



CHALMERS

Utveckling av ergonomiskt styrdon för CAD-konstruktörer

Examensarbete inom Design och produktutveckling, högskoleingenjör 2019

KAROLINA FIREK & ALFRED SÄVERVALL

Utveckling av ergonomiskt styrdon för CAD-konstruktörer.

Karolina Firek,
Alfred Sävervall

© Karolina Firek, Alfred Sävervall, 2019

IMSX20
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2019
Telefonnummer: +46 (0)31-772 1000

ABSTRACT

Work-related diseases are growing in society, where sedentary is central. Hand movement also affects the body, for instance when working with computer mice or keyboards, which can cause pain in hand, wrist, arm, shoulder and neck. By developing a computer mouse that decreases strain for a large group of users, knowledge can be gathered about a more sustainable working environment and diseases can be decreased or prevented. Ergonomics and function have been explored through interviews, theoretical studies and market analysis. The theoretical studies showed that an important principle to follow when developing ergonomic products is that the body should be as close to its neutral position as possible, i.e. standing up with the arms along the sides. The further away from this position, the greater the risk for injuries to occur. The interviews and market analysis showed that the size of the control tool determined how the comfort was perceived and that the grip varied from person to person. In addition to that, some people thought the buttons on existing computer mice were confusing. The findings were used in different methods to generate solutions, which were screened with certain criteria until six concepts remained. These concepts were made into clay models at an early stage to have their ergonomics tested, where the goal was to reach a high level of comfort and allow the hand to be close to its neutral position. After evaluation, two concepts were picked as the most suitable and were tested by different people. The concept that was best received from users was developed further into four concepts in clay, which optimized ergonomics, function, adaptation for production and aesthetics. These four variants were tested by people with different hand sizes and were ranked according to perceived comfort. The concept with the highest score got a high score from all the participants, which means the concept offers comfort for different hand sizes as well as a relatively neutral hand position. The concept was then constructed in CAD and production requirements were taken into consideration, where after the concept was 3D printed and tested by users. The users stated that the computer mouse fit the hand and felt comfortable. All participants stated that they would consider using the computer mouse as their primary mouse at work. At the same time, the concept is adapted for recycling, which means that no glue is used, few screws are used and only one material is used for the plastic parts. The project did not include analysis of long-term use nor the electronics of the control tool, which is the next step of the product development.

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört av två studenter på Chalmers tekniska högskola som studerar Design och produktutveckling, vilket är ett högskoleingenjörsprogram. Utförandet skedde under vårterminen 2019 och omfattar 15 högskolepoäng.

Stort tack till Cross Design som låtit oss ta del av deras resurser och hjälpt oss på vägen genom utbildning, samtal och personer som ställt upp till intervjuer och observationer.

Tack även till vår handledare Håkan Almius för dina funderingar, åsikter och stöd och Sven Ekered för hjälp med 3D-utskrifter.

Vi vill även tacka doktorand Lilian Forsgren för mycket givande samtal om material och hållbarhet.

Sist men inte minst vill vi tacka studenterna på Design och produktutvecklingsprogrammet som utvärderat koncept och gett oss värdefulla åsikter.

Göteborg, 2019-05-15

Karolina Firek och Alfred Sävervall

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställningen	2
1.5 Rapportens disposition	2
2. TEORETISK REFERENSRAM	3
2.1 Ergonomi	3
2.1.1 Antropometri	3
2.1.2 Handens ergonomi	4
2.1.3 Människa-maskin	4
2.1.4 Design för förändrat beteende	5
2.2 Semantik	5
2.3 Material	5
2.3.1 Plaster	5
2.3.2 Akrylnitril-butadien-styren (ABS)	6
2.3.3 Polyoximetylen/Acetalplast (POM)	6
2.3.4 Polylaktid (PLA)	7
2.4 Materialegenskaper	7
2.4.1 Mekaniska egenskaper	7
2.4.2 Kemiska egenskaper	7
2.4.3 Elektriska egenskaper	8
2.4.4 Termiska egenskaper	8
2.5 Tillverkningsprocesser	8
2.5.1 Formsprutning	8
2.5.2 Flerkomponentsformsprutning	9
2.5.3 Friformsframställning (FFF)	9
3. METODER SAMT TEORIN BAKOM	11
3.1 Informationssamling	11
3.1.1 Intervjuer	11
3.1.2 PNI	11
3.1.3 Produktanalys	11
3.2 Idégenerering	11

3.2.1 Brainstorming, Brainwriting och Stop and go	12
3.2.2 Osborns idésporrar	12
3.2.3 Moodboard	12
3.2.4 Morfologisk matris	12
3.3 Analys	13
3.3.1 Funktionsanalys	13
3.3.2 Kravspecifikation	14
3.3.3 Skissmodeller	14
3.4 Utvärdering	14
3.4.1 Pugh-matris	14
3.4.2 Tänka-högt-metoden	15
4. GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT	17
4.1 Användare och befintliga lösningar	17
4.1.1 Intervjuer med konstruktörer	17
4.1.2 Intervju med doktorand Lilian Forsgren	18
4.1.3 Vanligt förekommande datormöss	19
4.2 Idégenerering och analys av koncept	21
4.2.1 Funktionsanalys	21
4.2.2 Moodboard	23
4.2.3 Idégenerering	23
4.3 Utvärdering och upplevelse av koncept	25
4.3.1 Sällning av idéer	26
4.3.2 Skissmodellering	26
4.3.3 Pugh-matris	27
4.3.4 Användarupplevelse	28
4.3.5 Ergonomianalys	29
4.3.6 Val av slutkoncept	29
4.3.7 Förfining och utvärdering	29
4.3.8 Knappar	31
4.3.9 Material och tillverkning	31
4.4 Konstruktion av koncept i CAD	32
4.4.1 Inskanning av lermodell	32
4.4.2 Ytmodellering i Alias AutoStudio	33
4.4.3 Solidmodellering i Catia V5	33
4.5 Slutkoncept	33
4.5.1 Renderingar	34

4.5.2 Sprängskiss	36
4.5.3 Konstruktion	36
4.5.4 Funktioner	40
4.5.5 Kravspecifikation	41
4.5.6 Fysisk prototyp tillverkning	43
4.5.7 Utvärdering genom användartester	45
5. HÅLLBARHETSANALYS	47
5.1 Framställning av råmaterial	47
5.1.1 Dematerialisering	47
5.2 Tillverkning	47
5.3 Distribution och försäljning	48
5.4 Användning	48
5.5 Resthantering	48
6. SLUTSATS	51
6.1 Analys av måluppfyllnad	51
6.2 Vad som kunde gjorts annorlunda	51
6.3 Rekommendationer för fortsatt arbete	51
REFERENSER	53
BILAGA 1: Intervjufrågor	1
BILAGA 2: Intervjufrågor om material	1
BILAGA 3: Frågor till användartest	1

1. INLEDNING

Ett stort problem i samhället idag är sjukdomar som orsakas av långvarig belastning på arbetsplatser (Bohgard et al. 2015). Detta kostar individen, företaget och i slutändan även samhället pengar. Enligt Arbetsmiljöverket (AFS 2001:1) ansvarar dessutom arbetsgivaren för att arbetsmiljön ska vara hållbar, vilket innebär att det finns många anledningar att förbättra den ergonomiska miljön på arbetsplatser. Bohgard et al. menar att arbetsställningen är den övergripande orsaken till de vanligaste arbetssjukdomarna, där människor som huvudsakligen jobbar med datorer är extra utsatta eftersom de utför statiskt arbete.

En annan aspekt av problemet är vilka kroppsdelar som belastas under kontorsarbete. Enligt Bohgard et al. härstammar många av de problem som upplevs i nacke, arm och hand från hur vi arbetar med händerna. Därför finns både stor möjlighet att minska belastningar på kroppen genom utformning av handverktyg, exempelvis datormus eller tangentbord. Dock finns det även stor risk att försämra ergonomin genom oaktsam design. Trots att medvetenheten om ergonomi hela tiden ökar, kvarstår problemen.

1.1 Bakgrund

Genom att studera vad som orsakar smärta i hand, nacke, arm och axel och samtidigt undersöka existerande styrdon ur ett ergonomiskt perspektiv, kan en ny lösning tas fram som passar väl in i linje med Cross Designs kompetensområde. Cross Design är specialister inom plastkonstruktion och processtekniska frågor kring det, vilket innebär att de har stor kunskap inom viktiga delar av projektet.

1.2 Syfte

Syftet är att designa ett ergonomiskt styrdon som är anpassat för tillverkning, montering och demontering för att på lång sikt lång sikt sträva efter att minska hälsoproblem på arbetsplatser där CAD program används, och samtidigt minska produktens negativa påverkan på miljön.

1.3 Avgränsningar

Följande punkter kommer ej behandlas i projektet:

- Elektroniken i styrdonet
- Strategier för lansering och marknadsföring
- Antropometriska undersökningar
- Långvarig användning av koncept
- Patent och standarder

I praktiken innebär dessa punkter att elektroniken i datormöss endast kommer vara med i konceptet för att illustrera ur ett visuellt perspektiv. Elektroniken är inte något som utvecklas och undersöks i detta arbetet. Inte heller antropometridata samlas, alltså studier om

människors kroppsmått, utan tillgängliga data kommer att användas. Arbetet avslutas på ett konceptstadie och undersökningar om långvarigt användande kommer inte att genomföras.

1.4 Precisering av frågeställningen

För att uppfylla syftet behöver följande frågor besvaras:

- Hur ser befintliga lösningar ut med avseende på ergonomi och funktion?
- Hur kan styrdon optimeras för att passa professionellt arbete med CAD-program?
- Hur kan ergonomiska styrdon anpassas för tillverkning?
- Är det möjligt att underlätta montering och demontering för att möjliggöra återvinning?
- Hur kan montering och demontering underlättas för att möjliggöra återvinning?
- Hur kan utformning möjliggöra ergonomisk användning för personer med olika handmått?
- Vad hos styrdon bidrar till smärta för användaren?

1.5 Rapportens disposition

I rapporten skiljs det på begreppen metod och genomförande. Medan kapitel 4, *Genomförande och resultat*, beskriver arbetsprocessen samt fynd, har kapitel 3, *Metoder samt teorin bakom*, en mer beskrivande roll som redogör för teorin bakom de metoder som används i rapporten. Kapitel 2, *Teoretisk referensram*, förser läsaren med djupare förståelse för de begrepp och ämnen som behandlas.

