgränsning

Arbetet pågår under våren 2018 och omfattar 15hp. Arbetet innefattar utveckling av ett konceptförslag gällande handkontrollen och dess ergonomiska-, formmässiga- samt mekaniska funktioner.

Arbetet omfattar inte skrov, jetpump, batteri, motor eller övriga komponenter som inte är i direkt anslutning till handkontrollen. Komponenter som display och givare för gasreglage är färdigställda och utvecklas inte vidare men måste beaktas vid utformning av handkontrollen. Stöddlinan som är i direkt kontakt med handkontrollen beaktas under produktutvecklingen men slutgiltigt koncept för denna komponent utvecklas i mån av tid.

Val av tillverkningsmetod och material uppskattas genom antaganden och enklare beräkningar. Toleranssättning av mått och ytor samt kapslingsklass för elektronik kommer tas ställning till men färdigställs av Torped AB.

1.4 Frågeställning

Följande frågeställning har formulerats:

Hur bör en handkontroll utformas för bästa möjliga interaktion mellan människa och surfbräda?

1.4.1 Utökad frågeställning

- *Hur bör handkontrollen formges för att vara estetisk tilltalande?*
- *Vilka funktioner ska handkontrollen inneha?*
- *Vilka krav ställer användaren på handkontrollen?*
- *Vilka material bör användas med avseende på kontext, tillverkning och ergonomi?*
- *Hur ska handkontrollen tillverkas?*

2 Teoretisk referensram

Följande avsnitt behandlar teori och fakta som krävs för att kunna utveckla en handkontroll för en motoriserad surfbräda.

2.1 Materialegenskaper

Vid utformning av produkter är val av material en viktig process. Alla material innehåller olika egenskaper och reagerar olika på utomstående och inneboende krafter (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014). Nedan följer en beskrivning av de egenskaper som i detta projekt anses viktiga vid val av material.

2.1.1 Mekaniska egenskaper

E-modul – Beskriver styvheten i materialet, hur väl ett material kan återhämta sig från en yttre kraft utan permanent deformation i strukturen (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014).

Styrka – Hur väl ett material kan motstå yttre kraft utan att deformeras, sträckgräns är direkt kopplat till styrka, ju högre sträckgräns desto mer kraft krävs för att skapa en bestående deformation (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014).

Brottseghet – Avgör om ett material är sprött eller segt. Om materialet är sprött sker ingen permanent deformation utan materialet spricker. Om materialet är segt kan det motstå spricktillväxt och på så vis permanent deformeras (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014).

2.1.2 Termiska egenskaper

Alla material påverkas av temperaturförändringar. Det är viktigt att ta hänsyn till den högsta temperaturen materialet kan arbeta i, denna kallas för $T_{\max}$. Till exempel är $T_{\max}$ lägre för plast än för stål vilket betyder att stål tål högre temperatur än plast (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014). Egenskaperna förändras alltså i takt med att temperaturen förändras. Vid val av material bör expansionskoefficienten α tas i beaktning det vill säga hur mycket materialet expanderar vid en förändring av temperatur.

Termisk konduktivitet λ hos ett material avgör hur väl det leder värme. Till exempel har metaller ett högre λ -värde än plast vilket gör att metaller blir kallare snabbare än plasten vid samma temperaturminskning (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014). Det är ett materials värmeledningsförmåga som avgör hur kallt eller varmt ett föremål upplevs av en människa. Till exempel upplevs ett föremål av metall kallare än ett föremål av trä även om de befinner sig i samma miljö. Detta beror på att metallens goda värmeledningsförmåga överför värmen från handen snabbare till metallföremålet än vad träbiten gör (Illustrerad Vetenskap, 2009).

2.1.3 Kemiska egenskaper

Vid val av material till en produkt är det viktigt att beakta vilken omgivning produkten kommer befinna sig i. Materialets kemiska egenskaper bestämmer hur väl den tål bland annat korrosion och UV-strålning. Korrosion är en kemisk reaktion som kan uppstå mellan ett material och dess omgivning vilken kan resultera i en försämring av materialets mekaniska

egenskaper (Nationalencyklopedin, Korrosion, 2018). Den kemiska reaktionen kan ge upphov till missfärgning av materialets yta, exempelvis är rost en typ av korrosion för järn. I krävande miljöer som till exempel i havsvatten har plast bättre korrosionsbeständighet än stål (Eriksson, 2012).

Ultraviolett strålning (UV-strålning) är strålning som bland annat genereras av solen och har kortare våglängd än synligt ljus (Nationalencyklopedin, Ultraviolett strålning, 2018).

Polymerer som utsätts för UV-strålning kan brytas ned vid längre exponering i en process kallad fotooxidation (Nationalencyklopedin, UV-nedbrytning, 2018). Om produkten är utsatt för solljus måste materialvalet bestämmas utifrån dess resistens mot UV-strålning (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2014).

2.2 Termoplast

Plast utgörs av en eller flera polymerer, ordet polymer kommer från grekiskans ”poly” som betyder fler och ”meros” som betyder del eller enhet (Bruder, 2016). Som namnet antyder består en polymer av flera repeterande molekyler så kallade monomerer, sammanbundna i flera kedjor. Polymerer består oftast av kolföreningar men det finns även kiselbaserade polymerer som till exempel silikon. Polymerkedjorna kan vara uppbyggda på olika sätt, bland annat kan de vara fria, delkristallina eller tvärbundna. Fria polymerkedjor har svagare bindningar mellan molekyllkedjorna vilket gör att bindningarna bryts vid uppvärmning. Tvärbundna polymerkedjor har mycket starkare bindningar mellan molekyllkedjorna vilket gör att de inte går värma upp och formas på nytt. Hårdplaster är samlingsnamnet för polymerer med tvärbundna kedjor (Nationalencyklopedin, Plast, 2018).

Termoplast är en typ av polymer som består av fria polymerkedjor, detta ger egenskapen att den smälter vid värme vilket gör att detaljer av termoplast enkelt går att forma och återvinna (Nationalencyklopedin, Plast, 2018).

Termoplaster lämpar sig bra för storskalig produktion då de är enkla att bearbeta med metoder som formsprutning, filmblåsning eller extrudering (Bruder, 2016).

Generellt innehåller termoplaster tillsatssämnen även kallat additiv av olika slag för att modifiera eller förändra vissa materialegenskaper som bland annat seghet, UV-beständighet, slagtlighet, värmetålighet och brandtlighet.

2.2.1 Polypropen (PP)

Polypropen klassificeras som en basplast och är den näst vanligaste plasten att tillverkas efter Polyeten (Bruder, 2016). För att förändra materialegenskaper hos polypropen kan man förutom att tillsätta olika additiv blanda plasten med elastomerer, talk eller armera den med glasfiber. På grund av dess mångsidighet och modifierbarhet kan den även klassas som konstruktionsplast.

Fördelar med polypropen är bland annat: låg materialkostnad, god kemikaliebeständighet, absorberar inte fukt och god utmattningsbeständighet. Nackdelar är att plasten blir spröd i kyla och har begränsad beständighet mot UV-strålning, detta kan lösas med olika additiv.

2.2.2 Polyamid (PA)

Polyamid, även kallat Nylon är den plast som först klassades som konstruktionsplast på marknaden (Bruder, 2016). Plasten har flera användningsområden, bland annat används den för kåpor till motorsågar och handverktyg som ställer krav på hög hållfasthet och slitstyrka.

Plasten har många fördelar såsom god värmetålighet, bra elektriska egenskaper och hög styvhet. En nackdel är att PA absorberar fukt ur luften vilket påverkar dess mekaniska egenskaper, detta kan justeras med diverse additiv.

2.2.3 Akrylnitril-butadien-styren (ABS)

ABS är en mångsidig plast med flera användningsområden som bland annat: maskinkåpor, instrumentpaneler till bilar och höljen till hushållsprodukter (Termoplaster: Nordic Pipe AB, 2018). Produkter av ABS erhåller generellt en mycket god slagseghet, även vid lägre temperaturer. Enlig (Bruder, 2016) innehar ABS flera fördelaktiga egenskaper såsom: formstabil, lätt att färga, lackera eller förkroma och absorberar inte fukt.

En nackdel med ABS är att UV-beständigheten är låg, plasten gulnar och blir spröd vid längre exponering för solljus. Genom att tillsätta olika additiv eller blanda plasten med polykarbonat förbättras resistensen mot UV-strålning (Bruder, 2016).

2.2.4 Termoplastisk elastomer (TPE)

Termoplastiska elastomerer (TPE) även kallade termoelaster, är mjuka plaster som påminner om gummi, fördelen är att TPE går att formspruta (Bruder, 2016). Inom TPE finns flera olika varianter beroende på användningsområdet.

TPE-S, även kallad TPS är en av de vanligaste termoplasterna som lämpar sig bra för konsumentprodukter av olika slag som till exempel gummistövlar, skosulor eller för att skapa en yta med hög friktion på ett handtag. TPS har många bra egenskaper såsom: god nötningshållfasthet, bra vidhäftning vid flerkomponentsformsprutning och den går att UV-stabilisera. Plaster som lämpar sig bra att överspruta med TPS är bland annat ABS, PP och PA.

2.2.5 Polykarbonat (PC)

Polykarbonat (PC) är en transparent termoplast med mycket hög slagseghet (Bruder, 2016). Materialet har goda isolerande egenskaper för elektricitet, hög användningstemperatur, högt ljusgenomsläpp och är formstabil.

PC används till bland annat: visir för motorcykelhjälm, strålkastarglas till bilar, CD/DVD-skivor och även som en ersättare för glas inom byggnadsindustrin. En nackdel med polykarbonat är att risken för sprickbildning ökar vid konstant belastning.

2.3 Tillverkningstekniker

I detta avsnitt behandlas olika tillverkningstekniker relevanta för projektet.

2.3.1 Formsprutning

Den vanligaste bearbetningsmetoden för termoplaster är formsprutning, detta är en följd av dess kostnadsfördelar och höga produktionstakt jämfört med annan bearbetning (Bruder, 2016). Andra fördelar är bland annat att detaljer med hög komplexitet kan tillverkas utan att efterbearbetning krävs. Plastkomponenter kan även översprutas med andra termoplaster för att erhålla olika tekniska egenskaper, se 2.4.2. En nackdel med formsprutning är att maskinerna och formverktygen är dyra, vilket resulterar i att större volymer krävs för att processen ska bli lönsam, till exempel >1000st detaljer.

En formsprutningsmaskin består i grunden av en sprutenhet med tillhörande doseringsenhet och cylinder. Cylindern som är täckt med värmeband innehåller även en skruv som matar fram platen. I andra änden av maskinen är formverktyget i två halvor, det är formen som avgör den färdiga komponentens geometri.

Formsprutningsprocessen bygger på att plastgranulat matas in i doseringsenheten varpå materialet smälts i cylindern samtidigt som det matas framåt av skruven. Sprutenheten ligger an mot ena formverktygets halva, sedan pressas formhalvorna ihop och den smälta platen sprutas in i formen.

Vid design av detaljer avsedda för att formspruta finns olika riktlinjer att följa för att uppnå ett gott resultat. Bland annat är det viktigt att behålla en jämn godstjocklek på detaljen för att undvika skevning och sprickbildning (Gemini Group Inc., 2018). Hörn ska förses med en radie av storlek som motsvarar minst halva godstjockleken. Förstärkningar och korsande väggar i detaljen bör ha en tjocklek på 40-60% av omgivande godstjocklekar för att undvika ojämn kylning och sjunkningar i platen.

Prototypverktyg

För lägre serier eller vid behov av att testa hur detaljen ser ut efter formsprutning kan prototypformverktyg tillverkas. Dessa formverktyg tillverkas i mjukare material än de i stål som en slutgiltig form hade haft, därav kallas de ofta mjuka verktyg eller ”soft tools” (Bruder, 2016). De tillverkas i aluminium eller andra lättbearbetade metaller. Fördelen med mjuka verktyg är att både kostnaden och tillverkningstiden är avsevärt lägre än för ett slutgiltigt produktionsverktyg. Prototypverktyg används med fördel till att formspruta produkter för att sedan analysera deras mått, toleranser och kvalitet innan det kostsamma produktionsverktyget tillverkas och slutgiltig produkt kan börja produceras.

2.3.2 Flerkomponentsformsprutning

Vid flerkomponentsformsprutning kombineras två eller fler olika plaster i samma formverktyg (Bruder, 2016). Vanligt är att man kombinerar två plaster i samma detalj, till exempel om ett plasthandtag till en skruvmejsel översprutas med en termoplastisk elastomer för att erhålla en gummiliknande greppyta. Det finns generellt sett två olika sätt att flerkomponentformspruta, dels med hjälp av ett roterande formverktyg eller robottransfer.

Vid ett roterande formverktyg formsprutas först en del av detaljen, sedan roterar verktyget där detaljen möter en form med annan geometri. Därefter sprutas nästa plastmaterial in och erhåller en färdig detalj med två olika material. Fördelen med roterande formverktyg är att det är tidseffektivt, nackdelen är att det är dyrare än till exempel robottransfer (Gemini Group Inc., 2018).

Robottransfer innebär att detaljens första geometri formsprutas i en form, därefter förflyttas detaljen ur formen med en robot för att placeras i en annan form. Den andra formen fylls då med den andra plasten och ger en flerkomponentsdetalj.

2.3.3 Friformsframställning (FFF)

Med friformsframställning (FFF) i dagligt språk även kallat 3D-skrivning, kan man tillverka fysiska tredimensionella objekt utifrån en CAD-baserad 3D-modell (Bruder, 2016). Det finns ett flertal olika metoder för FFF, gemensamt för dessa är att 3D-modellen först måste delas in i flertalet skikt. Denna process görs i datorprogram där datafilen sedan förs vidare till FFF-maskinen för tillverkning. Maskinen bygger sedan upp objektet lager för lager. FFF är lämplig vid till exempel prototyp tillverkning då processen kan ske betydligt fortare än vid konventionella tillverkningsmetoder. Detta gör att funktionstest kan ske relativt tidigt i konceptualiseringen av produkter.

Selektiv lasersintring (SLS)

SLS-metoden bygger på att en laser smälter samman ett lager på ca 0,1mm av en polymer i pulverform. Sedan tillförs ett nytt skikt med pulver och processen upprepas. Objektets geometri erhålls av att lasern riktar till olika punkter med hjälp av en datorstyrd spegel (Bruder, 2016).

Nackdelar med SLS är till exempel att ytstrukturen blir grov där det krävs efterbehandling för att lackera eller få en slät yta på detaljen. Däremot finns flera fördelar som bland annat:

- Stor valmöjlighet av olika polymerer
- Hög komplexitet på objektets form erbjuds
- Fungerar väl för tillverkning av små serier (<2000 detaljer)
- God måttolerans

Fused deposition modeling (FDM)

FDM-processen använder sig av ett termoplastiskt filament som är upprullat på spolar. Materialet förs sedan vidare till ett munstycke som hettar upp plasten till smält form. Munstycket rör sig över en bädd i en horisontell rörelse och bygger upp detaljens geometri genom att extrudera den smälta plasten. Lager för lager byggs geometrin upp genom en vertikal rörelse vilket ger lagertjockleken för plasten (Bruder, 2016).

FDM metoden erhåller flera fördelar som till exempel:

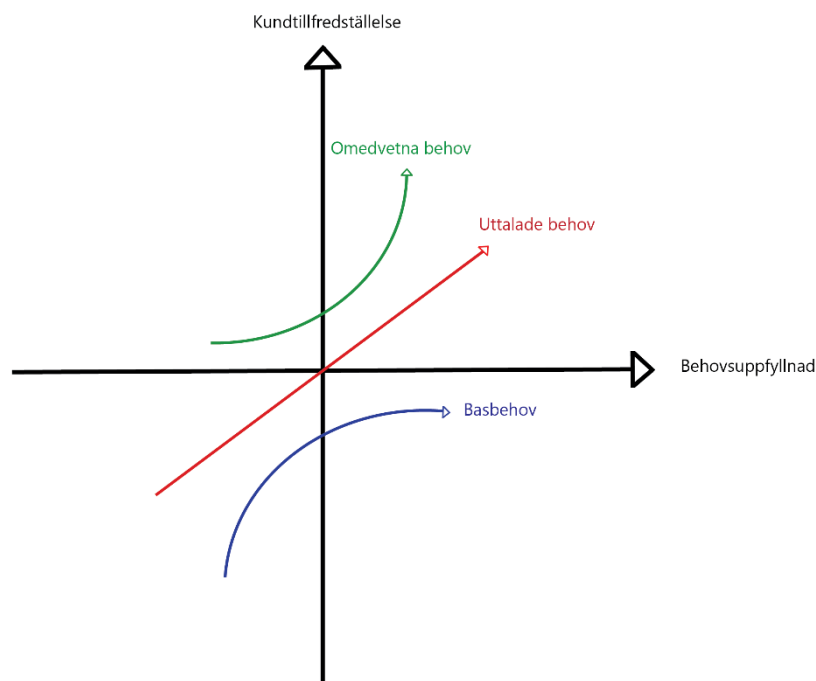
- Lämplig för småserietillverkning
- Stort urval av termoplaster med god hållfasthet
- Kan tillverka komplexa former
- Kan tillverka detaljer med vägg tjocklek ner till ~0,25mm

En nackdel med FDM är att det finns begränsningar för hur fin ytstruktur detaljen får. För att få en slät yta krävs i regel efterbearbetning.

2.4 Produktsemantik

Produktsemantik avser användarens uppfattning av produkten. Kenneth Österlin (Österlin, 2011) menar att formspråket på en produkt kan förmedla karaktär, identitet och funktion. Produktsemantik innebär att kommunicera det som ska kommuniceras på ett tydligt sätt mot målgruppen. Semantik innefattar alla delar av produkten som uppfattas av användaren, vilket innebär allt från hur en produkt känns till hur den ser ut. Utformningen av produkten bör beskriva och gestalta funktionerna i sitt uttryck samtidigt som det gestaltar känslan man vill att användaren ska känna vid interaktion med produkten.

2.4.1 Kanomodellen



Figur 2.1 - Kanomodellen (Författarens egen bild)

Kanomodellen beskriver behov hos användaren och hur väl produkten lever upp till dennes förväntningar, se figur 2.1. Vid utveckling av produkter är basbehoven och de uttalade behoven de funktioner som produkten förväntas innehålla. Om man däremot lyckas skapa funktioner som täcker omedvetna behov hos användaren så höjer detta användarens intryck av produkten och en högre kvalitet uppnås. Produkten bör alltså enligt Kano-modellen uppfylla förväntningarna som finns men även innehålla något som uppfyller omedvetna behov hos användaren för att bättre kvalitet kan uppnås (Österlin, 2011).

Premiumkvalitet kan även uppfattas via produktens semantik, se 2.4.

2.5 Hållbarhetsperspektiv

Vid utveckling av produkter är det viktigt att beakta vilken påverkan produkten har på miljön. Miljöpåverkan sker inte enbart i ett led i processen utan genom hela produktens livslängd, vilket brukar illustreras med en produktlivscykel.

En produktlivscykel beskriver en produkts liv och de faser en produkt går igenom. De faser som traditionellt ingår i en produktlivscykel är: råmaterialutvinning, materialframställning, produktion, montering och paketering, distribution, installation och användning, montering och underhåll samt end of life (White, St. Pierre, & Belletire, 2013).

Att arbeta med hållbarhet inom produktutveckling är komplext och väldigt beroende av vilken typ av produkt det rör sig om. Som designer finns stor möjlighet att minska miljöpåverkan, bland annat kan man utveckla produkter så att materialet kan återvinnas, att produkten är enkel att reparera (Gröndahl, 2010) eller till exempel att man designar produkten på sådant sätt att den håller länge (Kennedy, 2017).

2.6 Maskinelement

Med maskinelement syftas de komponenter som ingår i mekaniska konstruktioner. Olika maskinelement har olika egenskaper men allmänt för alla är att de i samverkan påverkas av rörelse och krafter och bör dimensioneras och placeras utefter dessa variabler.

2.6.1 Skruvförband

Skruvförband används i syftet att förhindra rörelse mellan delar i en konstruktion. Ett skruvförband består av en skruv med gängor. Ibland även i kombination med en mutter om gängor inte är integrerade i delarna man fäster skruven i. Gängorna i skruven är av största vikt där både avståndet mellan gängorna och stigningen på gängan spelar roll vid fastsättning av delar. Ett skruvförband fästs genom roterande rörelse av skruven, vilket sammanför gängorna i muttern/komponenten med gängorna i skruven vilket gör att komponenten sitter fast. En skruv kan vara antingen höger- eller vänstergängad vilket medför olika rörelser vid fäste av skruvförbanden (Mägi & Melkersson, 2006).

2.6.2 Dragfjädrar

Fjädrar är en typ av fästelement som ger efter för rörelse vilket erbjuder alternativet att dimensionera hur rörelser inom konstruktioner skall ske. Det finns flera olika typer av fjädrar som används på olika sätt. En av de vanligaste fjädrarna är linjär dragfjäder som är utformad likt en spiral. Vid dragande kraft i ändarna expanderar fjädern för att sedan komprimeras då kraftpåläggning avtar. En dragfjäders viktigaste variabel är den så kallade fjäderkonstanten som anger hur styv fjädern är och således hur mycket kraft som krävs för att den ska expandera. En fjäders dimensioner gällande stigningsvinkel, medeldiameter, tråddiameter, fjäderlängd samt antal trådvarv är alla variabler som påverkar en fjäders egenskaper och avgör hur styv den är (Mägi & Melkersson, 2006).

2.7 Ergonomi

Ergonomi är läran om anpassning av arbete till människan. Ergonomi omfattar flera olika aspekter gällande arbete så som: psykosocial, organisatorisk och fysisk miljö samt information och interaktion i tekniska system (Bohgard, 2010). Nedan följer ytterligare beskrivning av de delar av ergonomin som använts i detta projekt.

2.7.1 Antropometri

Antropometri är läran om människans mått gällande storlek, styrka, arbetsförmåga och form (Bohgard, 2010). Antropometriska data behandlar olika percentiler av befolkningen vilket i en produktutvecklingsprocess medför att produkterna kan anpassas efter de antropometriska faktorerna gällande aktuell målgrupp.

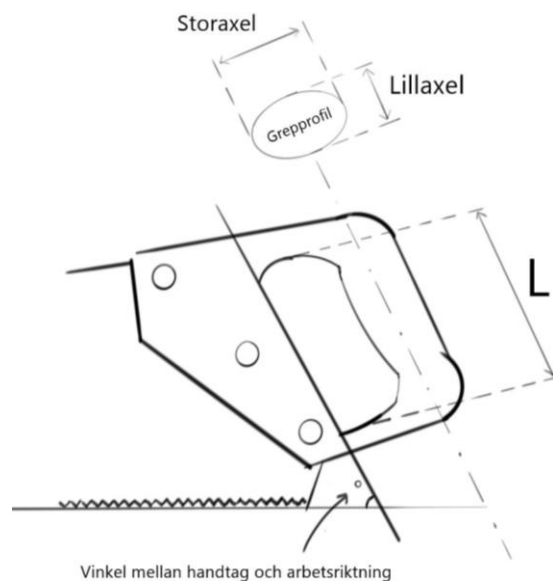
2.7.2 Handtagsergonomi

Enligt Pheasant (2003) finns det ett antal riktlinjer att förhålla sig till vid utformning av handtag. Kraft överförs mest effektivt mellan hand och objekt om kraften är komprimerande snarare än skjuvande. Det är att föredra om kraften sker vinkelrätt mot ett cylindriskt handtag snarare än längs med.

Pheasant (2003) nämner ett antal riktlinjer att följa vid handtagsdesign:

- Handtag bör inte utformas med "fingerurtag" på greppytan om man inte tagit hänsyn till specifika antropometriska faktorer.
- Ett för kort utformat handtag kan orsaka att änden på handtaget skapar en tryckpunkt in i handen.
- Detaljer bör utformas på sådant vis att det inte kan leda till klämskador som exempelvis vid användning av en avtryckare.
- När två ytor möts i en kant bör denna vara rundad även här för att minska tryckpunkter, en riktlinje är ca 25mm i radie för kurvaturen.

Verktyg som har pistolliknande handtag som till exempel bormaskiner eller sågar bör innehålla en vinkel på 70° - 80° mellan handtag och arbetsriktningen, se figur 2.2.



Figur 2.2 - Arbetsvinkel och mått för handtag (Författarens egen bild)

Om användning i huvudsak sker av en man, rekommenderas handtagets mått att vara ca 50mm (storaxel), 35mm (lillaxel) och 120mm (längd), se figur 2.2. Där primär användning sker av en kvinna kan bredden och djupet på handtaget minskas med ca 10-20% (Bohgard, 2010).

2.7.3 Interaktion mellan människa och maskin

Interaktion mellan människa och maskin handlar om hur enkel maskinen är att använda för människan. Att designa produkter med ett lättförståeligt gränssnitt förenklar alltså användandet av produkten. Med gränssnitt menas ur ett ergonomiskt perspektiv hur uppenbart det är för användaren att förstå hur produkten ska brukas, gränssnittet kan beskrivas som bryggan i gapet mellan människa och maskin (Bohgard, 2010).

För att samspelet mellan människa och maskin ska fungera väl är det brukligt att nyttja människans sinnen för att göra maskinen lättförståelig. De sinnen som människan använder sig av för att samla information är: hörsel, syn, lukt, känsel och smak.

En annan viktig del av denna interaktion beror på hur människan bearbetar informationen som samlas in via sinnen. Människan bearbetar information på två olika sätt: datadriven bearbetning och begreppsdriven bearbetning. Datadriven bearbetning behandlar informationen som tas in helt automatiskt medan begreppsdriven bearbetning utgår från en mer medveten bearbetning för att sedan bli mer automatiserad. Den senare av de två beror till stor del av tidigare erfarenhet kring situationen och det är därför att föredra gränssnitt som människan känner igen sedan tidigare.

Vid utveckling av manöverdon är det viktigt att de olika sinnen samspelar med varandra då ett manöverdon ofta kräver stimulans från flera olika sinnen och att detta beaktas vid placering av de olika komponenterna.

3 Metod

Följande avsnitt behandlar de olika metoder som använts i projektet. Metoderna är uppdelade efter vilket område de tillhör; datainsamlingsmetoder, idégenereringsmetoder, analysmetoder samt utvärderingsmetoder.

3.1 Datainsamlingsmetoder

För att kunna utveckla handkontrollen för en elektriskt driven surfbräda har projektgruppen undersökt information som kan tänkas erbjuda en bas i produktutvecklingsarbetet. Nedan följer en beskrivning av de metoder som använts.

3.1.1 Konkurrensanalys

En konkurrensanalys genomförs för att identifiera aktuella konkurrenter. Konkurrenternas lösningar som uppfyller kundernas behov granskas. Konkurrenter definieras som företag som säljer produkter som direkt eller indirekt konkurrerar om samma marknad som det egna företaget. Konkurrenternas styrkor och svagheter fastställs för att veta vart på marknaden det egna företaget kan bli mest konkurrenskraftigt. Likadant gör man med konkurrenternas produkter för att se vad de lyckats bra och mindre bra med på produktnivå, vilket således ger en möjlighet att anpassa sin produkt efter konkurrenternas egenskaper (Axelsson & Agndal, 2017).

3.1.2 Intervju

Intervju är en metod för datainsamling vars syfte är att samla information om bland annat människors upplevelser, tankar och åsikter (Bohgard, 2010). Främst bidrar metoden till kvalitativa data men beroende på hur intervjun struktureras kan även kvantitativa data erhållas. En intervju kategoriseras ofta som antingen ostrukturerad, semistrukturerad eller strukturerad. Om ett få antal personer ska intervjuas är en ostrukturerad intervju att föredra. Ostrukturerad intervju baseras på många öppna frågor där intervjupersonen ges möjlighet till att prata om det hen tycker är viktigast vilket resulterar i främst kvalitativa data. En strukturerad intervju involverar frågor där förutbestämda svar ges, till exempel där intervjupersonen får gradera vad hen tycker om ett specifikt ämne. Från strukturerade intervjuer framkommer främst kvantitativa data. Semistrukturerad intervju är en blandning mellan strukturerad och ostrukturerad intervju, där kan både kvalitativa och kvantitativa data erhållas.

Eftersom mycket av informationen är kvalitativ i en ostrukturerad intervju, är den också subjektiv, därför är det viktigt att inte dra förhastade slutsatser vid analys av data. Intervjupersonens svar kan påverkas av bland annat miljön intervjun sker i eller intervjuarens personlighet och attityd (Bohgard, 2010).

3.2 Idégenereringsmetoder

Vid produktutvecklingsarbete kan innovativa idéer vara svåra att få ur tomma intet. Vid utveckling av produkter finns därför metoder som underlättar för idéer att uppkomma. Nedan redogörs för vilka metoder som använts i detta projekt.

3.2.1 Moodboard

En moodboard är en samling bilder ihopsatta till ett kollage för att underlätta idégenerering och ge en riktlinje mot vad som ska uppnås. En moodboard ska återge känslan som produkten är tänkt att uttrycka för att främja kreativitet vid idégenerering och skissning (Österlin, 2011).

3.2.2 Brainstorming

Brainstorming går ut på att i grupp om 2–6 deltagare diskutera och på så sätt få nya idéer. Deltagarna har med fördel olika karaktärsdrag. Någon dag innan mötet mottar deltagarna inbjudan för att få tid till inkubation och förberedelser. Under brainstormingmötet är det förbjudet med kritik och det strävas efter ett stort antal idéer (Österlin, 2011).

3.2.3 Brainwriting

Brainwriting är en version av brainstorming där personerna istället för att verbalt uttrycka sig, skriver eller skissar sina idéer på papper. Detta görs för att undvika direkt påverkan från andra medlemmar (Österlin, 2011).

3.3 Analysmetoder

När det via idégenereringen erhållits ett antal uppslag bör man analysera hur dessa står sig i jämförelse med varandra och relevant information i ämnet. Nedan följer en beskrivning av metoder som använts för att analysera idéerna.

3.3.1 Fysiska modeller

Vid visualisering av idéer kan det förutom skisser i 2D även byggas fysiska modeller. Att bygga fysiska modeller ger snabb återkoppling kring utformning av produkten och kan ge information och uppslag som är svårt att tänka sig fram till genom 2D skisser. Det finns flera olika sätt att arbeta med fysiska modeller och dessa brukar delas upp i två olika kategorier; *funktions- och utseendemodeller* och *presentationsmodeller*.

Funktions- och utseendemodeller

Under idégenereringsprocessen kan det med fördel byggas två olika typer av modeller. En modell för att utvärdera och testa funktioner i en mer verklig situation än 2D skiss på papper och en modell för att analysera estetik. En funktionsmodell kan vara så enkel som block av papper eller något mer avancerat tillverkade i till exempel lera. Funktionsmodellen skiljs ofta

åt från utseendemodellen då det ibland kan vara svårt att kombinera utseende och funktion i en enkel modell.

Presentationmodeller

När koncept är valt och färdigt att visualiseras verklighetstroget är det vanligt att man tillverkar modell i CAD-program för att sedan tillverka modellen med hjälp av en 3D-skrivare. Innan CAD-program fanns tillgängligt eller vid speciella tillfällen då det inte är möjligt att använda sig av en 3D-skrivare anlitas istället en professionell modellbyggare som kan skapa en verklighetstrogen modell i lämpligt material (Österlin, 2011).

3.3.2 Reversed engineering

Reversed engineering är en så kallad bakvänd ingenjörprocess som kan tillämpas vid produktutvecklingsarbete. Istället för att samla underlag och bygga en produkt utifrån ritningar så används ett objekt exempelvis en lermodell eller tidigare produkt med samma specifikationer som produkten man utvecklar. Detta objekt scannas sedan med hjälp av en 3D-scanner vilket erhåller en polygonmodell som sedan kan användas som mall vid CAD/CAM förberedning. Denna metod har blivit väldigt populär på senare tid på grund av att processen sparar både tid, material och i slutändan pengar (Raja, 2008).

3.3.4 Funktionsanalys

En funktionsanalys avser att dela in en viss produkt i funktioner snarare än lösningar för att inte begränsa idéskapandet (Österlin, 2011). Huvudfunktionen hos en produkt kan beskrivas som dess huvudsyfte, varför den existerar. För att huvudfunktionen ska kunna uppfyllas krävs att vissa delfunktioner finns. Som stöd för huvudfunktionen och delfunktionerna kan vissa stödfunktioner finnas. En stödfunktion är inte nödvändig för att de överordnade funktionsnivåerna ska uppfyllas men kan vara nödvändiga av andra skäl (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2013).

En funktion beskrivs med ett verb och ett substantiv och bör hållas kortfattat. Ett exempel på en huvudfunktion kan vara att ”innesluta vätska” då produkten är en PET-flaska.

3.3.5 Kravspecifikation

Kravspecifikation är en slags sammanställning av de funktioner och krav som produkten bör innehå för att möta användarens behov. Kraven som listas i denna sammanställning delas ofta upp i olika kategorier och ges prioritering i form av önskvärda eller nödvändiga krav. Kravspecifikationen styr till stor del hur det fortsatta produktutvecklingsarbetet fortskrider och ger en säkerhet i att produkten fungerar som tänkt utifrån bland annat ergonomiska-, funktionella- och produktionskrav. Kravspecifikationen är ett dokument som under hela produktutvecklingsarbetet går att justera och utöka allt efter att nya lösningar arbetas fram (Bohgard, 2010).