2. TEORETISK REFERENSRAM

I denna del beskrivs begrepp och viktiga ämnen som berörs i rapporten. Dessa utgör ofta grunden för beslut som fattas i projektets olika faser och är viktiga för att förstå arbetet som utförts.

2.1 Ergonomi

Ergonomi är, enligt Nationalencyklopedin, *“läran om människan i arbete; samspelet mellan människan och arbetsredskapen”* (u.d.). Detta innebär i praktiken att människans interaktion med föremål påverkar kroppen, till exempel genom belastning eller avlastning. Naturligtvis är det sistnämnda värt att eftersträva och därför är det viktigt att ha kunskap om hur produkter påverkar kroppen.

Det finns en mängd olika metoder för att bedöma belastning på kroppen, men en huvudregel är att kroppen ska vara så nära sin neutralposition som möjligt (Bohgard et al., 2015), alltså stående med raka armar och raka ben. Ju längre kroppen befinner sig från sin neutralposition, desto större belastning utsätts den för. Bohgard et al. menar även att kraftanvändning och tidsintervall påverkar hur skadligt en position eller rörelse är.

Ett viktigt begrepp inom ergonomi är komfort. Begreppet innefattar en mängd olika faktorer, vilket gör det komplicerat (Bohgard et al., 2015). Däremot är begreppet diskomfort något mer konkret. Bohgard et al. skriver *“Diskomfort är en upplevelse i kroppen av olämplig fysisk belastning. Diskomfort bör därför ses som ett första steg i en progression som går vidare över besvär och värk till skada”*. Det är därför viktigt att utveckla produkter som minimerar upplevd diskomfort. Dock innebär inte avsaknad av diskomfort att en produkt är ergonomisk, utan andra saker spelar in, särskilt vid långvarigt användande.

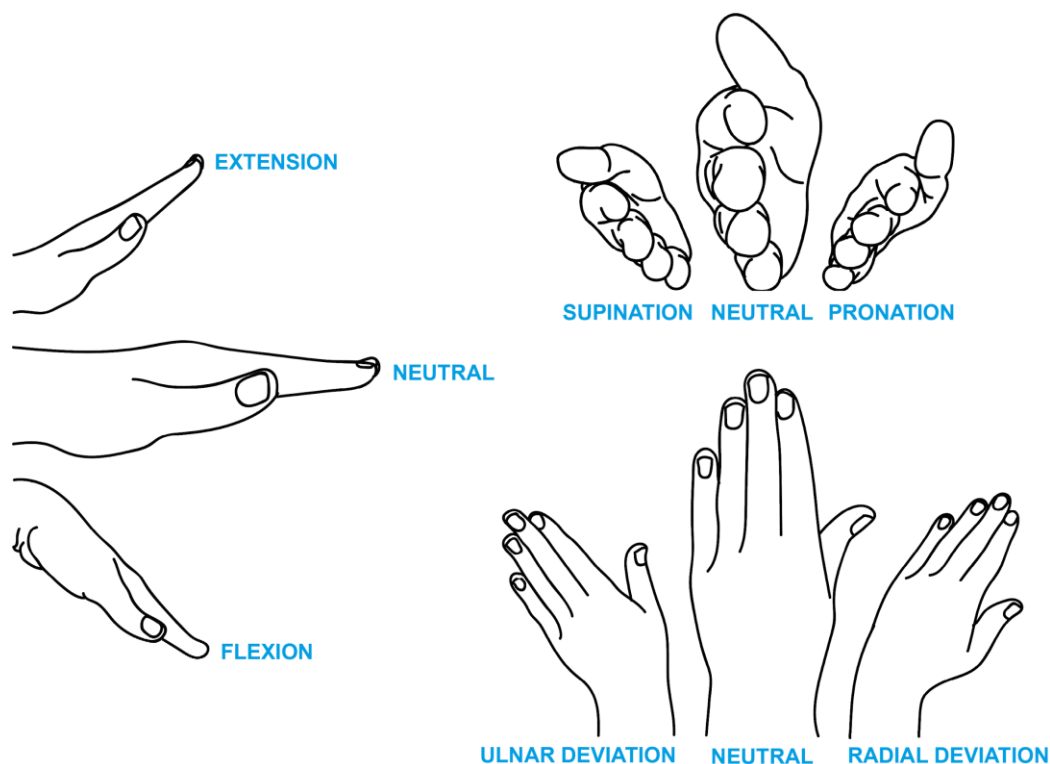
2.1.1 Antropometri

Antropometri är läran om människokroppens mått, vilket skiljer sig mellan exempelvis ålder och kön och som är viktigt att ta hänsyn till vid utformandet av produkter. Kroppsmåttet spelar stor roll för hur en produkt upplevs, varför det är viktigt att ta det i beaktande. Till exempel har män i allmänhet större händer än kvinnor, även om det finns kvinnor som har större händer än män. Storlek syftar främst till handens bredd och längd, där bredden skiljer sig mer än längden mellan kvinnor och män (Bohgard et al., 2015).

Även variationen inom könen spelar roll. Enligt Bohgard et al. utgår designern vanligtvis från 95:e percentilen inom produktdesign, alltså att designen ska passa de 95% människor som håller sig inom det vanligaste spannet för kroppsmått.

2.1.2 Handens ergonomi

Handen är anpassad både till kraftöverförande uppgifter som sågning, men även högprecisionsuppgifter som att skissa ritningar. Handen fyller alltså en rad funktioner, men för att den inte ska överbelastas bör vissa ergonomiprinciper följas. Till exempel bör handen hålla en så neutral position som möjligt, alltså undvika extremlägen, se figur 1. Bohgard et al. (2015) menar även att belastningsvariation är viktigt, eftersom statiska uppgifter, även de som endast kräver låg kraft, kan orsaka skador som till exempel musarm.



Figur 1. Handens olika lägen och neutralposition. Författarens egen bild.

De klassiska datormössen kan användas på två olika sätt: Genom att främst röra armen och hålla handleden relativt still eller att röra handleden och fingrarna och hålla armen still. Det första alternativet är det som belastar handen minst, men det belastar istället skuldermuskulaturen. Värt att nämna är också att det breda QWERTY-tangentbordet gör att datormusens position ofta är långt från kroppen, vilket innebär en onaturlig vridning av överarmen. Detta påverkar främst personer med smala axlar (Bohgard et al., 2015).

2.1.3 Människa-maskin

När människor ska använda sig av olika typer av maskiner bör interaktionen tas i beaktande, det vill säga att användargränssnittet måste fungera. Att tänka på vid design av användargränssnitt är att informationen användaren söker lämpligtvis ska finnas där användaren letar, alltså där användaren förväntas hitta den. Denna princip bör tas i åtanke vid design av tekniska produkter. I likhet med detta måste också hänsyn tas till vad användaren förväntar sig ska hända efter en viss handling. Rimligtvis ska användaren kunna gissa sig till

hur information hittas och vilken typ av handling som måste göras för att nå ett visst resultat, alltså bör maskinen vara självinstruerande.

Vid användande av färg som signal, exempelvis för batteristatus, finns det många fördelar, men lika många nackdelar, enligt Bohgard et al. (2015). Till de positiva egenskaperna hör bland annat att information förmedlas snabbt och att uppmärksamhet snabbt kan riktas, dock kan det även upplevas som tröttsamt och på grund av att många är färgblinda eller att signalen är otydlig kan det skapa osäkerhet. Vidare menar Bohgard et al. att det finns liknande svårigheter med ljud och vibrationer. Till exempel kan ett ljud som betyder att batteristatusen är låg, vara störande för den som inte förstår vad signalen betyder eller helt enkelt inte har tid att ladda batteriet just då. Även då bör designern fundera på vad som ska förmedlas, med vilken kraft och hur signalen tas emot hos användaren.

2.1.4 Design för förändrat beteende

Design för förändrat beteende innebär utformning av produkter efter önskat användarbeteende (Wendel, 2014). Det kan exempelvis vara användaren som önskar att förändra beteende, arbetsgivaren eller designern själv. Wendel menar att det är ineffektivt att tvinga användaren att använda en produkt på ett visst sätt, eftersom det kan leda till att användaren väljer en annan produkt. Det som istället kan göras är att utbilda användaren eller ge användaren ett val att använda produkten på ett exempelvis mer ergonomiskt sätt.

2.2 Semantik

Semantik är läran om tecknens budskap och innebörd. Inom produktutveckling kan semantiken innebära att användaren ska förstå hur en produkt ska användas. (Österlin, 2016). En produkts semantiska budskap bör vara tydligt, ärligt och entydigt och det semantiska budskapet kan beskriva hur produkten används och hanteras, uttrycka produktens egenskaper, uppmana till hur produkten används och det ska gå att identifiera vart produkten kommer ifrån (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Form, yta och utseende är viktiga aspekter som en designer bör tänka på men även ljud, doft, smak och värme kan vara viktiga att tänka igenom för att rätt budskap ska komma fram (Österlin, 2016).

2.3 Material

Styrdon förekommer i en del olika material, varav de flesta är någon typ av plast. I detta avsnitt redogörs för plaster i allmänhet, men även de plaster som bedöms vara relevanta i projektet efter sökning i CES. För att se på vilket sätt plasterna är relevanta se *4.3.9 Material och tillverkning*.

2.3.1 Plaster

Plast är ett konstruktionsmaterial som oftast är syntetiskt tillverkat och består till största del av polymerer, vilka kan beskrivas som stora makromolekyler i form av en lång kedja, som är uppbyggda av monomerer som binds till varandra (Bruder, 2018). För att polymeren ska få de egenskaper som önskas brukar tillsatsmedel användas, även kallat additiver, och kan påverka egenskaper som färg, mjukhet, värmestabilitet, styvhet, styrka, UV skydd, brandsäkerhet och

elektriska egenskaper. Egenskaperna brukar delas in i grupperna fysikaliska, kemiska, elektriska och termiska egenskaper (Bruder, 2018), se kapitel 2.4 *Materialegenskaper*. Vanligtvis när det talas om polymerer är det den molekylära föreningen som omtalas, medan plast är ett begrepp för den tekniskt använda formen av polymerer, där additiv som stabilisatorer, fyllnadsmedel och mjukgörare inkluderas (Boldizar, Klason, Kubát & Rigdahl, 2001).

Det finns också naturligt förekommande polymerer som naturgummi, bärnsten och cellulosa från trä, som används till papperstillverkning. Polymera material kan skiljas åt i grupperna gummimaterial (elastomerer), hårdplast och termoplast. Hårdplaster karaktäriseras av att de inte smälter vid uppvärmning och de kan bli oerhört starka med exempelvis glas eller kolfiber. Nackdelen är att hårdplaster är svåra att återvinna både med avseende på material och energi (Bruder, 2018).