3.3.6 Morfologisk matris

Vid produktutveckling används en morfologisk matris som en typ av kombinationsmall (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2013). Om en produkt har funktioner som kan lösas på flera olika sätt används en matris för att testa och para ihop flera funktioner. Detta för att få en övergripande bild av vilka lösningar som passar tillsammans, vilka som passar var för sig och hur funktionerna påverkar varandra. Med fördel används en morfologisk matris då det redan erhållits idéer kring en viss funktion och det ska avgöras vilken av funktionerna som fungerar bäst i den specifika kontexten (Österlin, 2011).

3.4 Utvärderingsmetoder

I ett produktutvecklingsprojekt är det viktigt att ständigt utvärdera arbetet. Detta agerar som en kvalitetssäkring och ju tidigare felaktigheter upptäcks desto enklare blir de att omarbete (Bohgard, 2010).

3.4.1 Pugh matris

En Pugh matris är en rationell beslutsmatris där olika funktioner och alternativ för dessa listas. Man tilldelar sedan de olika funktionerna en viktning beroende av hur viktig funktionen är för helheten. Man jämför sedan de olika alternativen kring varje funktion med en tidigare produkt om det finns en sådan. Således kan de nya alternativens funktioner bedömas utifrån den tidigare produkten. Poängen sätts som minus eller plus och dessa räknas i slutet ihop och det enligt matrisens bästa alternativ får högst poäng. Om viktningen införts i matrisen multiplicerar man funktionspoängen med viktningen och funktionernas bidrag till helheten tas då i beaktning. En Pugh matris kan göras så komplex som situationen tillåter och det finns flera varianter på hur en Pugh matris kan se ut (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2013).

3.4.2 Tänka-högt-metoden

Tänka-högt-metoden är en typ av utvärderingsmetod där användare får testa en prototyp eller produkt. Metoden går ut på att testpersoner får testa produkten och uppmanas till att kommentera vad de tänker om produkten, med minimal involvering av testledaren. Tanken är att testpersonerna ska "tänka högt" och på så sätt erhålls kvalitativ och subjektiv information om produkten. Informationen kan sedan analyseras och bidra som utvärderingsunderlag för vidareutveckling av produkten (Nielsen, 2012).

3.4.3 PNI (Positivt, negativt eller intressant)

PNI är ett enkelt verktyg vid analys och utvärdering av olika funktioner och kan med fördel användas tidigt i produktutvecklingen. Funktionerna listas först i en matris tillsammans med kolumnerna positivt, negativt och intressant. Vidare utvärderas funktionen och lösningen, en markering samt eventuell kommentar sätts sedan i aktuell cell (Österlin, 2011).

4 Genomförande och resultat

Detta avsnitt behandlar hur projektgruppen gått till väga i produktutvecklingsprocessen samtidigt som det fastställer vad genomförandet resulterade i.

4.1 Informationsinsamling

Följande informationsinsamling har genomförts för att samla in relevant information kring produkten samt dess kontext.

4.1.1 Intervju

En internetbaserad telefonintervju genomfördes med en person som arbetar både som instruktör och försäljare av motoriserade surfbrädor och har stor erfarenhet som förare, se bilaga 1. Intervjun var av semistrukturerad karaktär där mestadels öppna frågor ställdes i syfte att samla in kvalitativ information för att få en generell bild av olika problem gällande motoriserade surfbrädor, se 3.1.2.

Det framkom att många konkurrenters handkontroller har tekniska problem i samband med körning. Bland annat har de trådlösa kontrollerna problem med att synkroniseras via Bluetooth till brädan innan körning. De trådlösa kontrollerna kan bete sig inkonsekvent och oförutsägbart i vissa lägen, speciellt gällande kommunikationen med mottagaren i surfbrädan.

Andra detaljer som påtalades var att handkontrollen behöver vara robust, slitstark och kunna tåla stötar och slag som kan uppstå vid användning. Vidare var det önskvärt att stödlinan skulle gå att justera i längd, något som upptäcktes vid surflektioner med personer med olika antropometri. Den intervjuade gav förslag att elkabeln skulle kapslas in alltså gömmas i stödlinan för att få ett stilrent utseende.

Av de kontroller som testats påtalades det att pekfinger gas var att föredra gentemot tumgas, detta på grund av att det upplevdes lättare att vara mer precis med pekfingret. Avtryckarens motstånd bör vara progressivt, det vill säga att den blir trögare ju mer man trycker. Utöver detta skulle det uppskattas om avtryckaren långsamt med lite motstånd returnerar till initialläget efter ett gaspådrag.

Ideér och förslag som framkom i intervjun kan sammanfattas i:

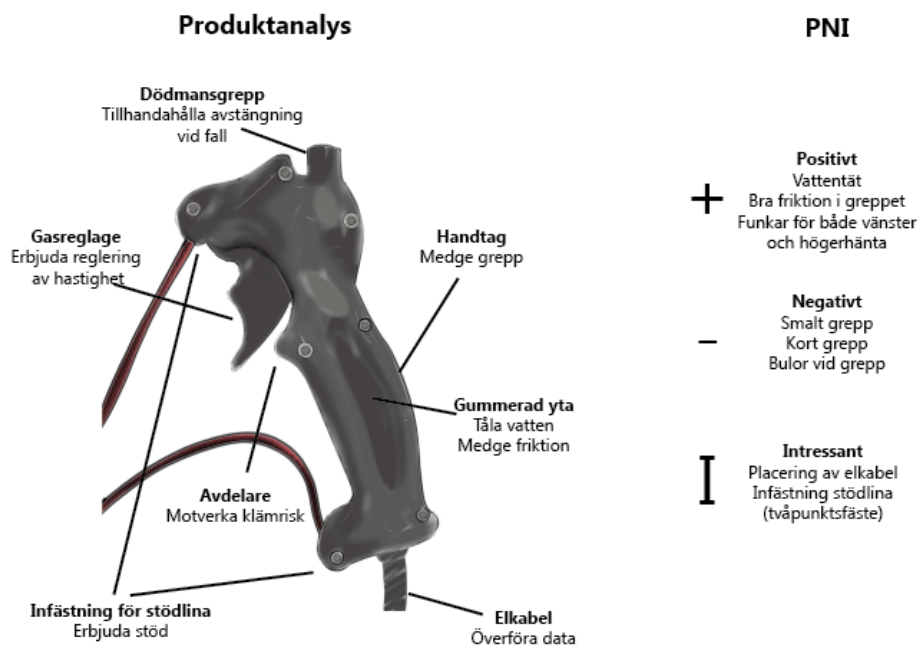
- Slagtålig, robust handkontroll
- Ej trådlös handkontroll, ex. Bluetooth
- Pekfinger gas bättre än tumgas
- Justerbar stödlina i längdsled
- Elkabel dold i stödlina
- Något typ av fäste för handkontrollen på brädan, vid transport och start av åktur
- Progressiv avtryckare

4.1.2 Undersökning av konkurrenters handkontroll

Syftet med att analysera hur konkurrenter har utformat sina handkontroller var att samla viktig information kring vilka funktioner som fungerar bra och vilka som inte gör det. Detta är viktigt för att inte upprepa samma misstag som tidigare utvecklare av handkontroller gjort. Informationen har samlats in via sökning över internet, från den tidigare intervjun och data som Torped AB erhållit. Konkurrenters lösningar har analyserats i form av produktanalyser samt PNI där de mest intressanta funktionerna och utformningarna utvärderats. Denna metod resulterade i en fingervisning kring vad man bör undvika samt tänka på vid utformning av handkontroll till motoriserad surfbräda.

Konkurrent 1

Konkurrent 1 är det ledande företaget inom motoriserade surfbrädor men till skillnad från Torped AB använder de sig av en förbränningsmotor.



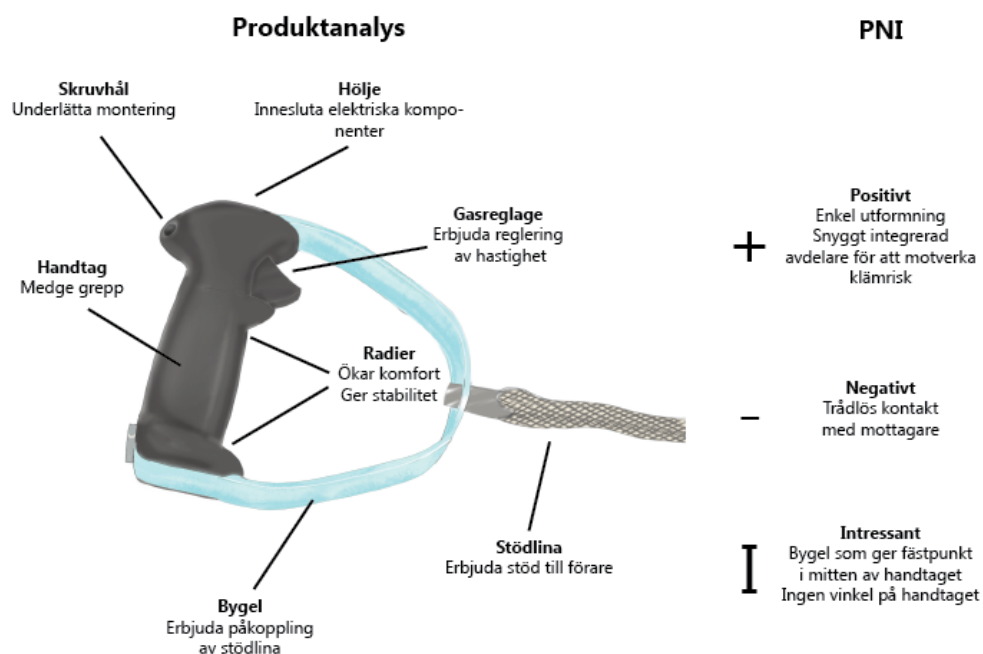
Figur 4.1 - Produktanalys & PNI av konkurrent 1 (Författarens egen bild)

Konkurrent 2

Konkurrent 2 tillverkar liknande surfbrädor som Torped AB som drivs av elektricitet. Två kontroller från denna tillverkare har analyserats. Den första är kommersiellt introducerad och den andra är i ett konceptstadie.



Figur 4.2 - Produktanalys & PNI av konkurrent 2 (Författarens egen bild)



Figur 4.3 - Produktanalys & PNI av konkurrent 2 (Författarens egen bild)

Konkurrent 3

Konkurrent 3 tillverkar motoriserade surfbrädor med elektricitet som kraftkälla. Surfbrädorna är tillverkade med bärplan.



PNI

Positivt
+ Plats för skärm ovanpå
Fungerar för både vänster och högerhänta
Snyggt med nedsänkt skärm

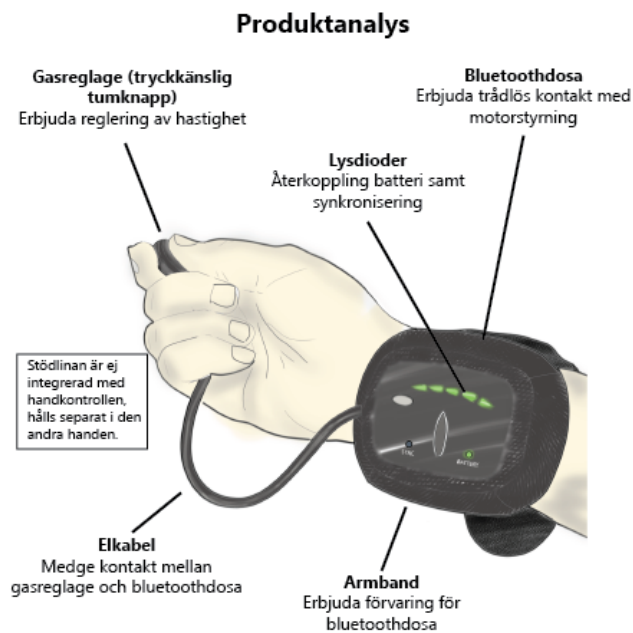
Negativt
- Semantik (ser ut att höra till en dator eller liknande, kan färgen spela in?)
Trådlös

Intressant
I Ser ut som att botten går att skruva av för byte av komponenter
Erbjuder inställning av maxhastighet

Figur 4.4 - Produktanalys & PNI av konkurrent 3 (Författarens egen bild)

Konkurrent 4

Konkurrent 4 tillverkar endast elektriskt drivna surfbrädor och har en betydligt lägre prissättning än resten av konkurrenterna.



PNI

Positivt
+ Signalerar batteritid
Fungerar för både höger och vänsterhänta
Kontrollen går inte att tappa

Negativt
- Jobbig att hålla i
Stödlina måste hållas med andra handen
Trådlös kontakt med mottagare

Intressant
I Lätt vikt
Annorlunda design
Gas med tumme

Figur 4.5 - Produktanalys & PNI av konkurrent 4 (Författarens egen bild)

Sammanfattning av konkurrentanalys

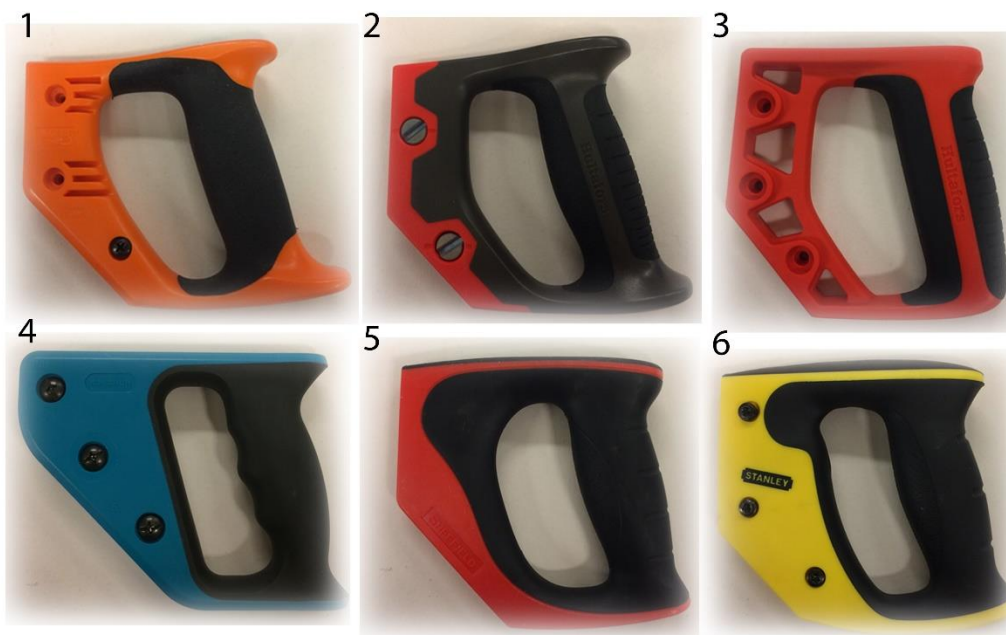
Via produktanalyserna och PNI-utvärderingarna baserade på konkurrenters lösningar framkom intressanta aspekter som var värda att notera. Bland annat ansågs enklare utformning utan bulor för fingrarna se mer stilrent ut vilket överensstämmer med riktlinjerna för ergonomisk utformning enligt 2.7.2. Vidare noterades att enbart ett material tillsammans med många och synliga skruvhål för hela kontrollen gav intrycket av att den såg lågkvalitativ ut, vilket är något detta projekt ämnar undvika.

Många av konkurrenterna använde sig även av trådlös kontroll vilket under intervjun visade på problematik mellan kontrollen och mottagaren i surfbrädan, se 4.1.1. Värt att notera är att de trådlösa handkontrollerna alltså inte kräver någon stödlina fäst i sig. Det ansågs även viktigt att ta med sig lösningen med en bygel som konkurrent 2 hade för ytterligare utvärdering. Det ansågs även angeläget att utvärdera hur väl en integrerad avdelare för avtryckaren fungerar i praktiken. Dessutom ansågs de symmetriska kontrollerna ge intryck av bättre balans i handkontrollen, då den i vissa kontroller såg tunga och klumpiga ut i toppen gentemot botten.

De beskrivna aspekterna ovan var de som viktades tyngst, men allt som noterades i produktanalyserna och PNI:erna fungerade som ett stöd under konceptgenereringsfasen.

4.1.3 Ergonomisk studie av såghandtag

Följande undersökning har genomförts för att ge underlag angående hur handgrepp bör utformas. Såghandtag har undersökts på grund av dess likhet i kraftöverföring och handens förhållande till verktyget. Vid sågning sker en komprimerande och dragande kraft mot handen medan det vid motorsurfing med en handkontroll endast sker en dragande kraft. Likheten mellan situationerna är att kraften ofta verkar horisontellt ut från handen. Ytterligare en likhet är att bägge produkterna oftast används i armbågshöjd eller nedanför. Såghandtagens data blev ett stöd vid den senare konceptualiseringen för att kunna utvärdera och testa olika mått för greppyta. I figur 4.6 visas de såghandtag som har analyserats.



Figur 4.6 - Bild över såghandtag som analyserats (Författarens egen bild)

Såghandtagen mättes enligt figur 2.2. Greppytans längd mättes samt omkretsen runt handtagets greppyta. Omkretsen mättes i mittpunkten på handtagets greppyta. Om handtagets profil ses ovanifrån erhålls en elliptisk form, denna illustreras med stor- och lillaxel, även dessa mått dokumenterades. Vinkeln mellan handtagets och verktygets arbetsriktning mättes för att se hur stor variation handtagen har i jämförelse mot riktlinjerna på 70° - 80 ° enligt 2.7.2. I tabell 4.1 har mätdata sammanställts från såghandtagen.

Såghandtag	Längd greppyta (mm)	Lillaxeln (mm)	Storaxeln (mm)	Omkrets (mm)	Vinkel (°)
#1	100	27	37	107	73
#2	100	29	38	109	71
#3	92	27	38	110	74
#4	104	29	38	114	73
#5	98	30	39	115	75
#6	95	31	41	119	74
Medelmått:	98,2	28,8	38,5	112,3	73,3

Tabell 4.1 - Tabell över mått på såghandtagen (Författarens egen bild)

Informationen kring dessa mått tillsammans med allmänna riktlinjer kom att utgöra en mall för vilken storlek handtagets greppyta borde ha, se 2.7.2.

Vidare analyserades övriga egenskaper handtagen var i besittning av inom projektgruppen. Vid denna utvärdering framkom att vissa av handtagens greppstruktur var bättre än andra och att om handtaget är välvt på sidorna ger det intrycket att vara lite större och ger ett bekvämare och mer ergonomiskt grepp. I tillägg uppenbarade det sig att utbuktning nere och uppe bakpå handtaget gjorde så att det kändes som att produkten vilade i handen då dessa fungerade som ett stöd vilket gav avlastning för handen.

4.2 Funktionsanalys

För att strukturera upp informationen som framkom under informationsinsamlingen sammanställdes önskvärda och nödvändiga egenskaper i en funktionsanalys, se tabell 4.2. Här kombinerades Torped AB:s önskemål och informationsinsamlingen till en lista med öppna funktionsbeskrivningar i form av substantiv och verb. Denna funktionsanalys kom sedan att fungera som ett stöd under idégenereringen och upplägget gjorde att konceptgenereringen kunde fortskrida lösningsoberoende med Torped AB:s önskemål i åtanke.

Funktionsområde	Funktion		Klass	Anmärkning
Huvudfunktion:	Erbjuda	Reglering av hastighet	Nödvändig	Exempelvis gasreglage
Ergonomi				
Delfunktion	Medge	Grepp	Nödvändig	Vänster/högerhänta
Stödfunktion	Medge	Friktion	Nödvändig	Material/textur
Stödfunktion	Leverera	Information	Nödvändig	Via display till förare
Stödfunktion	Återkoppla	Taktilt	Önskvärd	Relation mellan hastighet och avtryckare
Stödfunktion	Motverka	Klämrisk	Nödvändig	Typ avdelare vid avtryckare
Tekniska funktioner				
Stödfunktion	Skydda	PCB	Nödvändig	Från vatten (IP67)
Stödfunktion	Skydda	Magnetiska sensorer	Nödvändig	Från vatten (IP67)
Stödfunktion	Skydda	Magnetisk sköld	Önskvärd	Skydda magnetsensorn från andra magnetfält
Stödfunktion	Skydda	Display	Nödvändig	Från vatten (IP67)
Stödfunktion	Erbjuda	dragavlastning för kabel	Nödvändig	
Stödfunktion	Medge	Fäste	Önskvärd	Av handkontroll vid start
Mekaniska funktioner				
Stödfunktion	Designad	För serietillverkning	Nödvändig	
Stödfunktion	Progressiv	Avtryckare	Önskvärd	
Stödfunktion	Maximera	Slitstyrka	Nödvändig	
Stödfunktion	Erbjuda	Långsam rörelse	Önskvärd	När avtryckaren returnerar till intitalläget
Säkerhets funktioner				
Stödfunktion	Erbjuda	Avstängning	Nödvändig	Vid fall
Stödfunktion	Erbjuda	Fäste	Nödvändig	För stödlina
Stödfunktion	Skydda	Handkontroll	Önskvärd	Vid transport av brädan
Semantiska funktioner				
Stödfunktion	Utstråla	Kvalité	Nödvändig	Tyngd, material, känsla
Stödfunktion	Återkoppla	Formspråk	Önskvärd	Med surfbrädan (t.ex kolfiber)
Stödlina				
Stödfunktion	Erbjuda	Längdjustering	Önskvärd	Av stödlina
Stödfunktion	Motverka	Trassling	Önskvärd	Av stödlina, vid ex. fall, start
Stödfunktion	Tåla	Last	Nödvändigt	Ex 200kg

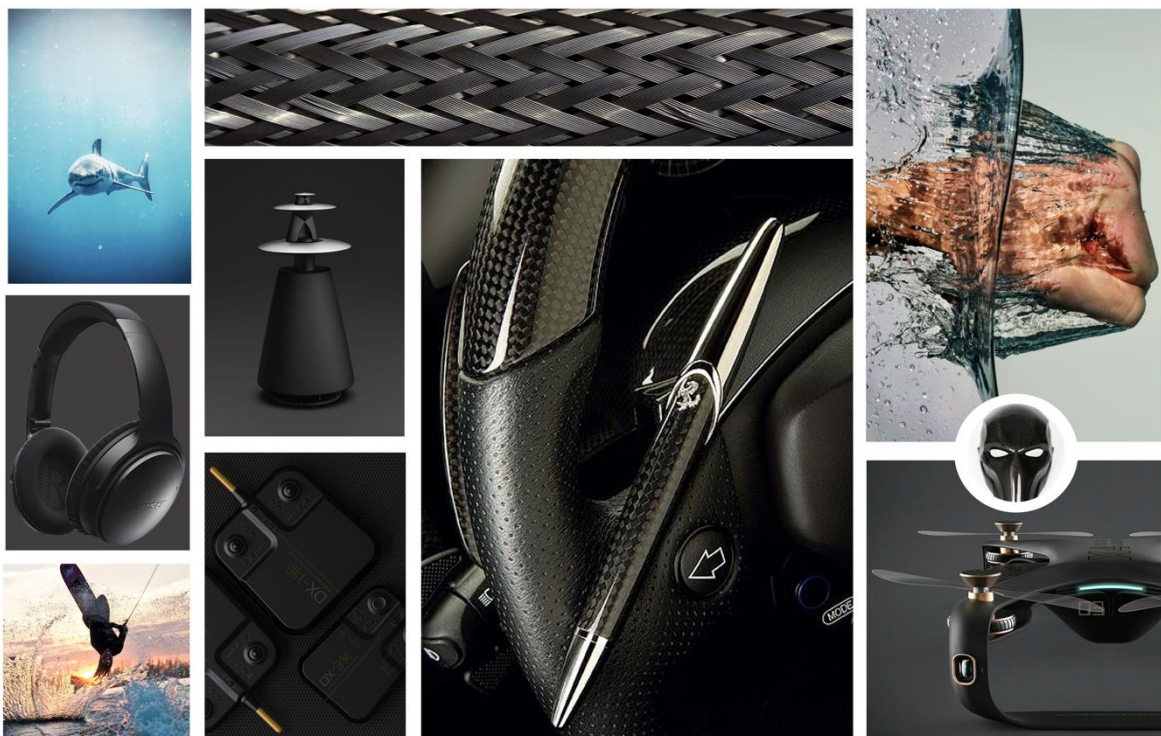
Tabell 4.2 - Funktionsanalys (Författarens egen bild)

4.3 Konceptgenerering

Nedan följer processen kring hur idégenereringen och sammanställning samt utvärdering av idéerna gått tillväga.

4.3.1 Moodboard

Torped AB har beskrivit vad de vill att produkten ska förmedla och för att säkerställa samstämmighet kring detta har en moodboard skapats. Torped AB har som krav att handkontrollen ska utstråla premiumkvalitet och samtidigt passa ihop med tillhörande surfbräda. Projektgruppen har därför tagit fram en moodboard för att på så sätt i ett tidigt stadie vara i samförstånd med företaget kring vad premiumkvalitet är och hur det bör se ut. Moodboarden har efter att ha presenterats och godkänts av Torped AB varit central vid konceptgenerering, val av material och färg.



Figur 4.7 - Moodboard (Författarens egen bild)

Moodboardens bilder är sammanställda ut efter vad projektgruppen och Torped anser utstråla kvalité och premiumkänsla. Hajen och knytnäven illustrerar aggressivitet och kraftfullhet, något som stämmer väl överens med surfbrädans höga prestanda. Flera av bilderna förmedlar olika material och känsla som bilderna på kolfiberväven och olika ytstrukturer på exempelvis drönaren, hörlurarna och ratten.

4.3.2 Idégenerering 1

Idégenereringen inleddes med att genomföra en brainstorming. Brainstormingen gick till på följande sätt:

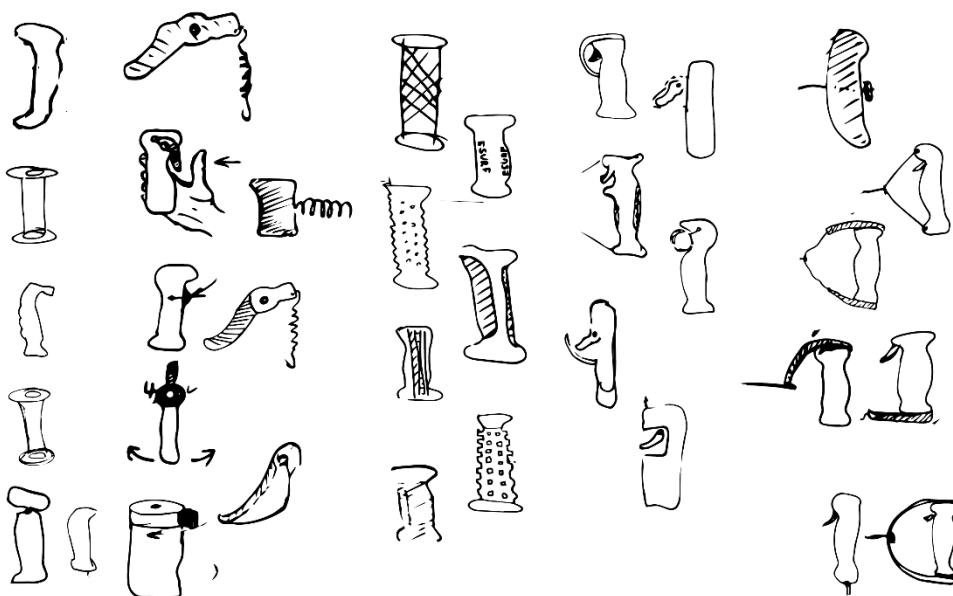
Handkontrollen delades upp efter sina funktioner från funktionsanalysen. Brainstorming skedde sedan i tur och ordning av de olika funktionerna. Utöver detta beaktades även tillverkningsbarhet och olika tillverkningstekniker vägdes in vid brainstormingen. För att vidga idéspektrumet och inte låsa sig vid hur en traditionell handkontroll ser ut användes verben och substantiven från funktionsanalysen. Funktionerna som ansågs nödvändiga och mest kritiska - vilka kom att leda brainstorming sessionen var:

- Erbjuder reglering av hastighet
- Medge grepp
- Medge friktion
- Motverka klämrisk
- Erbjuder fäste (för stödlina)

Vidare användes dessa indelningar av nödvändiga funktioner även vid en brainwritingsession som genomfördes efter brainstormingen.

Denna process itererades och resulterade i en vid mängd av idéer, vissa av dessa begränsades av de tekniska och mekaniska önskemål som Torped AB kommunicerat. Dessa idéer lades därför till sidan för att de idéer som ansågs kompatibla med Torped AB:s önskemål kunde tas vidare i produktutvecklingsprocessen, se figur 4.8.

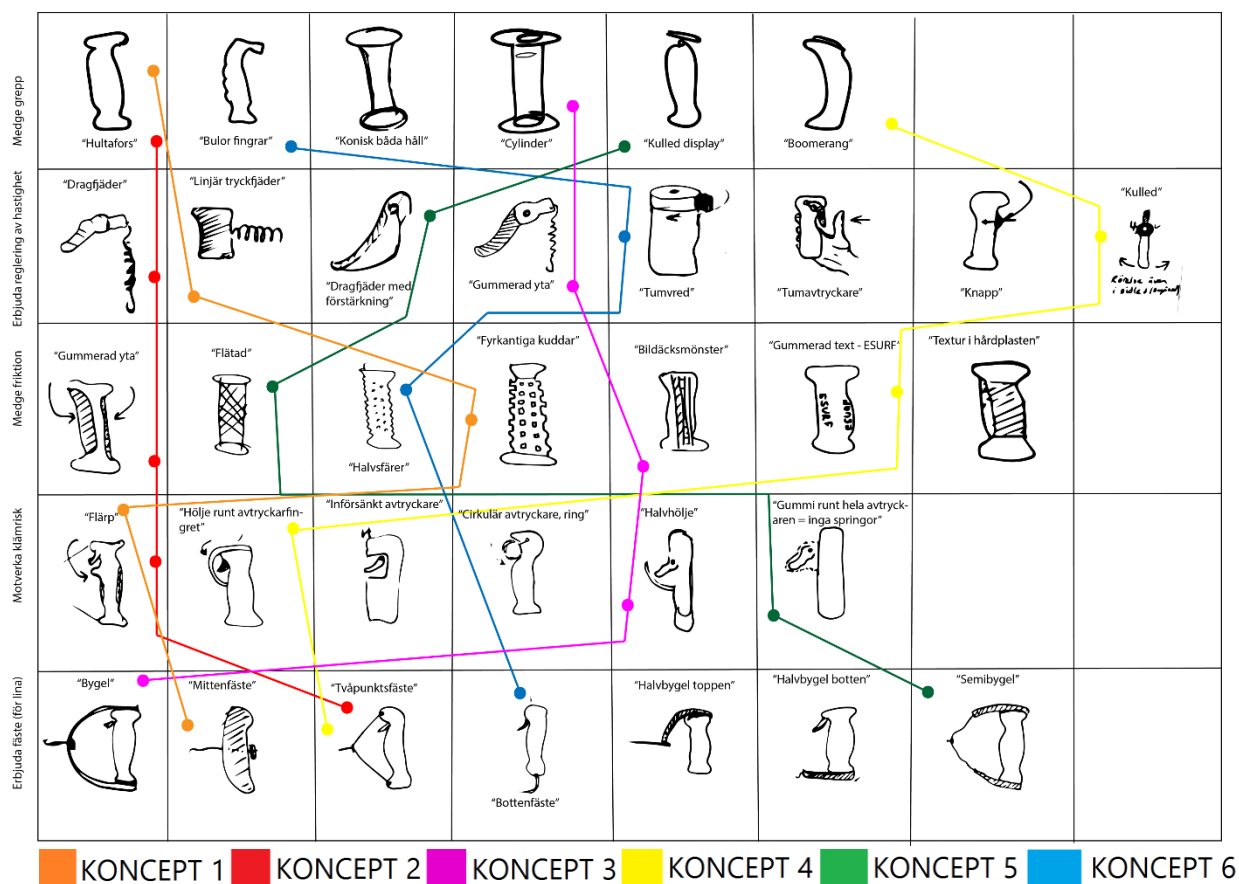
Medge grepp Erbjuder reglering av hastighet Medge friktion Motverka klämrisk Erbjuder fäste (för lina)



Figur 4.8 - Skisser från idégenerering 1 (Författarens egen bild)

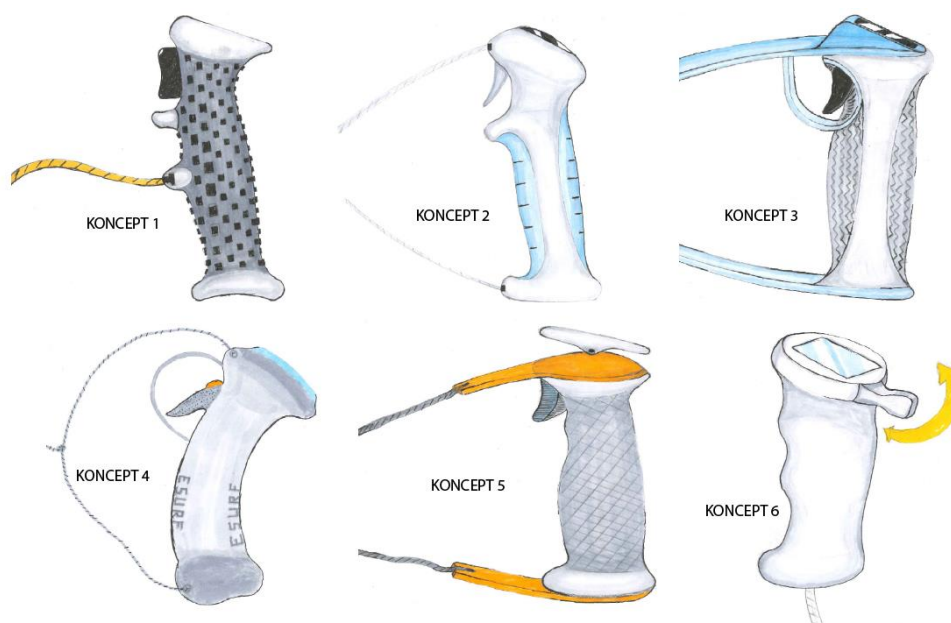
4.3.2 Morfologisk matris

Resultatet från idégenereringsmetoderna ställdes sedan upp i en morfologisk matris för att hitta förenliga kombinationer av de olika funktionerna, se figur 4.9. Totalt kombinerades sex koncept ihop som sedan togs vidare till nästa steg i processen.