Termoplaster är lätta att bearbeta eftersom de smälter i höga temperaturer. Bearbetningen kan ske genom formsprutning, formblåsning, extrudering, filmblåsning, rotationsgjutning och varmformning, där formsprutning är den vanligaste bearbetningsmetoden (Bruder, 2018). Om termoplaster återvinns kan de återanvändas flera gånger. Samma material kan återvinnas upp till sju gånger, om det är en basplast, innan försämringarna av kvalitet blivit för stora (Bruder, 2018). Andelen återvunnen plast vid nyproduktion av konstruktionsplast bör inte överskrida 30%, för att undvika att kvaliteten försämras för mycket (Bruder, 2018).

2.3.2 Akrylnitril-butadien-styren (ABS)

ABS-plast är en styren-baserad plast som är vanlig att tillverka produkter av. Anledningen till att ABS är så vanligt förekommande är att den är relativt billig sett till dess goda egenskaper (Boldizar, et al., 2001). ABS plast används ofta för att tillverka skalor till kontorsmaterial, datorer och TV-apparater, men också till dörrpaneler och leksaker (Bruder, 2018). Det är lätt att ändra egenskaperna hos ABS, men det är också vanligt att förbättra dem genom att blanda i Polykarbonat (PC) eller polyester (PBT). Blandningen PC/ABS kombinerar plasternas positiva egenskaper och har bra flytbarhet och bättre temperatur- och UV-resistens än ren ABS, medan PBT/ABS blandningen ger ökad beständighet för kemikalier och ger vid höjd temperatur en bättre dimensionsstabilitet (Bruder, 2018).

Några positiva egenskaper hos ABS plast är att den kombinerar styvhet, styrka och seghet, samtidigt som den är formstabil, resistent mot fukt, lätt att färga, går att förkroma, isolerar elektricitet och kan fås transparent. Däremot är de negativa aspekterna att ABS har dålig värmebeständighet, det kan uppkomma spänningssprickbildning och den har dålig beständighet mot UV-strålning och lösningsmedel (Bruder, 2018).

2.3.3 Polyoximetylen/Acetalplast (POM)

Acetalplast är en utmärkt konstruktionsplast som också är den styvaste oarmerade konstruktionsplasten. Förkortningen POM kommer från den kemiska beteckningen polyoxymetylen (Bruder, 2018). Bruder skriver också att några positiva egenskaper hos

acetalplast är att den har hög styvhet och seghet, hög utmattningshållfasthet, friktions- och nötningssegenskaper samt bra beständighet mot olika lösningsmedel. Acetalplast är den mest kristallina konstruktionsplasten och har därför metalliknande egenskaper som lämpar sig väl för konstruktion av snäppfästen. Andra användningsområden är t. ex. tanklock, kugghjul, skidbindningar och kedjetransportband.

En negativ egenskap hos acetalplast är att den ej klarar temperaturer över 80 grader celsius vid kontinuerligt användande (Bruder, 2018).

2.3.4 Polylaktid (PLA)

Polylaktid (PLA) är en biobaserad polymer som tillverkas av monomeren mjölksyra. Mjölksyran framställs genom att jäsa enkla sockerarter som kan utvinnas ur bla sockerbeter, potatis, majs och vete (Bruder, 2018). En stor fördel med PLA är att den är tillverkad av 100% biobaserade råvaror och går också att kompostera. PLA är vanligt förekommande vid 3D-printning och då främst vid FDM metoden (Fused deposition modeling) eftersom den har låg smälttemperatur.

2.4 Materialegenskaper

Vid materialval är det viktigt att känna till vilka påfrestningar produkten ska befinna sig i samt vilken miljö den kommer att brukas i. I detta avsnitt förklaras begrepp som är viktiga vid val av material.

2.4.1 Mekaniska egenskaper

Mekaniska egenskaper syftar till ett materials förmåga att motstå yttre belastningar. Några centrala begrepp är seghet, brottgräns, hårdhet, och styvhet. Styvhet beskrivs av materialets E-modul, och syftar på hur böjligt materialet är. Hårdhet betecknas σ_y och beskriver ett materials förmåga att stå emot permanent deformation, alltså hur mycket ett material kan böjas och samtidigt gå tillbaka till sin ursprungliga form. Brottseghet, K_{1c} , mäter hur mycket ett material kan böjas innan det bryts (Ashby, Cebon, Shercliff, 2014).

2.4.2 Kemiska egenskaper

Kemiska egenskaper handlar om hur material reagerar med ämnen det kommer i kontakt med under sin livstid. Många plaster påverkas negativt av lösningsmedel eller UV-strålning (Bruder, 2018), vilket innebär att de inte är lämpliga att använda i vissa fall. Det är även viktigt att känna till materialets permeabilitet, oxidationsbeständighet samt hydrolysbeständighet. Permeabilitet är måttet på hur mycket fluider ett material släpper ut, alltså hur tätt det är (Nationalencyklopedin, Permeabilitet, u.d.). Oxidationsbeständighet och hydrolysbeständighet syftar till om materialet bryts ner i syre respektive vatten eller vattenångor i förhöjda temperaturer (Bruder, 2018).

2.4.3 Elektriska egenskaper

Resistivitet, ρ_e , är inversen till konduktivitet κ_e , som är ett materials ledningsförmåga. För att ett material ska kunna tåla exempelvis gnistor och värme behöver materialet ha en viss resistivitet. Plaster har i allmänhet relativt hög resistivitet (Ashby, Cebon, Shercliff, 2014).

2.4.4 Termiska egenskaper

Ett materials termiska egenskaper innefattar vilken högsta temperatur som är lämplig att använda materialet i, $T_{\max}$, samt hur mycket materialet expanderar i värme, α .

Värmeexpansionen är viktig att ta hänsyn till med plaster eftersom även en liten expansion kan påverka materialets mekaniska egenskaper negativt (Ashby, Cebon, Shercliff, 2014).

Därför tillsätts ofta värmestabiliseringsmedel vid bearbetning av plaster för att materialets mekaniska egenskaper inte ska försämrats. Det handlar också om brandsäkerhet, vilket innebär att många plastprodukter behöver någon typ av flamskydd för att öka säkerheten vid hantering (Bruder, 2018).

2.5 Tillverkningsprocesser

Följande avsnitt redogör för de tillverkningsprocesser som lämpar sig för tillverkning av styrdon samt andra viktiga saker att ha i åtanke.

2.5.1 Formsprutning

En av de viktigaste bearbetningsmetoderna för termoplaster är formsprutning eftersom komplicerade detaljer går relativt lätt och snabbt att tillverka med formsprutning (Boldizar, et al., 2001). Processen börjar med att plasten smälts i en uppvärmd cylinder och matas fram av en roterande skruv. När rätt mängd smälta samlats framför skruven i cylindern trycks materialet fram genom ett munstycke som blåser in materialet i ett formverktyg. Smältan svalnar sedan i formen och tas ut när styvheten på materialet är tillräckligt hög (Boldizar, et al., 2001).

Vid formsprutning är det viktigt att godstjockleken är jämn, då det kan bli sjunkmärken när godset svalnar eller sprickbildning i skarpa kanter (Boldizar, et al., 2001). Godstjockleken bör också vara tunn överlag då en tjock detalj förlänger kyltiden vilket minskar produktiviteten (Österlin, 2016). Ett ungefärligt mått är att kyltiden ökar kvadratisk med ökad godstjocklek (Boldizar, et al., 2001). För att behålla styvheten i detaljen kan istället förstärkningslister användas och på så vis minskar också produktens vikt. En konstruktör bör tänka på att förstärkningsribbor konstrueras så att de är hälften så tjocka som angränsande vägg. I fall när förstärkningsribbor måste göras i samma tjocklek som väggen görs en urgröpning i väggen om estetik är något som eftersträvas.

Alla detaljer i plast som formsprutas måste ha en viss släppning för att godset ska kunna lämna formverktyget. Vanligtvis används en släppningsvinkel på 1–3 grader. För att uppnå en god hållfasthet bör också alla kanter avrundas (Boldizar, et al., 2001).

En nackdel med formsprutning är att maskiner och formverktyg är kostsamma vilket gör att seriestorleken bör vara >1000 detaljer, för att metoden ska löna sig (Bruder, 2018).

2.5.2 Flerkomponentsformsprutning

Flerkomponentsformsprutning används då olika material används i samma detalj, exempelvis skruvmejslar eller skidstavar med gummiyta vid handtagen. Detta görs med specialmaskiner som har en cylinder för varje material. Det finns i regel två metoder vid flerkomponentsformsprutning. Den vanligaste är användning av roterande verktyg, vilka i sig är dyra men gör metoden tidseffektiv. En mindre vanlig metod är “robottransfer” (Bruder, 2018). Problemet med denna metod är att det försvårar återvinning av detaljen eftersom olika material är sammanfogade.

2.5.3 Friformsframställning (FFF)

Friformsframställning, eller additiv tillverkning, kallas det när en CAD-modell översätts till en fysisk modell. Datorn delar upp CAD-modellen i lager som sprutas ut lager för lager av en maskin. En stor fördel med friformsframställning är att det inte blir något spillmaterial, montering av delar kan göras direkt vid tillverkning, samt att ett enda verktyg kan användas till många typer av produkter. Vid additiv tillverkning måste krympning tas i beräkning vid konstruktion (Österlin, 2016).

3. METODER SAMT TEORIN BAKOM

I detta kapitlet beskrivs de metoder som använts i arbetet, för att läsaren ska få en tydlig bild av syftet med metoderna samt tillvägagångssätt.

3.1 Informationssamling

Detta avsnitt innefattar vilka informationssamlingsmetoder som använts i projektet samt beskrivning av dessa.

3.1.1 Intervjuer

I en ostrukturerad intervju lämnas stora friheter till personen som intervjuas att uttrycka sina åsikter och personen har därför möjlighet att styra diskussionsfrågorna till de områden som hen tycker är viktiga (Bohgard et al., 2015). Strukturerade intervjuer är mer uppstyrda och den tillfrågade kan antingen svara fritt på förutbestämda frågor, eller svara med hjälp av färdiga svar och skalor på hur väl de håller med ett påstående. Strukturerade intervjuer är lämpliga att använda på ett större antal personer. Ofta används strukturerade intervjuer vid telefonintervjuer eller i korta intervjuer på allmänna platser då det är lätt att förutse hur lång tid det tar att genomföra en strukturerad intervju. Semistrukturerade intervjuer är en blandning på strukturerade och ostrukturerade intervjuer där en struktur har tagits fram innan på vad som ska behandlas men den som intervjuar har samtidigt möjlighet att välja ordning på frågorna och har också möjlighet att ställa följdfrågor. Det är därför viktigt att personen som intervjuar har kunskap inom ämnet och vad som är viktigt att ta upp (Bohgard et al., 2015).

3.1.2 PNI

PNI är en metod som går ut på att bedöma en produkts eller koncepts egenskaper, detta görs genom en enkel lista som innehåller positiva, negativa och intressanta aspekter (Österlin, 2016). Detta är dels för att få en tydlig bild av för- och nackdelar med konceptet eller produkten, men kan också användas för att analysera konkurrenters lösningar. Genom att ha koll på vad som finns på marknaden kan problem lösas som befintliga produkter inte löser, eller se till att ens egen produkt eller koncept täcker nödvändiga funktioner.

3.1.3 Produktanalys

För att få en översiktlig analys av konkurrenters produkter kan en så kallad produktanalys genomföras. Denna innebär att i en bild av vald produkt dra streck och skriva vilka funktioner olika delar har.

3.2 Idégenerering

I följande avsnitt redogörs för de idégenereringsmetoder som använts i projektet: Brainstorming, Brainwriting, Stop and go, Osborns idésporrar samt Moodboard.

3.2.1 Brainstorming, Brainwriting och Stop and go

Brainstorming är en metod för att generera idéer med stor idérymd, där så många idéer som möjligt eftersträvas (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Enligt Johannesson, Persson & Pettersson finns det fyra grundregler att följa när brainstorming används:

- Kritik är förbjudet och varken positiva eller negativa kommentarer får yttras. Kritisk granskning kommer senare i processen.
- Kvantitet eftersträvas och tanken är att även mindre bra idéer kan ge inspiration till andra bättre idéer.
- Gå utanför det vanliga och håll inte tillbaka din livliga fantasi. Ibland kan de galna idéerna leda till utmärkta lösningar efter lite modifikation.
- Slå samman redan genererade idéer och lyssna på andras förslag för att få inspiration som kan leda till helt nya problemlösningar.

Brainwriting är en variant av brainstorming där deltagarna skriver ner sina idéer för sig själv på papper. Metoden är bra för att undvika att lösningarna blir för lika varandra. Om det blir brist på idéer efter ett tag kan inspiration fås av varandras bilder så att fler idéer uppstår (Österlin, 2016).

Enligt Österlin är "Stop and go"-metoden också en variant av brainstorming där deltagarna idégenererar i några minuter och sedan pauser i några minuter och upprepar detta några gånger. Metoden är bra för att undvika "idéutmattning".

3.2.2 Osborns idésporrar

Osborns idésporrar är en metod som passar bra att använda efter en utförd brainstorming när idéerna börjar avta (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Metoden utförs genom att använda hjälpord/frågor som kan trigga idégenereringen ytterligare. Dessa hjälpord kan på svenska minnas med ordet "BAKSMET" som står för Byt ändamål, Anpassa, Kombinera, Substitut, Modifiera, Eliminera och Tvärtom (Österlin, 2016). Använd ett av orden i taget på det lösningsförslaget som ska utvecklas.

3.2.3 Moodboard

En moodboard är ett bildcollage med avsikt att beskriva stämning, huvudintryck och kärnvärden hos en önskad design. Moodboards används inte för att visa hur det ska se ut, utan för att väcka associationer och kan användas som inspirationskälla vid idégenerering (Österlin, 2016).

3.2.4 Morfologisk matris

Ett sätt att skapa nya koncept är genom att dela upp önskvärda funktioner och ange lösningar för dessa. Genom att sedan kombinera olika lösningar kan helt nya sammansättningar fås, som kanske inte kommit fram annars (Österlin, 2016). Genom att skapa en matris där lösningar sammanställs kan linjer dras mellan olika lösningar och generera nya koncept, se figur 2.

Medge grepp						
Medge avlastning	Handled	Position		Fingrar	Tumme	
Möjliggör styrning	Glider	Spak	Rullar			
Variation						
Förmedla information		Ärva				
Val						
Av/På	Sensor					
Medge friktion						

KONCEPT

Figur 2. Exempel på hur en morfologisk matris kan se ut. Författarens egen bild.

3.3 Analys

I detta avsnitt redogörs för relevanta analysmetoder.

3.3.1 Funktionsanalys

En funktionsanalys är ett viktigt verktyg i problemlösningen och hjälper problemlösaren att förstå produkten bättre och göra den greppbar. Den hjälper också för att inte låsa sig vid den befintliga lösningen och förhindrar att lösningsrymden begränsas. Funktionsanalysen listar produktens funktioner och delar in dem i kategorierna, från högsta till lägsta ordning: huvudfunktion, delfunktion, och stödfunktion (Österlin, 2016). Huvudfunktionen är den funktion som beskriver produktens huvudsakliga syfte och är anledningen till att produkten finns. Delfunktioner måste finnas för att huvudfunktionen ska kunna uppfyllas. För att göra produkten bättre och mer användarvänlig finns också stödfunktioner som gör så att huvud- och delfunktioner uppfylls lättare. Alla funktioner beskrivs med ett verb och ett substantiv, till exempel “medge grepp” (Österlin, 2016).

3.3.2 Kravspecifikation

Kravspecifikationen är ett viktigt verktyg för att strukturera förutsättningar och målsättningar för den planerade designen. Den används för att skapa ett mål för designarbetet och som facit när utvärderingen påbörjas (Österlin, 2016). Under informationsinsamlingen och analysfasen utgår designern från affärsmöjligheten och bestämmer krav och funktioner som krävs för att designen ska bli som det var tänkt, och en grov funktionsanalys kan vara en bra grund till kravspecifikationen. De olika livscykel-faserna för produkten går igenom där planering, produktion, marknadsföring, distribution, montage, användning, service och återvinning är olika områden som behandlas (Österlin, 2016). Kravspecifikationen behandlar också ergonomiska, ekonomiska, funktionella, kvalitativa, och estetiska krav (Bohgard et al., 2015). Kravspecifikationen är ett levande dokument som ändras allt eftersom lösningsförslaget genomarbetas och ett bra tillfälle att göra ändringar i kravlistan är när ett koncept har valts. Kraven ska också bedömas och viktas för att beskriva vilken prioritering de har gentemot varandra (Österlin, 2016).

3.3.3 Skissmodeller

Genom att bygga enkla 3D-modeller kan funktioner testas och ny information som inte syns på en 2D-skiss kan komma fram (Österlin, 2016). Detta är viktigt att göra tidigt i en idégenereringsfas för att upptäcka direkta fel som behöver åtgärdas, men också för att utvärdera koncept. Österlin menar att det finns många olika sätt att bygga skissmodeller, exempelvis med enkla medel som tejp eller block, men också något mer avancerade modeller i till exempel lera.

3.4 Utvärdering

I utvärderingen av koncepten användes Pugh-matris samt Tänka-högt-metoden, vilka beskrivs i detta avsnitt.

3.4.1 Pugh-matris

Pugh-matrisen är ett enkelt hjälpmedel för att ställa olika koncept mot varandra och jämföra med en referenslösning (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Enligt Johannesson et al. spelar det ingen större roll vilken lösning som är referenslösning men ett sätt är att välja en konkurrents lösning för att jämföra med befintligt marknadsutbud. Pugh-matrisen görs genom att välja ett antal funktioner som anses vara viktiga, referenslösningen tilldelas sedan 0 poäng på alla dessa punkter varefter de andra lösningarna bedöms. Lösningarna bedöms på varje funktion om de är bättre, sämre eller likvärdig gentemot referenslösningen och tilldelas respektive 1 poäng, -1 poäng eller 0 poäng, se tabell 1. Lösningarnas totalpoäng räknas sedan ihop och det kan därefter bestämmas vilka lösningar som är värda att gå vidare med (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

Tabell 1. Exempel på Pugh-matris.

Funktion	Referens	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3
Funktion 1	0	1	-1	1
Funktion 2	0	0	-1	-1
Funktion 3	0	1	1	0
Totalt	0	2	-1	0

3.4.2 Tänka-högt-metoden

Tänka-högt-metoden är ett enkelt och användbart sätt att undersöka hur en produkt upplevs och används. Metoden går till genom att samla testpersoner som får prova en produkt och dess användargränssnitt medan de säger vad de tänker. Detta kan ofta leda till värdefulla insikter och både brister och fördelar som upptäcks blir viktiga att ta nytta av vid vidareutveckling av designen (Nielsen, 2012).

4. GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT

I detta kapitel beskrivs hur respektive metod använts, vilka fynd som gjorts längs vägen samt hur slutkonceptet kom till och presentation av detta.

4.1 Användare och befintliga lösningar

I detta avsnitt beskrivs översiktligt vad som kom fram ur intervjuer med konstruktörer samt en redogörelse för produkter på marknaden.

4.1.1 Intervjuer med konstruktörer

Intervjuer genomfördes med personer som jobbar eller har jobbat med konstruktion av produkter. De intervjuade var fyra kvinnor och fem män, i åldrarna 24–56, varav de flesta jobbat mindre än ett år. Att de flesta jobbat mindre än ett år kan påverka resultatet eftersom det kan minska utbredningen av belastningsskador bland de intervjuade.

Intervjun gick i åtta fall till genom en cirka 15 minuter lång intervju med öppna frågor, se bilaga 1, samt en kortare observation (cirka 5 minuter) av arbetsposition och användning av styrdon. I ett fall ägde intervjun rum över Skype där samma frågor ställdes och följdes av att den intervjuade skickade länkar på de datormöss hen använt samt en beskrivning av upplevelsen.

I observationen av konstruktörerna framkom att de tillfrågade har stor variation när det kommer till arbetsposition. Vissa står, andra sitter nedsjunkt, någon har fötterna på en pall och vissa sitter snett. Det är därför viktigt att styrdonet är flexibelt för att användaren själv ska kunna bestämma sin arbetsposition. De allra flesta satt dessutom med underarmen rak eller vriden inåt, det breda tangentbordet verkade alltså inte skapa belastande vridning på underarmen då detta var placerat framför styrdonet i de flesta fall. Detta tros bero på att tangentbordet används relativt lite jämfört med styrdonet.