Figur 4.9 - Morfologisk matris (Författarens egen bild)

Dessa sex kombinationer illustrerades sedan i utförligare skisser för att se hur de olika funktionerna fungerade i sitt sammanhang, se figur 4.10.



Figur 4.10 - Skisser på koncept 1-6 (Författarens egen bild)

Koncept 1: Koncept 1 har sin kraftöverföring i mitten av handtaget, med en avtryckare som rör sig horisontellt snarare än pivoterande kring en axel. Den är täckt med fyrkanter i gummi för bättre friktion samt utrustad med en avdelare för att motverka klämrisk vid avtryckaren. Formen på handkontrollen är en cylinder med organiska former i topp och botten.

Koncept 2: Koncept 2:s grepp har tagit sin inspiration från ett såghandtag och har gummerad yta för handen. Stöddlinan fästs i över- och underkant på handkontrollen. Avtryckaren har en pivoterande rörelse vars motstånd ges av en dragfjäder. För att motverka klämrisk har greppet försetts med en avdelare strax innan utrymmet för avtryckaren.

Koncept 3: Koncept 3 är utformad med en bygel som resulterar i en fästpunkt för stöddlinan. Konceptet har även en avdelare som går runt hela avtryckaren. Handkontrollen har gummerad yta på bak och framsiden.

Koncept 4: Koncept 4 är snarlik koncept 2 men har en form som påminner om en bumerang. Avtryckaren är avsedd för pekfingeret och för att motverka klämrisk sitter ett hölje runt avtryckaren. Avtryckaren är även försedd med en kulle vilket medför att den kan röra sig lite i sidled, se morfologisk matris. För att uppnå högre friktion för greppet har kontrollen en gummerad yta i form av företagets logotyp.

Koncept 5: Detta koncept är utformat med fästpunkter i en halvbygel för att motverka att stöddlinan trycks mot fingrarna vid kraftig lutning. Handkontrollen har även en lutningsbar skärm som möjliggör manuell inställning av lutningen på skärmen. Greppytan är i gummi med ett flätat mönster för bättre friktion samt av estetiska skäl. Detta koncept har en integrerad avdelare i hur avtryckaren är utformad vilket inte ger något utrymme för klämrisk.

Koncept 6: Detta koncept särskiljer sig mycket med att ha ett gasreglage som styrs med en vridande rörelse av tummen. Formen på greppytan har urtag för att fingrarna ska få plats och ge ett stabilt grepp då tummen inte kan ta upp något av dragkraften från linan. Stöddlinan är fäst i botten av handkontrollen.

4.3.3 PUGH - Matris

För att sälla bland koncepten gjordes en PUGH-matris. De viktigaste funktionerna som valdes ut för idégenereringen användes för att se hur väl varje koncept uppfyllde funktionerna, se tabell 4.3. Som referenslösning användes Torped AB:s befintliga prototyphandkontroll, därav sattes uppfyllnadsvärdet till "0" för samtliga funktioner på denna. Koncepten bedömdes och gavs ett betyg mellan -5 och 5 beroende på om de uppfyllde funktionerna sämre eller bättre än referenslösningen.

Funktioner	Referens	1	2	3	4	5	6
							
Medge grepp	0	1	2	0	-1	1	0
Erbjuda gasreglage	0	-1	0	0	-1	0	-1
Medge friktion	0	2	1	1	1	1	0
Motverka klämrisk	0	1	2	1	1	0	2
Erbjuda fäste för lina	0	-2	0	1	0	1	-1
Totalt:	0	1	5	3	0	3	0

Tabell 4.3 – Pugh-matris (Författarens egen bild)

Konceptförslag 1 med stöddlinan i mitten av handtaget hade en enkel form i greppet och belagd med en gummistruktur i form av kvadrater. Denna fick högre betyg i "medge friktion" men sämre för att erbjuda fäste för linan då konstruktionen förmodades resultera i ett instabilt stöd för föraren. För att styrka detta gjordes även en 3D-modell för att kunna känna på formen, se 4.3.4. Även avtryckaren som är horisontell i sin rörelse snarare än pivoterande fick lägre poäng på grund av minskad precision.

Koncept 2 fick högst betyg av samtliga koncept. Till stor del på grund av dess enkelhet och ergonomiskt utformade grepp. Koncept 2 verkade även inneha en väl fungerande lösning för minimering av klämrisk för avtryckaren.

Bygelkonstruktionen som koncept 3 innehade antogs erbjuda ett stabilare fäste för stöddlinan än de koncept som hade linan direkt fäst i handkontrollen. Bygeln återfanns delvis även i koncept 5 som en "halvbygel" vilket även där vägde upp poängen.

Greppet på koncept 4 var ganska onaturligt och antogs resultera i tryckpunkter i änden av handen, därav fick detta en lägre poäng för "medge grepp". Koncept 6 hade ett likvärdigt grepp som referenshandkontrollen men dess tumgasreglage drog ned poängen vid denna funktion.

4.3.4 3D modeller

För ytterligare utvärdering av de enligt Pugh matrisen bästa koncepten tillverkades 3D skisser med hjälp av cellplast och modellera. Att tillverka enkla modeller var nödvändigt för att kunna utvärdera ergonomin och hur de olika funktionerna samspelade. I figur 4.11, 4.12 och 4.13 visas modellerna som realiserades i cellplast och lera. De som realiserades var koncept 1, koncept 2 och en kombination av koncept 3 och koncept 5. Projektgruppen valde att slå ihop koncept 3 och koncept 5 på grund av dess höga poäng vid funktionen erbjuda fäste för lina. För att kunna utvärdera denna funktion i ett verkligare sammanhang tillverkades bygeln i två

steg, där halvbygeln och helbygeln utvärderades efter hand. Lermodellerna utvärderades inom projektgruppen samt tillsammans med Torped AB.



Figur 4.11 - Konzept 1
(Författarens egen bild)

Konzept 1

Vid utvärdering av koncept 1 framkom att fäste för linan i mitten av handtaget kändes onaturligt och utbuktningen i mitten kändes i vägen för övriga fingrar. Eftersom handkontrollen ska innehålla både precisionsrörelser med pekfingeret samt kraftgrepp med övriga fingrar, beslutades att lämna idén om fäste för linan i mitten av handtaget.



Figur 4.12 - Konzept 2
(Författarens egen bild)

Konzept 2

Detta koncept var i sin helhet väldigt skönt att greppa och kändes naturligt i handen. Dock framkom det under utvärderingen att en avdelare påverkar hur man greppar handtaget, vilket kan göra det svårt för användaren att greppa det på olika sätt. Samtidigt har det sin funktion i att skydda gasreglaget från att tryckas på oavsiktligt. Detta är något projektgruppen kommer ha i åtanke vid beslut om avdelare skall finnas och hur den i så fall ska utformas för så behaglig användning som möjligt.



Figur 4.13 - Konzept 3
(Författarens egen bild)

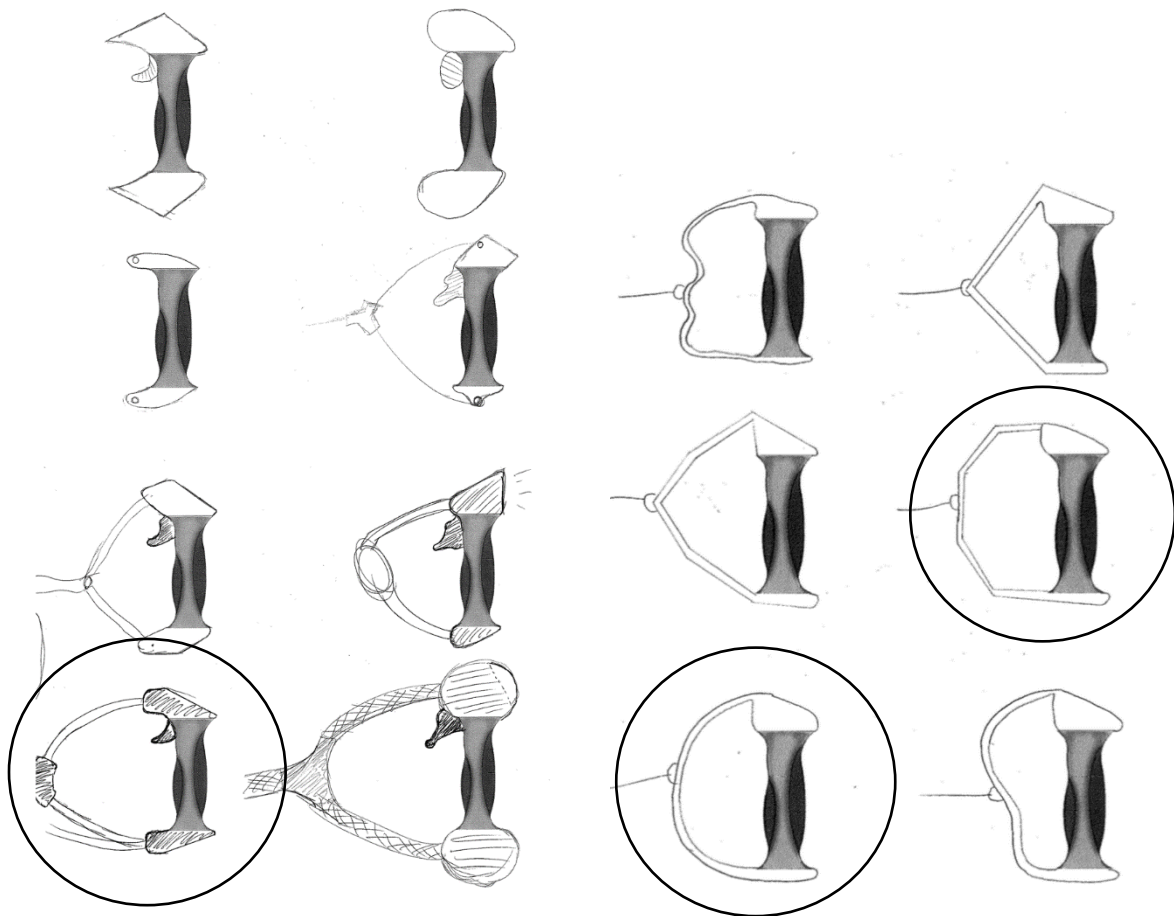
Konzept 3

Gällande avdelaren i detta koncept ansåg projektgruppen att den var alldeles för stor och styrande i hur brukaren sätter sina fingrar runt handtaget. Med ett skydd runt hela avtryckaren gör man det även svårare att växla mellan höger- och vänsterhand. De olika byglarna som testades i detta koncept var intressanta och vid korrekt måttbestämning kan en bygel eller halvbygel möjliggöra separation mellan lina och hand vilket motverkar skador och gör kraftgreppet mer stabilt. Gemensamt för alla koncept var att längden på greppytan var för kort. Det är i detta stadie noterat och kommer rättas till vid senare modellbygge.

4.3.5 Idégenerering 2

Utifrån lermodellerna återstod endast två koncept, därför genomfördes en iteration av idégenereringen för att få fram fler varianter på dessa koncept. Ytterligare en brainwriting-session hölls för att få fram olika formspråk och funktioner grundade i koncept 2 och 3. Den största skillnaden mellan koncept 2 och 3 är hur infästningen är konstruerad. Koncept 2 har stöddlinan direkt infäst i höljet medan koncept 3 har en bygel där stöddlinan fästs.

Metoden genomfördes på följande sätt: koncept 2 som under idégenereringen tagits fram och som enligt Pugh-matrisen fick högst poäng användes som grund och projektgruppen utgick från denna för att få fram fler alternativ till topp, botten samt fästeanordning av linan. Även koncept 3 med helbygel itererades för att bilda varianter med olika utseende. I figur 4.14 visas resultatet av denna metod, med bygellösningens skisser till höger.



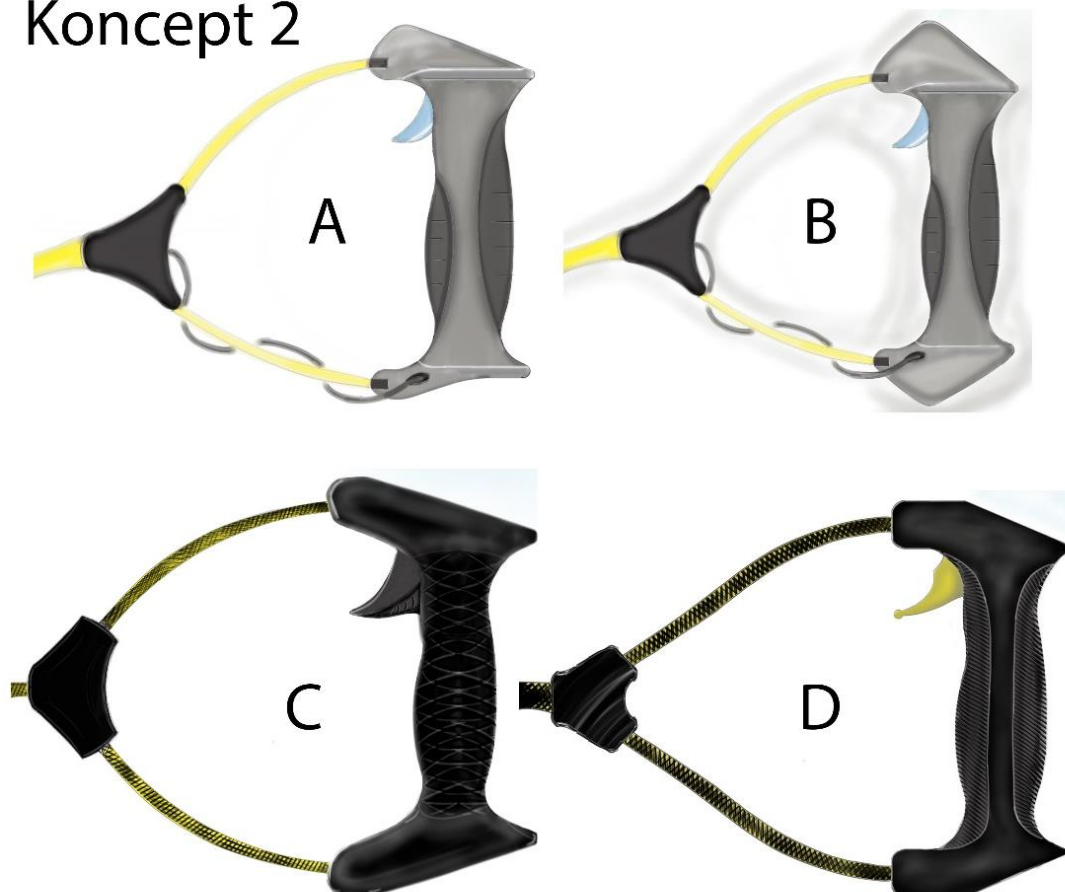
Figur 4.14 - Skisser från idégenerering 2 (Författarens egen bild)

Av alternativen i figur 4.14 valdes de inringade varianterna ut för utförligare illustrationer, se figur 4.15. Dessa valdes på grund av dess symmetri och geometriska form som stämde väl överens med tidigare moodboard.

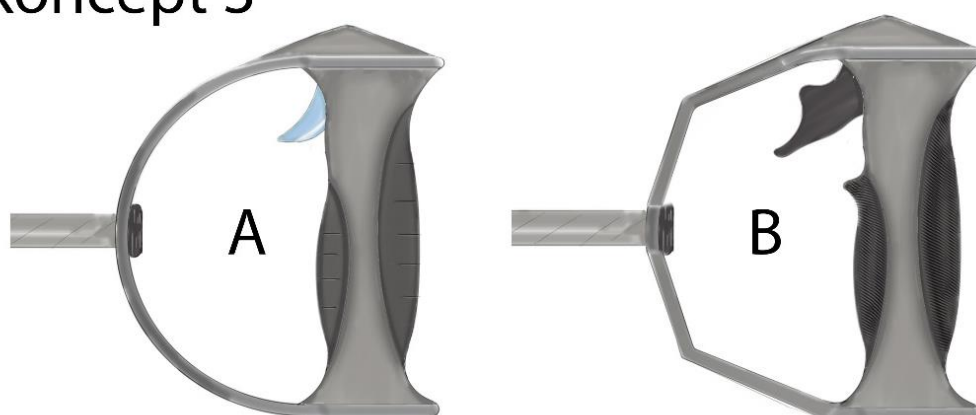
4.3.6 Digital skissning

För att bättre kunna illustrera de två koncepten och utforska olika varianter skissades de upp utförligare i en digital miljö, se figur 4.15.