De flesta använde någon form av traditionella datormöss och hade Spacemouse från 3DConnexion som komplement. Spacemousen används för att underlätta navigering i CAD-program, genom att exempelvis rotera objekt och zooma. Detta upplevdes minska belastning på den dominanta handen. Endast en av de tillfrågade använde en vinklad mus. Två av de tillfrågade växlade hand för att minska belastning i den dominanta handen. Många upplevde även en något rak hand som bekvämt.

De tillfrågade använde 3–5 knappar på sitt styrdon samt scrollhjul. I de fall styrdonen hade fler knappar upplevdes det som förvirrande och okunskap rådde om och hur de skulle programmeras. De knapparna som upplevdes som viktigast var höger-, vänster- och mittknapp samt backspace och forward. Vissa påpekade att knapparna ibland hade för högt klickmotstånd så att användaren var tvungen att använda mer kraft än önskat.

Få upplevde sladden som ett problem, men uppgav att de ändå valt sladdlös om batteritiden var lång eftersom att sladden upplevdes som att den kunde vara i vägen. De flesta kunde inte

heller uppge någon konkret fördel med att ha gummiliknande material på styrdonet, men det upplevdes ändå som positivt. En person poängterade att det kan vara fördelaktigt med olika material eftersom man då kan känna var knapparna finns utan att titta. Vikten hade de flesta inte tänkt på vid användning av styrdon, men de uppgav ändå att de vill ha viss vikt för att styrdonet ska kännas kontrollerat, men dock inte för stor vikt så att mycket kraft behöver användas.

Upplevelsen av bredd varierade stort, där vissa hade svårt att nå knapparna och andra upplevde att fingrarna hamnade på utsidan av styrdonet så att hög belastning lades på fingrar under styrning. Flera av de tillfrågade uppgav att de upplevt diskomfort vid användning av datormöss, där fingrar, handled, och armbåge beskrevs som särskilt utsatta områden.

4.1.2 Intervju med doktorand Lilian Forsgren

En intervju genomfördes med Lilian Forsgren som är doktorskand inom polymera material och kompositer på Chalmers tekniska högskola. Syftet var att få en klarare bild av vilka material som kan vara relevanta att undersöka med avseende på mekaniska egenskaper samt hållbarhetsaspekter. Intervjun inleddes med ett antal frågor, se bilaga 2, som gick över till ett öppet samtal kring polymera material och alternativ till dessa.

Det framkom ur den personliga kommunikationen med Forsgren att ABS-plast används i stor utsträckning eftersom att det är lätt att forma och tillverkas i stora kvantiteter, vilket gör den relativt billig. För att minska miljöpåverkan skulle biobaserad plast kunna användas istället, där biomaterial används vid framställning istället för olja. Dessa material har samma sammansättning som oljebaserade plaster och har därför samma egenskaper. Ett intressant alternativ skulle, enligt Forsgren, vara PLA-plast. Dock var hon osäker på om den har tillräckligt goda egenskaper för tillämpningen.

Om oljebaserad plast ändå skulle användas är återvunnet material, enligt Forsgren, intressant. Dock påverkas materialets egenskaper varje gång det återvinns, i och med att polymerkedjorna blir kortare. Eftersom styrdonet inte kommer utsättas för så stora belastningar kan högre andel återvunnet material än det som normalt rekommenderas (max 30%) användas. Dock är det viktigt att det finns goda kvalitetskontroller för plasten för att säkerhetsställa produktens hållbarhet. Ett alternativt till återvunnet material är spillmaterial från industrier. Används detta har materialets mekaniska egenskaper inte påverkats.

Smälttemperaturen, för kristallina material, och glassmälttemperaturen, för amorfa material, är även den viktig eftersom att lägre temperaturer kräver mindre energiåtgång. Amorfa material saknar kristallstrukturer och kan per definition alltså inte smälta. De har en mer ostrukturerad sammansättning.

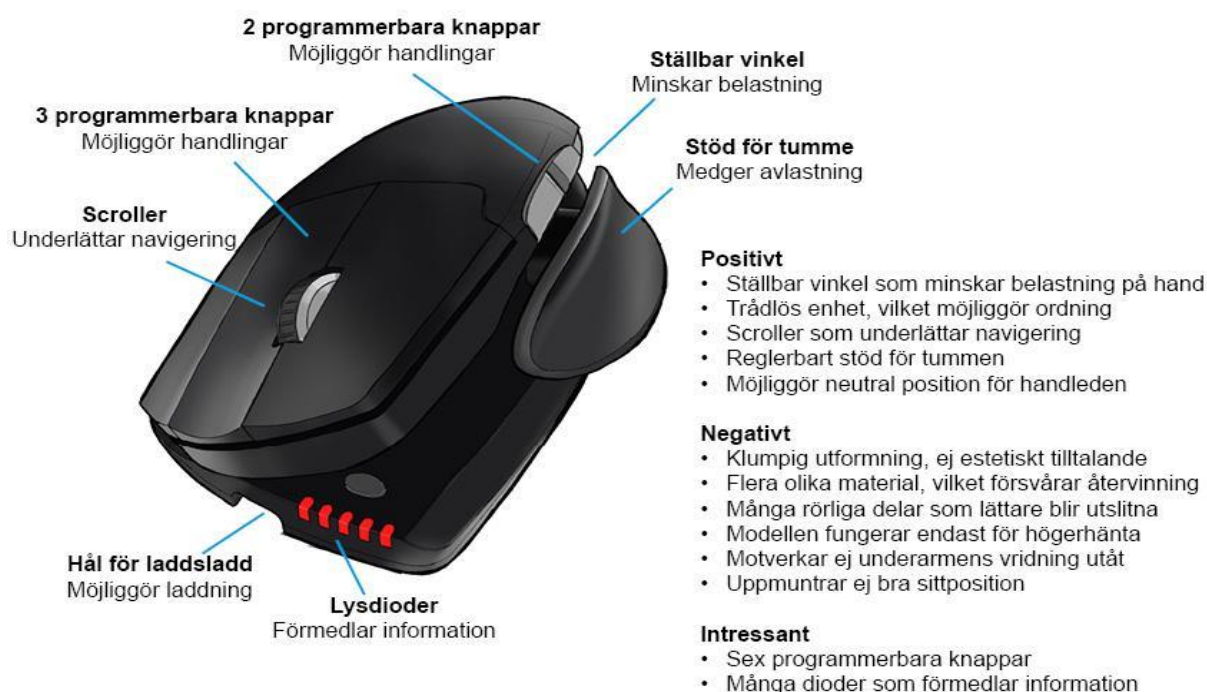
Gällande glidkuddar på styrdonets undersida, uppgav Forsgren att det kan vara viktigt att styrdonet ej skrapar mot underlaget för att skapa en mer exklusiv känsla. Vid val av material, fortsatte hon, bör friktionstalet, slittålligheten och hårdheten tas i beaktande.

Enligt Forsgren är formsprutning den bästa tillverkningstekniken för styrdonet, eftersom den bland annat är relativt billig. Additiv tillverkning är ej intressant för större kvantiteter ännu. Ska material färgas bör hela materialet göra det snarare än att lackeras eftersom kvaliteten blir bättre samt att tid sparas i tillverkningen.

Alternativa material hade kunnat vara aluminium eller bambu. Aluminium kan återvinnas utan någon påverkan på mekaniska egenskaper, dock kan processen för återvunnet aluminium kräva mer energi än den för plaster. Bambu är intressant eftersom det är ett naturmaterial och lätt att forma. Dock var Forsgren osäker på huruvida den tål värme och hur den påverkas av svett/spill.

4.1.3 Vanligt förekommande datormöss

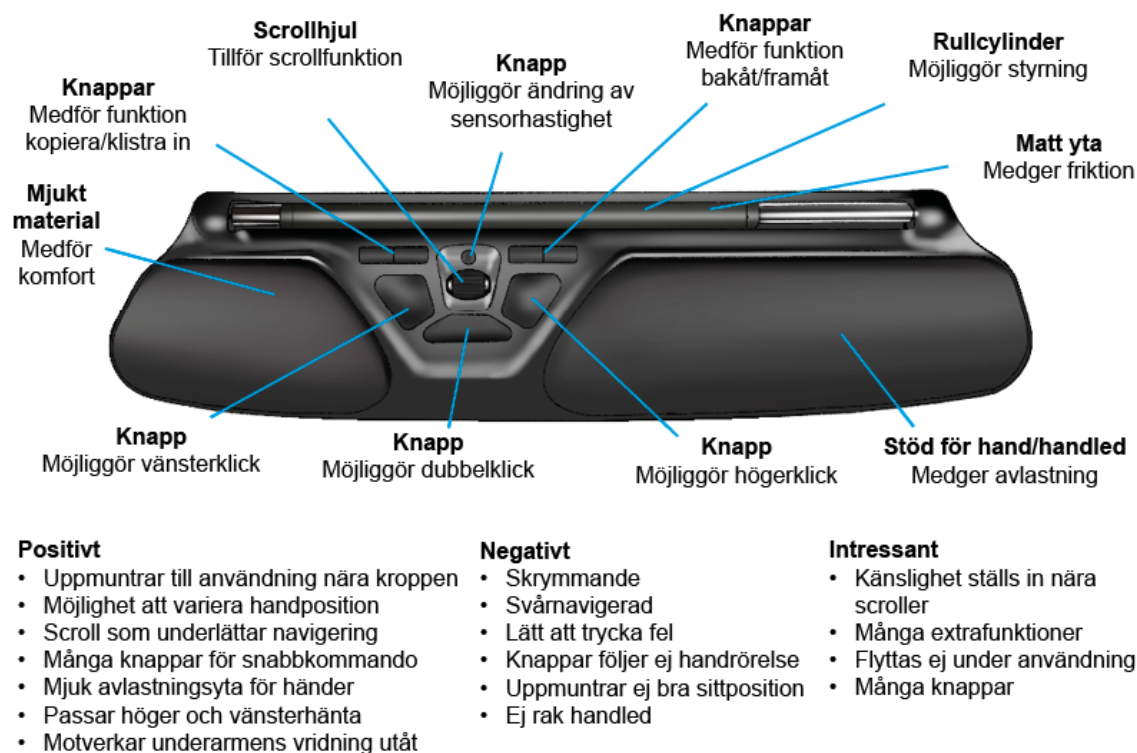
För att dra lärdom av andra redan existerande koncept gjordes produktanalys och PNI på tre styrdon som är utvecklade speciellt med tanke på ergonomi, se figur 3–5, samt en standardmus, se figur 6, som ofta används. De tre ergonomiska styrdonen förekommer i olika varianter, men de som valdes är representativa för respektive typ av styrdon. De tre modellerna valdes även med avseende på hur olika de är varandra, för att ta så många funktioner och utformningar som möjligt i beaktande.