Koncept 2



Koncept 3



Figur 4.15 - Digitala skisser på koncept 2&3 (Författarens egen bild)

Av koncept 2 genererades fyra olika varianter, 2A, 2B, 2C och 2D och av koncept 3 två varianter; 3A och 3B. Skillnaden mellan varianterna är dels formspråk men även att C och D har elkabeln integrerad i stöddlinan.

4.3.7 Utvärdering koncept 2 & 3

En utvärdering av de två olika koncepten samt dess varianter genomförde tillsammans med Torped AB. Under mötet presenterades tidiga skisser, morfologisk matris samt lermodellerna på koncept 2 och 3. Företaget fick här möjlighet att ge synpunkter kring de olika koncepten och vilka som bäst överensstämde med deras vision av handkontrollen.

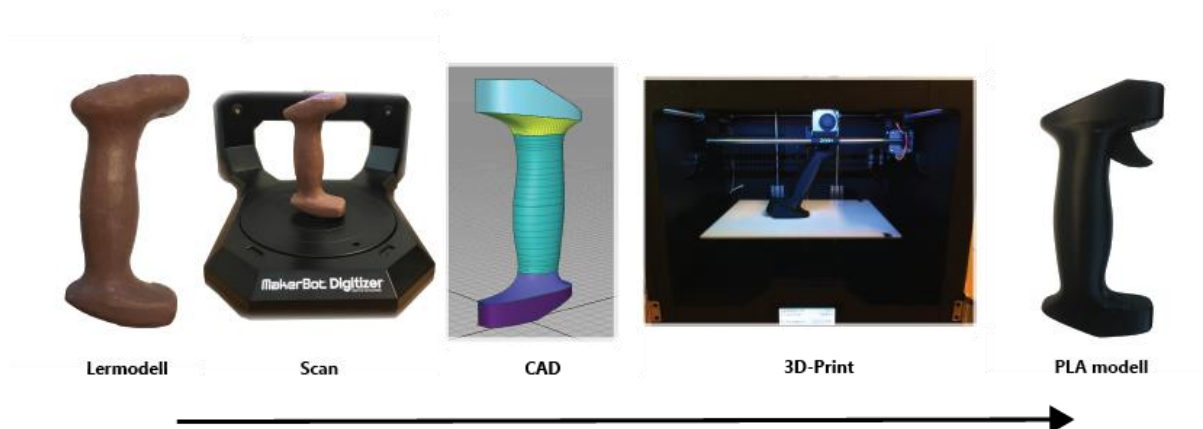
Det framkom vid utvärderingen av lermodellerna och skisserna att en bygellösning för att fästa stödlinan upplevdes klumpig. Vidare skulle det försvåra den önskvärda funktionen att leda elkabeln dold från handkontroll till bräda. Detta på grund av att bygel hade behövt bli så pass tjock att handkontrollens estetiska uttryck hade påverkats negativt. Ytterligare ansågs en bygellösning riskera att göra det svårt för användaren att hålla fast i brädan vid start. Därav valdes koncept 3, bygelkonceptet, att inte tas vidare i konceptualiseringen.

Vid utvärderingen påtalades det att de varianter av koncept 2 som var symmetriska, variant B,C och D, kunde resultera i att bli otympliga. Detta på grund av displayens utrymmeskrav för överdelen av handkontrollen skulle orsaka att bottendelen blir onödigt stor. Denna feedback resulterade i att variant B och C valdes bort.

Variant D upplevdes ha tilltalande design och premiumkänsla, trots symmetrin togs denna således vidare i konceptualiseringen för att undersöka hur en mer verklighetstrogen modell skulle kunna se ut. Variant A gick även den vidare för konceptualisering då formspråket och enkelheten var framträdande.

4.4 Konceptualisering

För att realisera varianterna av koncept 2 har de skrivits ut i en 3D-skrivare i PLA-plast. Modelleringens tillvägagångssätt har sitt ursprung i reversed engineering, se 3.3.2. Konceptualiseringen har genomförts på detta sätt för att enkelt via lermodellen kunna utvärdera mått och på så sätt erhålla mer exakta mått i CAD-programmen och därmed spara tid och material vid 3D-skrivning. I figur 4.16 visas hur konceptualiseringen gått till väga.



Figur 4.16 - Arbetsgång, konceptualisering (Författarens egen bild)

En lermodell har först byggts i cellplast och lera. Lermodellen var enkel att ändra och utvärdera efter hand och blev därmed en bra grund att jobba utifrån. Lermodellen har sedan scannats in med hjälp av 3D-Scanner. Scanningen skapade en kopia av lermodellen i form av

en polygonmodell som sedan importerades till Alias där NURBS-kurvor skapades utefter polygonmodellen.

För att sedan kunna 3D-skriva Alias-modellen har den överförts till Catia V5, där den sedan förberetts genom att göras solid. Den solida modellen flyttades sedan till ett så kallat slicer program; simplyfy 3D där ytterligare förberedelser som stödmaterial lades till för att sedan skriva ut modellen i PLA-plast via en 3D-skrivare.

4.4.1 Variant A



Figur 4.17 - 3D-utskriven modell av variant A (Författarens egen bild)

I figur 4.17 visas en 3D-utskriven modell av variant A. Toppen är anpassad för att få plats med all elektronik och mekanik samtidigt som den är vinklad för att rikta displayen naturligt mot brukaren. Greppytan är ergonomiskt anpassad i storlek med en viss kurvatur fram för de tre nedre fingrarna för kraftavlastning gentemot pekfingret som är tänkt att användas till reglering av gas. Greppytan har även en bula bak på handtaget för att det bättre ska vila i handflatan. Som kan ses på bilden är botten på handtaget mindre än toppen och mer avrundat för att spara material vid tillverkning.

4.4.2 Variant D



Figur 4.18 - 3D-utskrivna modeller av variant D (Författarens egen bild)

I figur 4.18 visas en 3D-utskrivna modell av variant D. I likhet med variant A är även denna variants topp anpassad för att få plats med all elektronik och mekanik. Toppen har också här en lutning på 20 grader av bekvämlighetsskäl för brukaren. Greppytan är i formen lik variant A med 2 mm mindre omkrets för att senare kunna utvärdera om personer föredrar ett större eller mindre grepp. Botten på denna variant har exakt samma mått som toppen för att uppnå symmetri i formen. Variant D är även mer kantig än Variant A i både toppen och botten, vilket ger ett mer aggressivt utseende.

4.4.3 Utvärdering av varianter

För att i detta skede kunna utvärdera de två varianterna har 8 män och kvinnor i åldrarna 19 - 30 år tillfrågats att bedöma modellernas estetik och bekvämlighet gällande form och storlek samt verbalisera vad de tänkte kring varianterna, se 3.4.2. Personerna som tillfrågats är alla studenter på Chalmers Tekniska Högskola med inriktning mot design och produktutveckling. Testpersonerna fick först avgöra vilken av handkontrollerna som var mest bekväm. Deltagarna fick sedan ge handtagen poäng mellan 1 och 3, där 3 var mest bekvämt och 1 var minst bekvämt. Testet gällande estetik genomfördes på samma sätt. Nedan följer resultatet av undersökningen:

Testperson:	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	Totalt
Estetik									
Variant A	1	1	1	2	2	1	1	1	10
Variant D	2	2	2	3	1	3	3	3	19
Bekvämlighet									
Variant A	2	2	3	3	2	1	1	1	15
Variant D	1	3	1	2	1	2	2	2	14

Tabell 4.4 - Tabell med poängsättning av varianterna (Författarens egen bild)

Som tabell 4.4 visar fick Variant D högst poäng gällande estetik medans Variant A fick högst poäng vid test av bekvämlighet.

4.4.4 Val av variant

Vid val av variant gällande koncept 2 har flera aspekter tagits i beaktning. Dels utvärderingen i avsnitt 4.4.3, dels projektgruppens åsikter samt Torped AB:s önskemål vägdes in vid val av variant. Krav som funnits med sedan start och framkommit efter hand gällande handkontrollen togs hänsyn till, en detaljerad kravspecifikation visas i avsnitt 4.4.5.

Variant D ansågs via de olika utvärderingarna vara den estetiskt mest tilltalande kontrollen, främst på grund av dess geometriska symmetri. Variant A var enligt undersökning att föredra gällande bekvämlighet och storlek.

Då varianterna hade en tydlig uppdelning i positiva egenskaper ansåg projektgruppen det värt ett försök att kombinera de positiva egenskaperna i varianterna för att skapa en modell som var både bekväm och snygg.

För att kombinera dessa modeller behölls symmetrin från Variant D och bekvämligheten samt formen på greppytan från Variant A. Ur denna kombination växte en från sidan symmetrisk och bakifrån asymmetrisk handkontroll fram som förenade Variant Ds symmetri med Variant As nätthet och bekvämlighet. Nedan visas kombinationen av dessa varianter som kom att bli det slutliga valet gällande grundform.



Figur 4.19 - 3D-utskriven modell, kombination av variant A & D (Författarens egen bild)

4.4.5 Kravspecifikation

Vid detaljkonstruktion av det valda konceptet ansågs det tillbörligt att färdigställa en detaljerad kravspecifikation. Detta gav en sammanställd bild över vilka krav som ställs på handkontrollens konstruktion, se tabell 4.5. Anledningen till att kravspecifikationen färdigställdes sent i produktutvecklingsprocessen beror på viljan att vara lösningsoberoende vid idégenereringen. Torped AB:s krav har uttryckts som önskemål och har därmed under hela processen beaktats utan att inverka på lösningsrymden. Kravspecifikationen har fyllts på under arbetets gång med krav som framkommit genom datainsamling, test av fysiska modeller och dialog med Torped AB.

Chalmers		Dokumenttyp	Kravspecifikation		
		Kravspec. Examensarbete	Handkontroll motoriserad surfbräda		
Gustav & Fredrik			Skapad: 2018-04-15		
			Modifierad: -		
	Kriterier	Kommentar	Målvärde	K/Ö	Verifieringsmetod
1.	Tekniska och funktioner				
1.1	Dragavlastning	För elkabel till kontroll	200 kg	K	Beräkningar
1.2	Fästpunkt i handkontroll	För att fästa i bräda vid start		Ö	
1.3	Gasreglage	Erbjuda justering av hastighet	Justerbar inom ett visst intervall	K	Test
1.4	Avtryckare	Progressiv (Mer gas, mer motstånd)	Naturlig i relation till hastighet	Ö	Test
1.5	Avtryckare	Tid för avtryckare att returnera till initialläge	1-2 sekunder	Ö	Test
2.	Dimensionering				
2.1	Vikt	Handkontroll exkl. lina	100 - 400 g	K	
2.2	Greppyta	Längd	≤ 120 mm	Ö	
		Djup	≤ 35 mm	Ö	
		Bredd	≤ 50 mm	Ö	
2.3	Internt (Toppyta)	Plats för display	B: 36, L: 25, H: 1,4 (mm)	K	
2.4	Internt	PCB	B: 41, L: 61, H: 9 (mm)	K	
2.5		Mekanik avtryckare	Typ fjädrar, axel osv	Ö	
2.6		Magnet	Diameter: 9 mm	K	
2.7		Magnetisk sensor	Diameter: 12 mm	K	
3.	Inkapsling				
3.1	Kapslingsklassning	Skydda elektriska komponenter från vatten	IP67	K	Test
3.2	Isolera magnetsensorn	Från oönskade magnetfält		K	Test
3.3	Synlig display	Skyddshölje transparent		K	Test
4.	Hållfasthet				
4.1	Avtryckare	Utmattningstålighet	1000 Åkturer	Ö	
4.2	Linfäste	På handkontroll	1500 Åkturer	Ö	
5.	Material				
5.1	Yttre komponenter	Tåla UV-Strålning	1500 Åkturer	Ö	
		Saltvatten	1500 Åkturer	Ö	
6.	Säkerhet				
6.1	Död mans grepp	Avstängning vid fall	Omedelbart vid fall	K	
6.2	Avdelare	Mellan gasreglage och övrig greppyta	Motverka klämrisk	Ö	
7.	Tillverkning				
7.1	Serietillverkning	Utformad för serieproduktion	200-1000 st	Ö	
8.	Ergonomi				
8.1	Grepp	Passa för vänster och högerhänta	Symmetrisk	K	
8.2	Greppytan	Friktion	Minimera risk att tappa handkontroll	K	
8.3	Display	Information till förare	Hastighet	Ö	
			Batteristatus	K	
			Motortemperatur	Ö	
9.	Förankring bräda				
9.1	Längdjustering	Av förankring	Justeringsmån: 200 mm	Ö	
9.2	Förankring	Tåla last	500 kg	K	Beräkning

Tabell 4.5 - Kravspecifikation (Författarens egen bild)

Kravspecifikationen innehåller dels önskvärda funktioner samt krav. Flera av kraven kommer kräva ytterligare funktionella tester och beräkningar för att verifieras, något som inte projektet omfattar. Prototypen tillverkas endast i mån av tid på grund av projektets avgränsning.

4.5 Detaljkonstruktion av valt koncept

Detta avsnitt behandlar hur detaljkonstruktionen av slutgiltigt koncept gick till. Handkontrollens olika komponenter konstruerades utifrån de krav som sammanställdes i kravspecifikationen, 4.4.5.

4.5.1 Tillverkning

Tillverkningsmetod har varit i åtanke sedan första idégenereringen, dock har inget konkret beslut tagits om vilken metod som kommer att användas. Vid diskussion med Torped AB framkom att seriestorleken kommer att vara begränsad till en början, då produkten är helt nyutvecklad.

Förslagsvis kommer handkontrollen i startskedet att 3D-skrivas med SLS-metoden för att kunna hålla nere kostnaden för tillverkning, se 2.3.3. I ett framtidsscenario där handkontrollen kan komma att tillverkas i fler antal kommer formsprutning att bli ett bättre alternativ. Detta ledde till att slutkonceptet designades för formsprutning, men även på sådant sätt att den kan 3D-skrivas.

4.5.2 Tekniska funktioner

Nedan beskrivs hur detaljkonstruktionen gått tillväga för de tekniska funktioner handkontrollen innehåller.

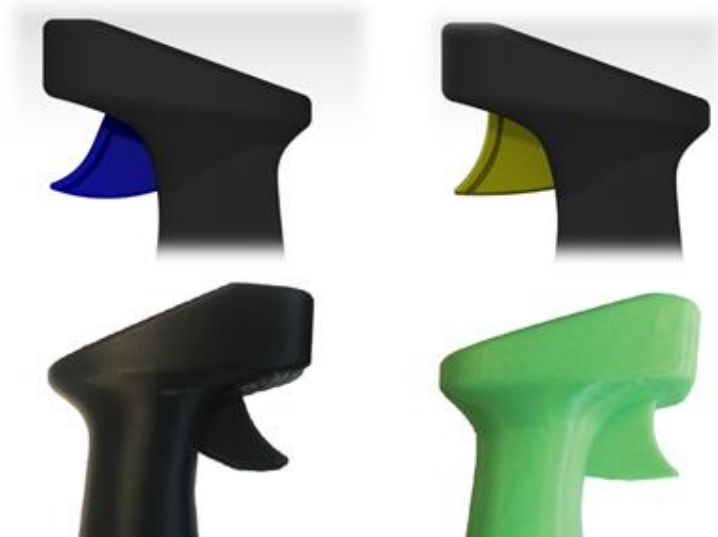
Grepp

Dimensionerna och formen på greppet för slutkonceptet konstruerades med tidigare analyser och tester som grund. Ler- och skummodellerna tillsammans med idégenereringen gav en tydlig riktlinje för hur handtaget bör utformas, detta i kombination med såghandtagsanalysen och de ergonomiska direktiven från teoretisk referensram gav slutgiltig dimensionering och form.

Det var önskvärt att erbjuda en greppyta med högre friktion, detta konstruerades genom att integrera ett tjockare ytskikt av ett annat material på handkontrollens greppyta.

Avtryckare

Vid konstruktion av avtryckare har flera parametrar beaktats. Enligt informationsinsamling och utvärdering skall avtryckaren vara: ergonomiskt utformad, progressiv, anpassad för tillverkning och pekfingret. Utformningen av avtryckaren har skett genom kontinuerlig testning via 3D-skrivning. Vid test av lermodellerna noterades att en avdelare för att motverka klämrisk var obekvämt, se 4.3.4. Detta ledde till att en avtryckare ”utan springa” valdes, som bland annat koncept 5 i idégenereringen 1 innehade. I figur 4.21 visas fyra olika alternativ på avtryckare som utvärderats.



Figur 4.21 - Olika utformning för avtryckaren (Författarens egen bild)

Vidare har avtryckaren valts att utvecklas med en fjäderkonstruktion. I figur 4.22 visas ett test som genomförts för att se att detta fungerar i denna specifika konstruktion och att fjädern får plats att fästas i höljet av handkontrollen.