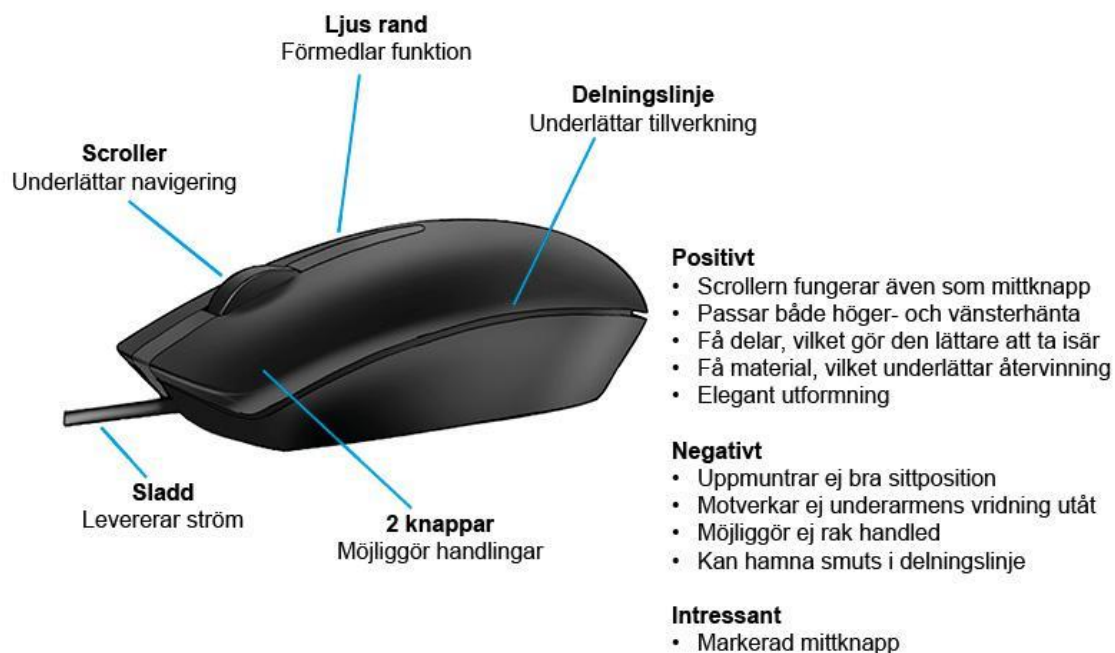
Figur 3. Produktanalys och PNI på Unimouse från Contour Design. Inspiration hämtad från bild på dustinhome.se. Författarens egen bild.



Figur 4. Produktanalys och PNI på MX Ergo från Logitech. Inspiration hämtad från bild på elgiganten.se. Författarens egen bild.



Figur 5. Produktanalys och PNI på RollerMouse free 3 från Contour Design. Inspiration hämtad från bild på dustinhome.se. Författarens egen bild.



Figur 6. Produktanalys och PNI på Dell Optical Mouse-MS116 från Dell. Inspiration hämtad från bild på ginza.se. Författarens egen bild.

Både Unimouse och MX Ergo, se figur 3 och 4, är ställbara, vilket innebär att de kan vinklas för att minska belastning både genom att det möjliggör variation av handens position, men också genom att användaren själv kan bestämma vilken position som är bekväm. De tre ergonomiska datormössen har många knappar och funktioner, vilket kan ha en förvirrande påverkan på användaren speciellt med tanke på att det framkom i intervjuerna att de flesta använder 3–5 knappar. Fördelen med standardmusen, såväl som Rollermouse Free 3, är att de kan användas av både höger- och vänsterhänta.

4.2 Idégenerering och analys av koncept

I detta avsnitt beskrivs arbetet med att ta fram ett brett spann av idéer samt vilka idéer som framkom.

4.2.1 Funktionsanalys

För att skapa en utgångspunkt och gemensam målbild för idégenereringen sammanställdes en funktionslista. Denna tog upp viktiga funktioner som framkom ur produktanalysen, men även andra funktioner som ansågs kunna bidra till ett starkt koncept. Funktionslistan är tänkt att bidra till en ökad idérymd, men också att vara ett hjälpmedel för att ta fram relevanta lösningar från början. Se tabell 2.

Tabell 2. Funktionsanalys för koncept.

Funktionsområde	Funktion		Klass	Anmärkning
Huvudfunktion	Medge	navigering	Nödvändig	Styra muspekare på skärm
Ergonomi/användning				
Stödfunktion	Medge	grepp	Önskvärd	Form/material/yta
Stödfunktion	Erbjuda	avlastning	Nödvändig	Form/anpassningsbar
Delfunktion	Möjliggöra	val	Nödvändig	Sensor, knappar
Stödfunktion	Minska	kraftanvändning	Nödvändig	Knappar, glidning
Stödfunktion	Möjliggöra	baksteg/framsteg	Önskvärd	
Stödfunktion	Erbjuda	bläddring	Nödvändig	
Stödfunktion	Motverka	belastningsskador	Nödvändig	
Konstruktion				
Stödfunktion	Minimera	materialåtgång	Önskvärd	Minska tjocklek på hölje.
Stödfunktion	Anpassa	för tillverkning	Nödvändig	Radier, godstjocklek, släppvinklar, mm
Stödfunktion	Variera	användning	Önskvärd	Ändra form/läge, ändra känslighet
Stödfunktion	Möjliggöra	demontering	Nödvändig	Ej limmade delar, byte av batteri, fästen
Stödfunktion	Skydda	komponenter	Nödvändig	Från slag/smuts
Stödfunktion	Underlätta	rengöring	Önskvärd	Minska delningslinjer
Tekniska funktioner				
Stödfunktion	Indikera	läge, av/på	Önskvärd	Lampa/färgval/blinkning
Stödfunktion	Möjliggöra	på/avstängning	Önskvärd	
Delfunktion	Möjliggöra	laddning	Nödvändig	Batterier/ladduttag
Miljö				
Stödfunktion	Förenkla	återvinning	Nödvändig	Märkning, minska antal delar
Stödfunktion	Minimera	energianvändning	Önskvärd	Automatisk av/på
Stödfunktion	Minska	miljöbelastning	Nödvändig	Materialval, livslängd
Stödfunktion	Möjliggöra	reparation	Önskvärd	Utbytbara komponenter
Stödfunktion	Maximera	livslängd	Önskvärd	Material, konstruktion
Ekonomi				
Stödfunktion	Erbjuda	prisvärdhet	Nödvändig	
Stödfunktion	Tilltala	målgrupp	Nödvändig	
Stödfunktion	Öka	försäljningsvolym	Önskvärd	Serietillverkning
Semantiska funktioner				
Stödfunktion	Uttrycka	karaktär	Önskvärd	anv. förväntningar och referensram
Stödfunktion	Uttrycka	identitet	Önskvärd	Produktmärkning, form och färg
Stödfunktion	Kommunicera	funktion	Nödvändig	Klickljud, knappar, symboler, logisk
Stödfunktion	Utstråla	Kvalitet	Nödvändig	Material, form
Stödfunktion	Motverka	anonymitet	Önskvärd	Skilja sig från konkurrenter
Material				
Stödfunktion	Motverka	klibbighet	Önskvärd	

4.2.2 Moodboard

En moodboard skapades för att få en gemensam förståelse och en samordnad tanke kring hur produktens uttryck skulle vara. Den fungerar även som inspiration när koncepten förfinas ytterligare. Ursprung, teknik, innovation, lugn och rörelse är några av de inspirerande orden som förmedlas via bilderna.

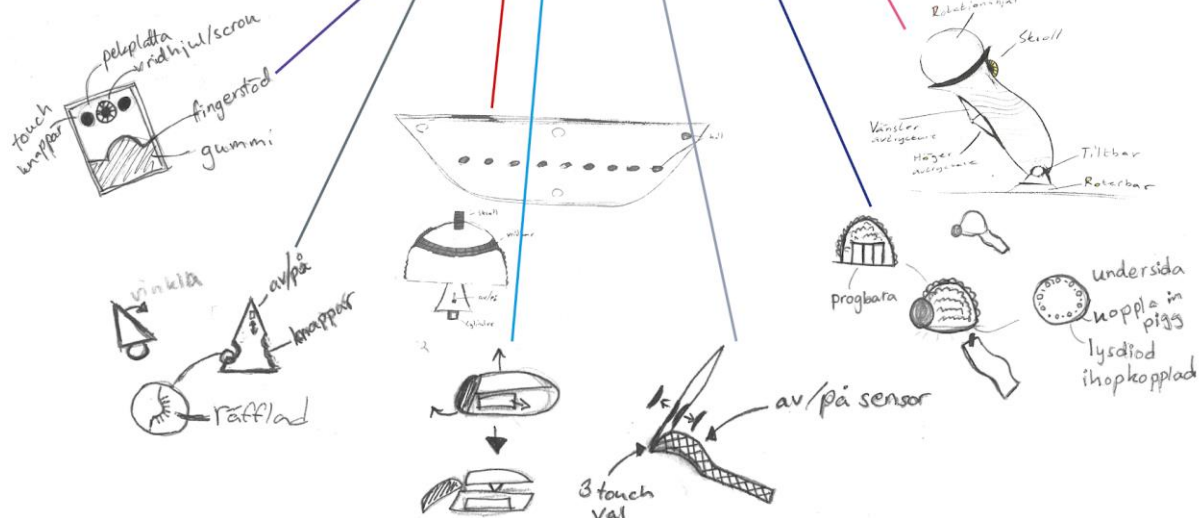


Figur 7. Moodboard. Författarens egen bild.

4.2.3 Idégenerering

Idégenereringen började med brainwriting där båda två satt i 20 minuter åt gången och skissade idéer. Detta gjordes tre gånger med pauser mellan och resulterade i en stor variation av koncept. Tillvägagångssättet kan också kallas "stop and go". Sedan delades koncepten in i grupper för att få en bättre överblick av de olika typerna av koncept som kommit ur brainwritingen.

För att öka idéspannet ytterligare användes sedan Osborns idésporrar. Ytterligare några idéer uppstod och skissades sedan ner.



Figur 9. Skisser över de koncept som kom fram ur den morfologiska analysen. Författarens egen bild.

4.3 Utvärdering och upplevelse av koncept

I detta avsnitt beskrivs hur sållningen av idéer gick till och vilka faktorer som låg bakom.