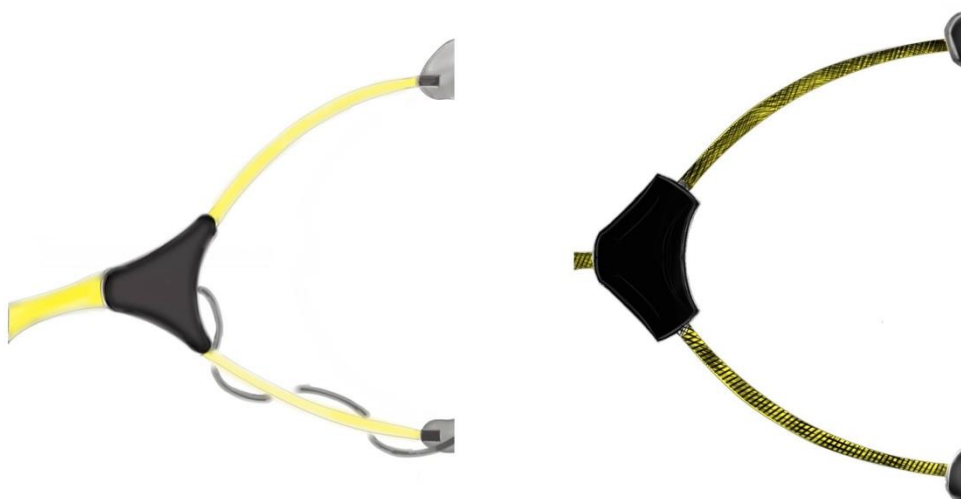
Figur 4.22 - 3D-modell för test av mekanism för avtryckare (Författarens egen bild)

Efter kontinuerlig testning och mätning har en slutgiltig form och konstruktion av avtryckaren bestämts. För att kunna konstruera och testa den så används en pivoterande rörelse via en axel där en sensor känner av hur mycket avtryckaren trycks in och sänder signal till kretskortet och sedan vidare till motorn. Hur mycket fart man får i relation till hur mycket man trycker in avtryckaren går att programmera och lämnas för Torped AB att bestämma.

Stödlina

I figur 4.23 visas skisser på två koncept gällande stödlinan där komplexiteten inte ännu undersökts. Konceptet till vänster fungerade som en reservlösning om lösningen till höger visade sig allt för komplex i praktiken.

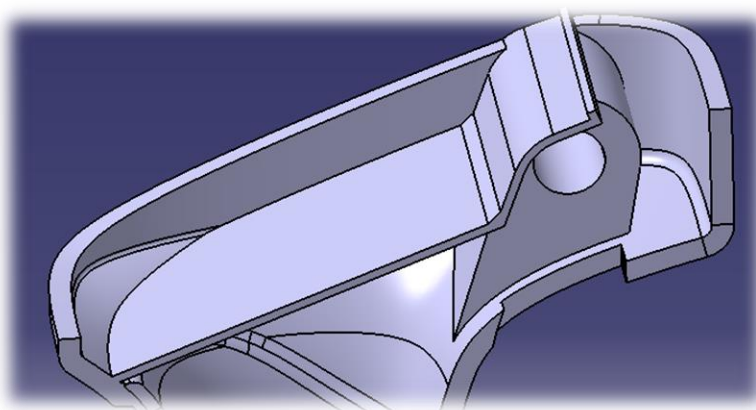
Alternativen är snarlika med enda skillnaden i att kabeln i alternativet till höger är dold inuti stödlinan. På det vänstra alternativet är elkabeln blottad genom att vara virad runt linan som fästs i handkontrollen. Arbetet omfattar inte i huvudsak själva stödlinan, därav är lösningen mer konceptuell än för handkontrollen. Själva linan kommer vara av samma typ som Torped AB använt sig av tidigare.



Figur 4.23 - Digitala skisser på stödlina (Författarens egen bild)

Elektriska komponenter

De elektriska komponenterna kräver inkapsling för skydd mot fukt. Detta ledde till att handkontrollen konstruerats så att kretskortet, gassensorn och dödmansgrepp har inneslutits i ett utrymme i toppen av handkontrollen. Detta utrymme är avdelat från resten av handkontrollen med en vägg i höljet, se figur 4.24. Montering av dessa elektriska komponenter samt reparation kommer kunna ske då toppen av handkontrollen går att skruva av. Utrymmet kommer att kunna tätas med tätningsmassa och hålla de kritiska komponenterna skyddade.



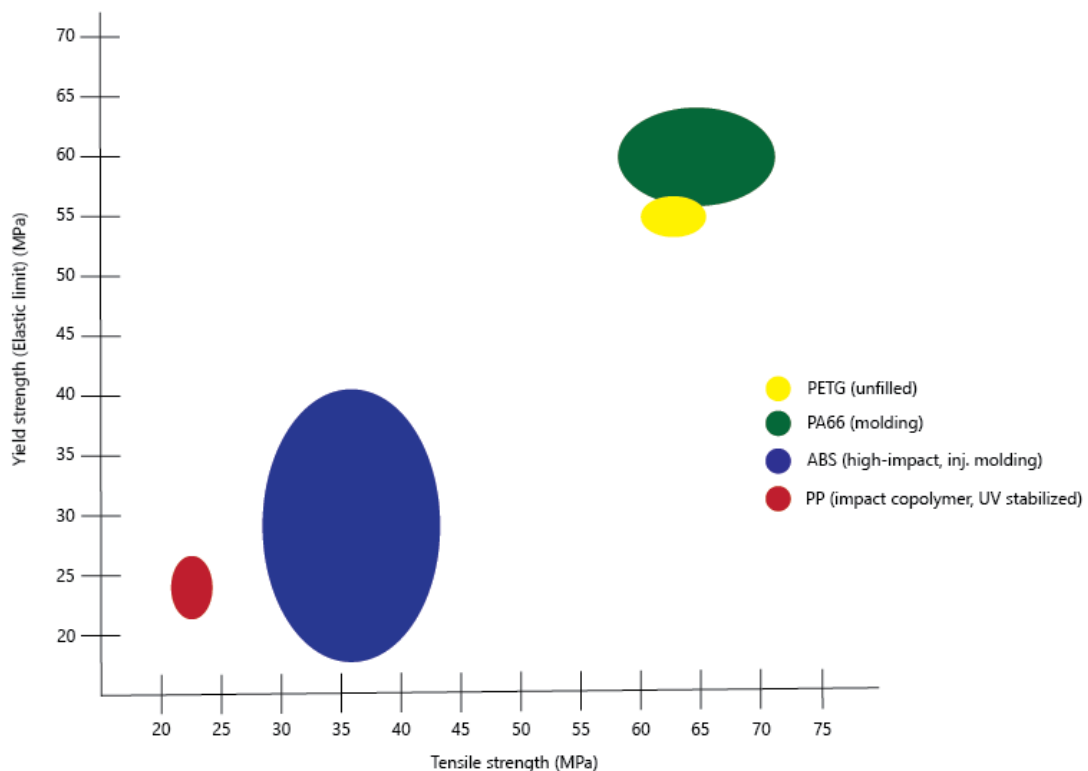
Figur 4.24 - Bild ur Catia, detaljkonstruktion för toppen av handkontrollen (Författarens egen bild)

"Dödmansgrepp" är en funktion som är nödvändig för att surfbrädans motor skall stängas av vid fall. Funktionen har konstruerats likt konkurrenterna där en magnet sitter i toppen av handtaget, vinklad mot föraren för att förenkla för dödmansgrepp att åka ur vid fall, se figur 4.31.

4.5.3 Materialval

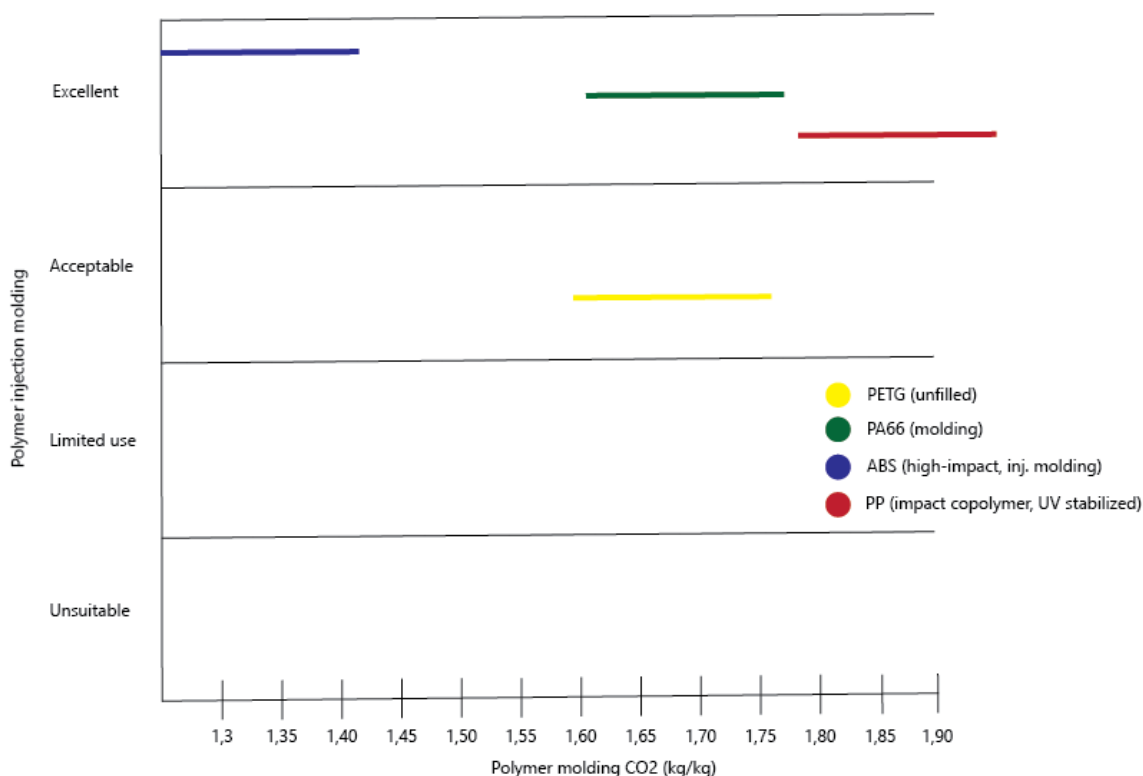
På grund av tillverkningskraven i tillägg till plasts egenskaper har valet fallit på att använda plast vid tillverkning av handkontrollen. Valet av material har sitt ursprung i att metall är alldeles för hårt och tungt att använda då det medför en säkerhetsrisk vid fall och trämaterial har uteslutits på grund av tillverkningssvårigheter.

Vidare fanns osäkerhet kring vilken slags plast som bäst uppfyllde de beskrivna egenskaperna i avsnitt 2.1. Nedan redovisas processen vid val av vilken plast som borde användas till handkontrollen där flertalet plaster jämförts i CES Edupack gällande E-modul, styrka, CO₂ utsläpp samt tillverkningsbarhet.



Figur 4.25 - Graf som illustrerar sträckgräns (Y-axeln) & brottgräns (X-axeln) för olika plaster (Författarens egen bild)

I figur 4.25 visas fyra olika plaster där de i CES Edupack rangordnats efter dess sträckgräns och brottgräns. Som kan utläsas ur diagrammet ovan har PA66 (Polyamid) högst i båda kategorierna.



Figur 4.26 - Graf som illustrerar lämplighet för formsprutning (Y-axeln) & miljöpåverkan (X-axeln) för olika plaster (Författarens egen bild)

I figur 4.26 har samma plaster rangordnats efter hur väl de lämpar sig för formsprutning samt vilken miljöpåverkan de har. Här framkom ABS som det bästa alternativet.

Materialens UV-beständighet har också granskats i CES Edupack. Efter undersökning har det upptäckts att additiv kan tillsättas till samtliga plaster ovan och därmed tåla UV-strålning tillräckligt bra.

Hölje

Då ABS har lägst miljöpåverkan och är mest tillämpbar vid formsprutning har denna plast valts då produkten skall tillverkas i större serier. ABS har även goda möjligheter att UV-stabiliseras.

Vid mindre serier har projektgruppen valt att tillverka produkten i PA66 (Polyamid) då detta är ett starkt material som lämpar sig bra för SLS-skrivning. Eftersom 3D-skrivning ger en annan ytstruktur kan efterbearbetning och lackering bli nödvändigt. PA går även det att UV-stabilisera vilket eventuellt inte krävs om höljet lackeras, då lackeringen även skyddar plasten från UV-strålning.

Greppyta

Materialet för greppytan har valts utifrån dess kompatibilitet med plasten som valdes för höljet på handkontrollen och även för dess nötningstålighet. I avsnitt 2.2.4 beskrivs TPE-S att tåla nötning och fungerar väl med flerkomponentsformsprutning för ABS- och PA-plast. Vid större serier kommer TPE-S översprutas på ABS-höljet och erhålla en yta med hög friktion.

Vid lägre serier med det 3D-utskrivna höljet av PA krävs någon form av lim för att fästa greppytan på höljet. Här erbjuds även andra alternativ för greppytan om så önskas, till exempel gummi, kork eller textil.

Skyddsglas för display

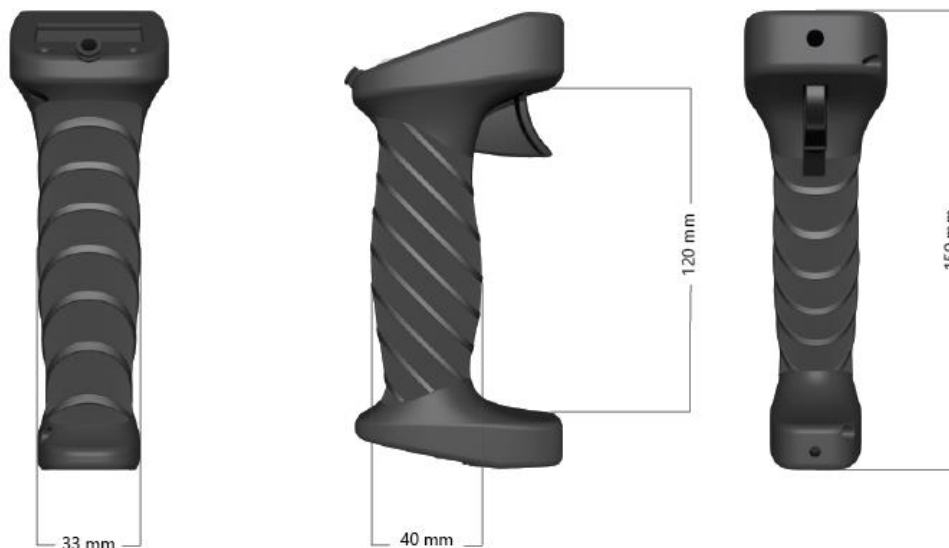
I kravspecifikationen nämns att displayen bör skyddas mot fukt och stötar med någon form av transparent skiva. Denna skiva kommer att tillverkas i polykarbonat (PC), se 2.2.5.

4.6 Slutgiltigt produktkoncept



Figur 4.27 - Rendering av slutgiltigt produktkoncept (Författarens egen bild)

I figur 4.27 visas slutgiltig form med pålagda material. Handkontrollen är helt i svart för att passa till surfbrädan i kolfiber. Färgen på höljet är mattsvart och greppytan har en gummitextur. Kombinationen av mattsvart färg och gummi samspelar med moodboarden och stärker intrycket av premiumkvalitet. Samtidigt ger gummitexturen bättre friktion och därmed bättre grepp.



Figur 4.28 - Rendering av produktkoncept, måttsatt i 2D-vyer (Författarens egen bild)

I figur 4.28 visas måtten på kontrollen som är anpassade att fungera för varierad handstorlek. Längden på handkontrollen är längre än till exempel ett såghandtag då man under åkning enkelt ska kunna byta mellan vänster- och högerhand. Utbuktningen fram på handtaget för de tre nedre fingrarna ska avleda dessa från avtryckaren och samtidigt ta upp dragkraften från stöddlinan. Den lätt utbuktande formen på baksidan av handkontrollen är till för att följa kupningen som uppstår i mitten av handen vid greppande av ett handtag. Den är endast lätt utbuktande då groppen varierar på olika typer av händer och inte får bli obehaglig för vissa individer.

Handkontrollen har även stöd både uppe och nere bakpå handkontrollen för säkerhet, så att man ska känna trygghet i att kontrollen inte glider ur greppet vertikalt samtidigt som det ger fysiskt stöd då handkontrollen vinklas kraftigt.



Figur 4.29 - Rendering av produktkoncept (Författarens egen bild)

Stödlinan från skrovet på surfbrädan är av tjockare slag med plats för elkabeln att löpa genom. Linan går sedan upp i en Y-klämma där linan delas i två varav den övre rymmer elkabeln.