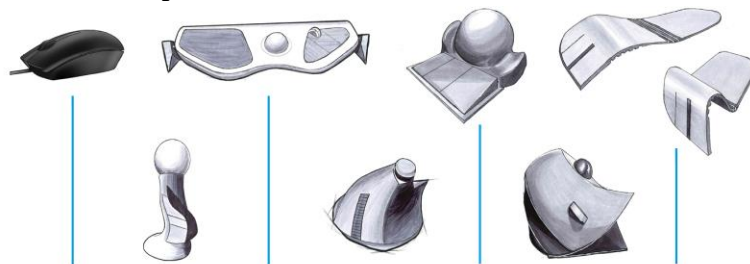


Figur 11. Skissmodellering av utvalda koncept i lera, papper och skumplast. Författarens egen bild.

4.3.3 Pugh-matris

Problemen som uppdagades under skissmodelleringen samt andra viktiga krav sammanställdes i en Pugh-matris. Syftet var att jämföra koncepten med den typ av styrdon som oftast används på arbetsplatser där CAD används, alltså en standarddatormus. Koncepten fick namnen Fyren, Styrbord, Klippan, Ankan, Viken och Vågen, se tabell 4.

Tabell 4. Pugh-matris över de valda koncepten.



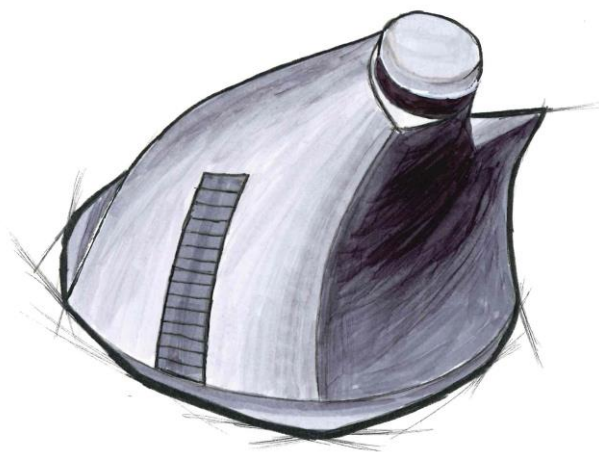
Kategori	Kriterier	Referens	Fyren	Styrbord	Klippan	Ankan	Viken	Vågen
Funktion	Navigering	0	0	-1	0	0	0	0
	Möjliggöra val	0	-1	1	1	0	1	0
	Rengöring	0	-1	-1	0	0	-1	-1
	Stabilitet	0	-1	1	1	1	1	0
Ergonomi	Avlastning	0	1	1	1	1	1	1
	Variera användning	0	-1	1	-1	0	1	1
	Kraftanvändning	0	-1	-1	0	-1	0	0
Miljö	Få delar	0	0	-1	0	0	-1	-1
	Lätt att ta isär	0	0	-1	0	0	-1	-1
	Materialåtgång	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Uttryck	Ergonomi	0	1	0	1	1	1	1
	Identitet	0	1	1	1	1	1	1
	Kvalitet	0	1	1	1	1	1	1
Design för alla	Tillåta vänster/höger	0	-1	0	-1	1	-1	-1
	Passa olika handstorlekar	0	-1	1	0	1	0	1
Summa		0	-4	1	3	5	2	1

Fyren visade sig vara sämre än referenslösningen, medan Styrbord, Vågen och Viken endast var marginellt bättre. De lösningar som visade sig ha flest fördelar jämfört med referensen var Klippan och Ankan, varför dessa lösningar valdes att gå vidare med. Ytterligare en anledning till att endast gå vidare med två koncept är så att mer tid skulle kunna läggas på utvecklingen av dessa.

4.3.4 Användarupplevelse

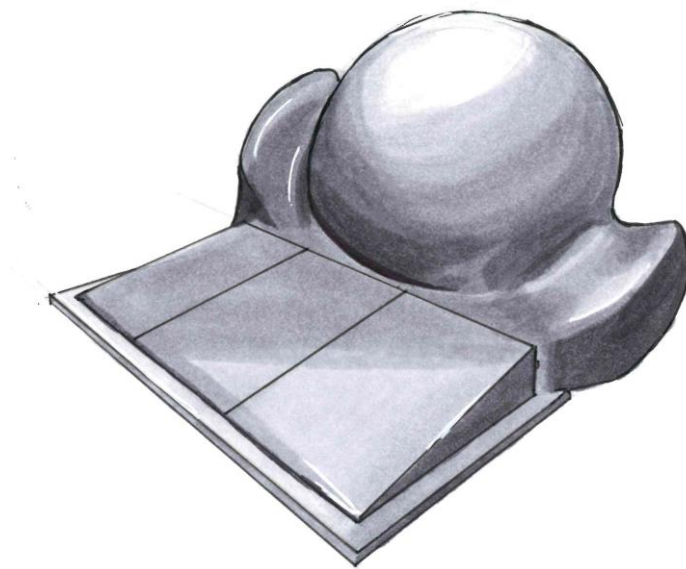
För att få en bild över användarupplevelsen genomfördes tänka-högt-metoden på lermodellerna Klippan och Ankan, som deltagarna fick testa. De som deltog var CAD-konstruktörer, två kvinnor och två män, som arbetat med CAD olika länge. Deltagarna fick tänka och prata fritt till en början och ombads efteråt att tänka kring knappar, förflyttning och funktion om de inte redan behandlat det.

De tillfrågade upplevde Klippan som skön och avlastande. De upplevde även att armen fick styra navigeringen eftersom handen vilade på styrdonet och alltså inte fick något grepp, detta var positivt för vissa och negativt för andra. En deltagare upplevde att handleden spändes mer eftersom hen då fick anstränga sig mer för att röra styrdonet med handleden, medan en annan upplevde att mindre kraft kunde användas vid navigering. Dock hade somliga svårt att förstå hur navigeringen fungerade, alltså om den styrdes genom att röra handen eller med joystick. Det var också otydligt vad joystick var, en tillfrågad trodde att det var en knapp. Alla tillfrågade reagerade på att Klippan kändes stor.



Figur 12. Konceptet Klippan. Författarens egen bild.

Deltagarna upplevde att det var svårt att avgöra hur Ankan skulle användas, vissa tyckte det var oklart vilket håll den skulle vara åt eftersom knapparna misstogs för handledsstöd. Det var dessutom oklart huruvida kulan medgav navigering, vilket de flesta trodde. De flesta tyckte dock att den var skön att hålla i, dock rådde delade meningar om knapparna som vissa tyckte var mycket lätta att använda, medan andra tyckte att det kändes konstigt. Vidare upplevdes användandet av Ankan mycket olika beroende på handstorlek.



Figur 13. Konceptet Ankan. Författarens egen bild.

4.3.5 Ergonomianalys

För att bedöma ergonomin hos koncepten togs följande i beaktande:

- Belastning med avseende på handposition
- Upplevd komfort
- Möjlighet till variation

Klippan har en överlägset bättre position för handen än Ankan, detta eftersom den erbjuder stöd för handleden samtidigt som den styr upp handen och för den närmare sin neutrala position. Den upplevda komforten var betydligt högre för Klippan än Ankan under tänka-högt-metoden, vilket är viktigt för att undvika skador. Möjligheten till variation är något större för Ankan eftersom den möjliggör hantering med båda händerna, dock gjordes bedömningen att den upplevda komforten och handens position var viktigare.

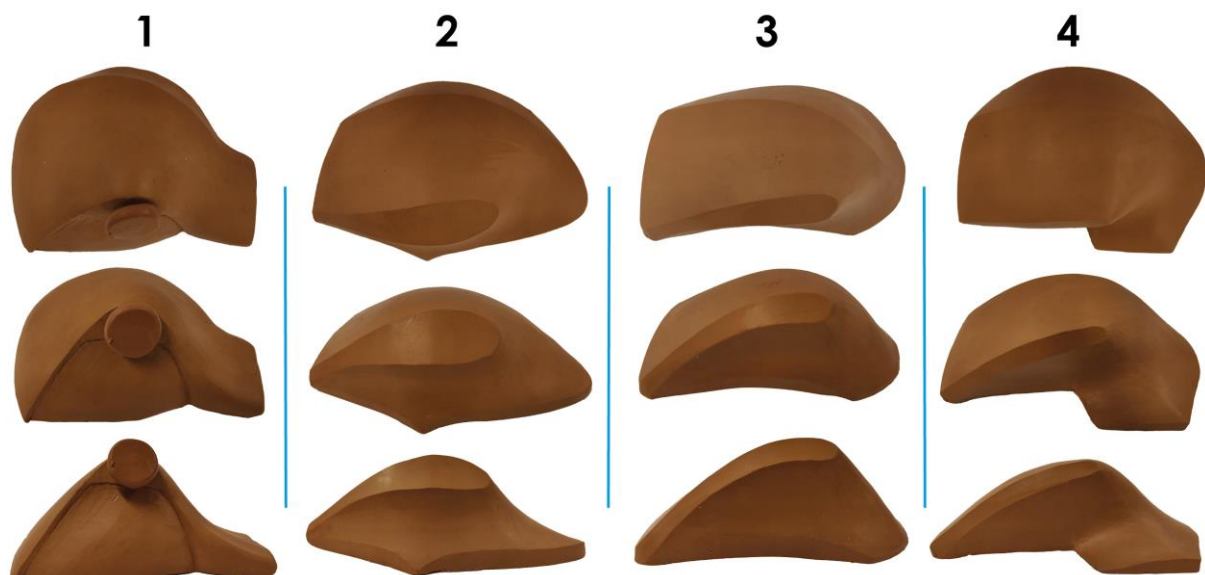
4.3.6 Val av slutkoncept

Klippan bedöms ha en bättre ergonomi för handen och upplevdes som bekväm av alla tillfrågade, därför faller det sig självklart att Klippan är slutkonceptet. Dock finns ett antal problem kring konceptet, däribland att det är otydligt hur styrdonet ska navigeras, att den upplevs som stor, hur joysticken ska användas och huruvida det är möjligt att använda sig av den tilltänkta tekniken.

4.3.7 Förfining och utvärdering

Baserat på de förbättringsområden som togs upp i 4.3.6 Val av slutkoncept, gjordes ytterligare varianter på Klippan i lera, se figur 14. Dessa syftade till att minska materialåtgången samtidigt som hela handen får stöd och vinklas något uppåt. Alla fyra koncept har olika

vinklar på ovandelen för att testa vad som upplevs som bekvämt och om vinkeln hade någon betydelse i detta, se figur 15.



Figur 14. Varianter 1–4 (från vänster) på konceptet Klippan. Författarens egen bild.