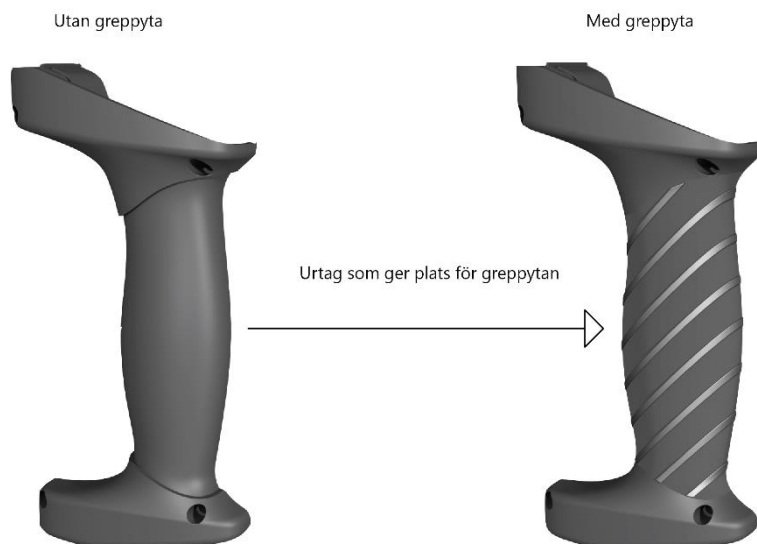


Figur 4.30 - Rendering av produktkoncept, underifrån (Författarens egen bild)

I figur 4.30 visas handkontrollen i perspektiv underifrån. Botten har konstruerats på detta sätt för att spara material och förenkla justering samt fastsättning av stödlina. Att enkelt kunna justera stödlinan erbjuder även föraren att själv välja vilken vinkel hen vill ha gentemot färdriktningen. Att kunna justera vinkeln eliminerar behovet av att handkontrollen i sig själv är vinklat samtidigt som det ger användaren möjlighet att justera denna efter personlig preferens. I figur 4.30 visas även dräneringshålet längst ned i kontrollen. Dräneringshålet avleder vatten som tar sig in i utrymmen som inte är tätade.



Figur 4.31 - Rendering av produktkoncept, ovanifrån (Författarens egen bild)



Figur 4.32 - Rendering av produktkonceptets hölje, urtaget för greppytan (Författarens egen bild)

I figur 4.32 illustreras hur greppytan har designats för att erbjuda ett urtag för greppytan i ABS plasten på 1.5mm. Detta erfordrar en tvåkomponentsformsprutning med TPS-plast för att förse greppytan med en gummiliknande yta. Vid lägre serier där höljet 3D-skrivs kan greppytan limmas fast och på så vis anpassas till kunden.



Figur 4.33 - Rendering av slutprodukt, vänster halva av höljet, insida (Författarens egen bild)

Avtryckaren är en så kallad progressiv avtryckare, då rörelsen ger två nivåer av tröghet med ett hack i mitten av rörelsen för en naturlig relation mellan avtryckaren och hastigheten. Det tydliga hacket mellan de två tröghetsnivåerna finns för att det tydligt vid start av brädan ska kännas när hastigheten är tillräcklig för att kunna stå upp. Denna hastighet är då enkel att känna av via avtryckaren och ger haptisk återkoppling till föraren att det är möjligt att ställa sig upp. Ovan visas en bild över hur den progressiva avtryckaren är konstruerad med två fjädrar varav en är fäst i ett spår som teoretiskt bör fungera som ett hack innan den tar i och blir trögare än den första fjädern. Detta bör uppfattas som progressiv rörelse med ett hack innan den hårdare fjädern expanderar.

Avtryckaren är utformad på så vis att risk för klämskada eliminerats. Detta då den har en rundad form vid roterande rörelse bildas inte något utrymme där ett finger kan klämmas.



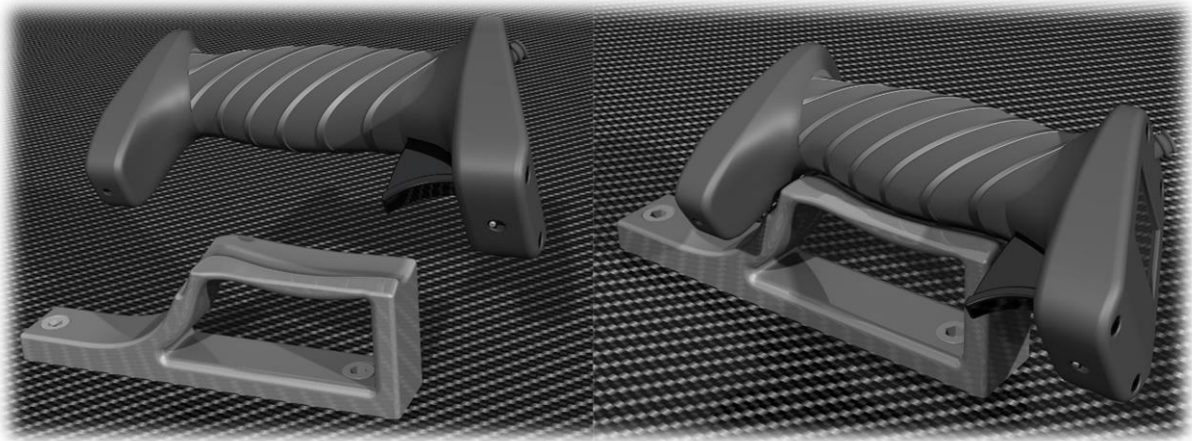
Figur 4.34 - Sprängskiss renderad av produktkonceptet (Författarens egen bild)

Handkontrollens hölje konstruerades i två halvor för greppytan och en tredje del för toppytan, se figur 4.34. Att den är delad i två halvor som sedan skruvas ihop erbjuder möjligheten att tillverka formar för formsprutning

De två halvorna kommer att skruvas ihop i över och underkant av handkontrollen med totalt 4st skruvar. Handkontrollens ”topplock” skruvas även detta fast med 4st skruv ovanifrån.

4.6.1 Handkontrollen i sin kontext

Eftersom handkontrollen är designad efter ergonomiska riktlinjer så har det en viss tjocklek och form. Vid start av en åktur med surfbrädan är det önskvärt att dessutom kunna hålla sig fast i ett handtag som sitter fast i surfbrädan samtidigt handkontrollen ska kunna användas. Handkontrollen som utformats går helt klart att greppa med nuvarande surfbrädehandtag. För att förenkla denna situation ytterligare har projektgruppen även designat ett förslag på hur handtaget på surfbrädan skulle kunna vara utformat för att enklare kunna greppa handkontroll och handtag samtidigt, se figur 4.35. Detta konceptuella handtag har en urgröpning som motsvarar formen på handkontrollens hölje. Urgröpningen gör att handkontrollen ligger stabilt och ger ett bekvämare grepp vid start. Konceptet erbjuder ett utrymme där avtryckaren utan hinder kan röra sig.



Figur 4.35 - Rendering av konceptuellt surfbrädehandtag anpassat för handkontrollen (Författarens egen bild)

Stöddlinan är även den rent konceptuellt utvecklad men bör i teorin fungera med elkabeln löpande genom stöddlinan och därmed dold för blotta ögat. Detta ger ett mer stilrent intryck av hela handkontrollen och stöddlinan i synnerhet, se figur 4.36.



Figur 4.36 - Rendering av produktkoncept, stöddlina & Y-klämma (Författarens egen bild)

4.6.2 Hållbarhet

Handkontrollen har designats på sådant sätt att den bör hålla länge då plasten som valts är UV-beständig och tål saltvatten bra. I tillägg är handkontrollen enkel att demontera vilket möjliggör reparation och uppgradering, se 2.5. Under utvecklingsfasen har även reversed engineering tillämpats vilket projektgruppen anser sparat material vid 3D-skrivning då exaktare mått uppnått i tidigare skede än vad det skulle gjorts vid traditionell ingenjörprocess.

5 Slutsats och diskussion

Utefter de önskemål och krav som Torped AB i början av projektet uttalat anses det som ett lyckat projekt, där mycket praktiskt arbete blandats med relevant teori och där nyare metoder som reversed engineering använts. Den slutgiltiga handkontrollen anses utstråla premiumkvalitet och samspela med surfbrädans design väl. Samtidigt har innovativa lösningar tillämpats vilket förenklar användandet av handkontrollen.

Vidare har kraven i viss mån varit motstridiga och svåra att lösa. Ett exempel på detta var att handkontrollen skulle vara ergonomiskt utformad och samtidigt smalt för att enklare kunna använda handtaget på surfbrädan vid start. Detta var ett problem som vi löste genom att utveckla ett konceptuellt handtag som är fäst på brädan och anpassat efter handkontrollen vilket förmodligen kräver ytterligare utveckling och utvärdering för att fungera tillräckligt bra. Dessutom finns vissa tveksamheter kring den progressiva mekaniken gällande avtryckaren då det i teorin bör fungera, men som i nuläget inte testats i praktiken, så även här kan det behövas ytterligare utveckling efter att slutgiltig prototyp tillverkats och testats. Ytterligare utvecklingspotential ses i stödlinan som enbart är konceptuell med integrerad kabel. Även denna funktion hade behövts utvärderats ytterligare i verklig miljö. Detta var inte möjligt med tanke på den tid som fanns till förfogande och den avgränsning som gjorts i början av projektet.

Andra krav som projektgruppen varit tvungna att förhålla sig till var att det skulle finnas en display på handtaget. Om detta kravet inte funnits ser vi i framtiden en applikationsbaserad lösning där valbar information (till exempel batteri och hastighet) visas i en mobiltelefon som fästs i ett vattentätt armband. Detta hade även gett åskådare möjlighet att använda sig av samma applikation och enkelt få samma information som föraren. Vi anser detta vara något att utvärdera för framtiden då det dels ger större frihet vid utformning av handtaget samtidigt som det samspekar med den högteknologiska surfbrädan och skulle passa bra i sammanhanget.

Under projektets gång har hållbarhet hela tiden varit i åtanke men svårt att påverka i produktens alla livsfaser. Produkten i sig är en ovanlig produkt som inte förväntas tillverkas i särskilt många exemplar. Plasten som kommer användas till SLS-skrivning och förmodad formsprutning är svår att spåra i detta skede då det till stor del beror på vilka som tillverkar plasten och vilka som kommer tillverka produkten. Förpackning och distribution är andra faser som är svåra att påverka så pass tidigt i utvecklingsfasen vilket medför att hållbarhet för miljön främst har integrerats i designen av produkten samt hur processen kring denna utförts. Projektgruppen anser att mer tid hade krävts för att utvärdera total miljöpåverkan. En riktig LCA hade i så fall kunnat genomföras där alla faser skulle kunnat tas i beaktning. Dock anser vi att produkten innehar ett hållbarhetstänk i sin design.

Vid utformning av handkontrollen har många 3D-modeller tillverkats genom hela projektet. Vi har använt oss av både ler-, skum- samt plastmodeller. Detta har gjort att form och storlek på handtaget hela tiden utvärderats och modifierats för att passa så många som möjligt så bra som möjligt. Detta resulterade i en ergonomiskt riktig och väldigt bekväm handkontroll. Detta var inte särskilt lätt att uppnå då användningen av handkontrollen är komplicerad på sådant sätt att den innehar både precisionsrörelse i form av avtryckare och en relativt stark dragande kraft som ger stöd åt föraren.

Avslutningsvis finns förhoppningen att Torped AB tillämpar konceptet eller integrerar vissa av lösningarna i sitt fortsatta arbete med befintlig handkontroll.

Referenser

- Österlin, K. (2011). *Design i fokus*. Malmö: Liber AB.
- Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2014). *Materials: engineering, science, processing and design*. Oxford: Elsevier Ltd.
- Axelsson, B., & Agndal, H. (2017). *Professionell marknadsföring*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Bohgard, M. (2010). *Arbete och teknik på människans villkor. 2. uppl.* Stockholm: Prevent.
- Bruder, U. (2016). *Värt att veta om plast*. Karlskrona: Bruder Consulting AB.
- Eriksson, T. (den 28 11 2012). *Kampen mot korrosionen*. Hämtat från <https://www.inspecta.com/sv/Press/Artiklar/2012/Svenska/Kampen-mot-korrosionen/>
- Gemini Group Inc. (den 5 Februari 2018). Hämtat från <https://geminigroup.net/two-shot-injection-molding-design-guide/>
- Gröndahl, F. (2010). *Hållbar Utveckling - en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Stockholm: Liber AB.
- Granta Design. (den 16 05 2018). Hämtat från <http://www.grantadesign.com/education/edupack/>
- Illustrerad Vetenskap. (den 1 9 2009). Hämtat från Varför känns det kallare att röra vid metall än vid trä?: <http://illvet.se/manniskan/kroppen/varfor-kanns-det-kallare-att-rora-vid-metall-an-vid-tra>
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2013). *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm: Liber AB.
- Kennedy, C. (den 17 Februari 2017). *www.cutlerdc.com*. Hämtat från Cutler DC: <http://www.cutlerdc.com/sustainability-design-for-longevity/>
- Krisitansson, M. (den 24 augusti 2016). *Så fungerar 3D-scanning*. Hämtat från 3dp: <http://3dp.se/2016/08/24/sa-fungerar-3d-scanning/>
- Mägi, M., & Melkersson, K. (2006). *Lärobok i maskinelement*. Göteborg: EcoDev International AB.
- Nationalencyklopedin. (den 15 maj 2018). *Bärplansbåt*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/b%C3%A4rplansb%C3%A5t>
- Nationalencyklopedin. (den 15 05 2018). *Bärplansbåt*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/b%C3%A4rplansb%C3%A5t>
- Nationalencyklopedin. (den 17 maj 2018). *CAD*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/cad>

- Nationalencyklopedin. (den 17 maj 2018). *Förkromning*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/f%C3%B6rkromning>
- Nationalencyklopedin. (den 16 maj 2018). *Haptisk*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/haptisk>
- Nationalencyklopedin. (den 15 maj 2018). *Konstruktionsplast*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/konstruktionsplast>
- Nationalencyklopedin. (den 14 maj 2018). *Korrosion*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/korrosion>
- Nationalencyklopedin. (den 17 maj 2018). *Pivoter*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/pivoter>
- Nationalencyklopedin. (den 03 april 2018). *Plast*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/plast>
- Nationalencyklopedin. (den 17 maj 2018). *Slagseghet*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/slagseghet>
- Nationalencyklopedin. (den 17 maj 2018). *Sträckgräns*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/str%C3%A4ckgr%C3%A4ns>
- Nationalencyklopedin. (den 14 maj 2018). *Ultraviolet strålning*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/ultraviolet-str%C3%A5lning>
- Nationalencyklopedin. (den 14 maj 2018). *UV-nedbrytning*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/uv-nedbrytning>
- Nationalencyklopedin. (den 17 maj 2018). *Livscykelanalys*. Hämtat från
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/livscykelanalys>
- Nielsen, J. (den 16 Januari 2012). *Thinking Aloud: The #1 Usability Tool*. Hämtat från
 Nielsen Norman Group: <https://www.nngroup.com/articles/thinking-aloud-the-1-usability-tool/>
- Raja, V. F. (2008). *Reverse Engineering, An industrial Perspective*. Hämtat från
 Springer.com:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjoiFjk6tLaAhVLXCwKHX1wCe4QFggvMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.springer.com%2Fcontent%2Fdocument%2Fdocument%2Fdownload%2Fdocument%2F9781846288555-c1.pdf%3FSGWID%3D0-0-45-436807-p173727106&usq=AOvVaw1X0Q_opHOqC1reurOAm4C3
- Rexfelt, O. (november 2017). Teoretiska utgångspunkter . *Användarstudier - Att förstå användaren och dess krav*.
- Rhino3D. (den 17 maj 2018). *What are NURBS?* Hämtat från
<https://www.rhino3d.com/nurbs>

Rouse, M. (maj 2014). Hämtat från <https://whatis.techtarget.com/definition/battery-management-system-BMS>

Termoplaster: Nordic Pipe AB. (den 8 5 2018). Hämtat från Nordic Pipe AB:
<http://nordicpipe.se/termoplaster>

White, P., St. Pierre, L., & Belletire, S. (2013). *Okala Practitioner*. Phoenix: Okala.

Bilaga 1: Intervjufrågor

- Which are the most important properties that a hand control should have?
- Describe a typical ride, from start to finish.
- How long does it last?
- Approximately how much do you use the handle to keep balance?

In other words; how much time of a ride do you put load on the support line?

- At which part of a ride is the handle most important? Why?
- What part of the ride is most challenging, why? Examples: turns, beginning, end etc...
- What part of the body do you think experiencing most fatigue?
- How important is the weight on the

hand control? What weight do you prefer? Light or heavy?

- Regarding material of the handle, would you prefer a soft or hard material? Elaborate with examples.

- Do you prefer wireless hand control or attached to a wire?
- If the control has a display, what type of information would you like to see on it?
- What is important with the support line?
- What is your view regarding the triggers resistance? Do you prefer a high, low or progressive resistance?
- What trigger finger do you prefer? Thumb, index finger... etc..
- Which is the worst hand control you have tried? Why? What made it bad?
- Which is the best hand control you have used? Why? What made it good?