Figur 15. Varianter 1–4 (från vänster) med olika vinklar. Författarens egen bild.

Modellerna testades sedan av 14 personer av olika ålder, kön och handstorlek. De tillfrågade fick i uppgift att rangordna Klippan samt de 4 nya varianterna av Klippan från bäst till sämst utifrån deras egen upplevelse av mössen. Ordningen på koncepten då de testades av deltagarna var slumpad och ändrades från deltagare till deltagare. Undersökningen syftade till att göra en kvantitativ bedömning av koncepten för att välja ut en vinnare. Den bästa tilldelades 5 poäng, den näst bästa tilldelades 4 poäng och så vidare.

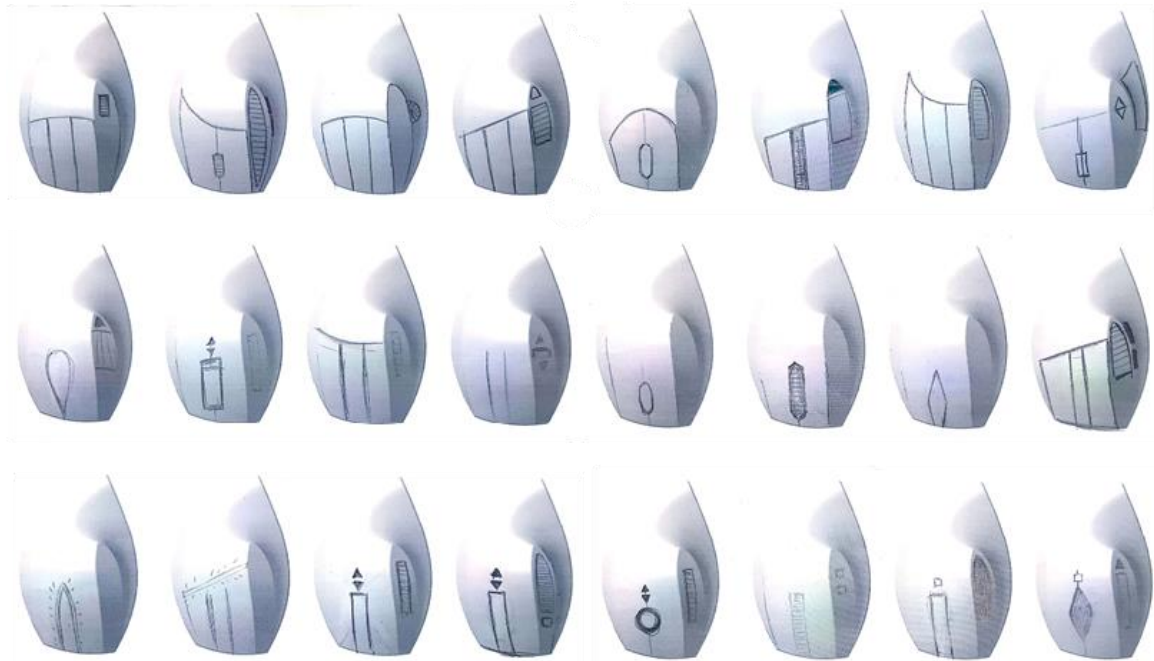
Tabell 5. Poängställningen efter den kvantitativa utvärderingen.

Koncept	Klippan	1	2	3	4
Poäng	29	24	59	44	54

Variant 2 blev alltså den klara vinnaren. Endast ett koncept visade sig upplevas sämre än Klippan, vilket tyder på att 3 av 4 varianter faktiskt var förbättringar av konceptet.

4.3.8 Knappar

För att utforska olika alternativ gjordes ett antal skisser över hur knapparna skulle kunna se ut utifrån de önskemål som kom fram under intervjuerna. De knappar som skulle finnas med var följande: höger-, vänster- och mittknapp, scroll, DPI-knapp samt bakåt- och framåtknapp, eftersom de konstruktörer som deltog i undersökningarna önskade dessa.



Figur 16. Skisser på knappidéer. Författarens egen bild.

Det slutgiltiga valet blev en kombination av olika koncept samt befintliga lösningar. För att förenkla för användaren bestämdes det att DPI-, framåt- och bakåtknappen ska befinna sig och se ut ungefär som på andra datormöss. Scrollen placeras däremot vid tummen för att minska belastning på fingrarna och är av touchfunktion, för att inte vara i vägen och dessutom passa olika handstorlekar. Höger- och vänsterknappen integreras med styrdonets topp för att skapa en enkel konstruktion med få delar, medan mittknappen är en egen del med lite mer komplex konstruktion.

4.3.9 Material och tillverkning

En sökning gjordes i CES för att undersöka vilka material som lämpar sig. ABS-plast är ett vanligt material att tillverka datormöss i, eftersom ABS har goda mekaniska egenskaper och är relativt billigt. För att ha något att utgå ifrån söktes material med liknande egenskaper efter. De villkor som sattes upp var:

<i>Price:</i>	<40 SEK/kg	<i>Insulatur</i>	Good
<i>Tensile strength:</i>	>25 MPa	<i>Transparency:</i>	Opaque
<i>Hardness:</i>	>5 HV	<i>Moldability:</i>	>4
<i>Fracture toughness:</i>	>1 Mpa.m ^{0.5}	<i>Machinability:</i>	>3
<i>Glass temperature:</i>	<200°C	<i>Recyclable</i>	Yes

Det enda materialet som klarade sållningen förutom ABS var POM, Polyoximetylen. Dock är inte POM lämpligt för tillämpningen eftersom detaljer gjorda av POM helst ska hållas isär, då de kan fastna i varandra, enligt sökning i CES. Dessutom behöver POM något annat material, oftast glasfiber, att fyllas med för att uppnå önskade egenskaper. Detta försvårar återvinning av produkten avsevärt och därför är ABS det bästa alternativet. ABS-plasten i styrdonet ska innehålla minst 30% återvunnen plast, men vidare undersökningar behöver göras för att kunna ha så hög halt återvunnet material som möjligt.

Förslaget på den biobaserade plasten PLA från doktorand Lilian Forsgren, visade sig ha betydligt sämre mekaniska egenskaper än ABS och uteslöts också.

De tillverkningsmetoder som lämpar sig bäst för styrdonet är formsprutning, flerkomponentsformsprutning samt additiv tillverkning. Additiv tillverkning är betydligt dyrare än formsprutning för stora produktionsserier, samtidigt som flerkomponentsformsprutning försvårar återvinning eftersom det innebär sammansättning av olika material. Den tillverkningsmetod som är bäst lämpad är därför formsprutning. För mer information om tillverkningsteknik se 2.5 *Tillverkningsprocesser*.

4.4 Konstruktion av koncept i CAD

Detta avsnitt beskriver processen att gå från lermodell till tillverkningsunderlag, alltså en CAD-modell som uppfyller konstruktionskrav samtidigt som de ergonomiska formerna tas tillvara på.

4.4.1 Inskanning av lermodell

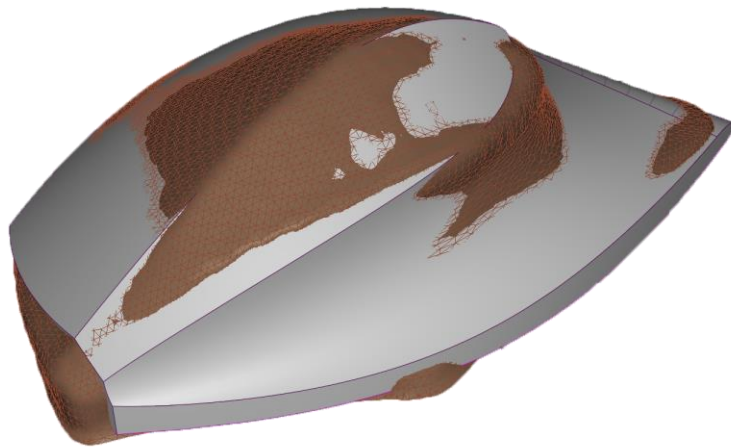
För att vidareutveckla konceptet ytterligare skannades lermodellen in med en 3D-skanner vid namn "Sense scanner" från företaget 3D systems. Resultatet blev godtagbart och resulterade i en inskannad ytmodell i form av ett nät av polygoner. Noggrannheten hos 3D-skannern var relativt låg, men att få in ytorna från lermodellen till datorn visade sig bli ett bra hjälpmedel när ytmodelleringen i Alias AutoStudio påbörjades.



Figur 17. Nätet som bildades från den inskannade lermodellen. Författarens egen bild.

4.4.2 Ytmodellering i Alias AutoStudio

Med den inskannade lermodellen som grund konstruerades en ytmodell i Alias Autostudio för att skapa bättre ytor. Först importerades den inskannade modellen till programmet för att kunna använda den som mall när de nya ytorna och kurvorna byggdes. Vissa ändringar på formen gjordes i samband med detta eftersom lermodellen inte var fulländad, utan mer sågs som en skissmodell. Efter att ytorna byggts upp i Alias skedde en ytterligare iteration. Iterationen ledde till några ändringar på formen så att hela toppdelen skulle kunna formsprutas i ett stycke. För att kunna exportera ytorna och påbörja konstruktionsarbetet kontrollerades först om ytorna var täta, d.v.s. att det inte fanns några hål eller glapp i mötena mellan ytorna. Det är viktigt att modellen är tät för att inte stöta på problem senare i processen.



Figur 18. Ytorna som skapades i Alias med lermodellen som grund. Författarens egen bild.

4.4.3 Solidmodellering i Catia V5

Ytorna från Alias AutoStudio sparades först som en STP-fil och importerades sedan till Catia V5 för att påbörja konstruktionsarbetet. I Catia V5 skapades en godstjocklek och alla andra konstruktionselement såsom delningslinjer, knappar och inre detaljer. För att få inspiration och idéer på hur olika konstruktionselement kunde se ut, inspekterades plastdetaljer som Cross Design tidigare tillverkat samt två isärskruvade datormöss. En av de isärskruvade datormössens elektronik användes som mall, där målet var att kunna sätta in elektroniken från den isärskruvade musen i en utskriven prototyp av slutkonceptet.

4.5 Slutkoncept

I detta avsnitt redogörs för resultatet av projektet genom renderingar av modellen, beskrivning av funktioner, kravspecifikation samt utvärdering.

4.5.1 Renderingar

När modellen var färdigställd gjordes renderingar i programvaran Catia V5, se figur 19, samt i programvaran Alias autostudio, se figur 20.

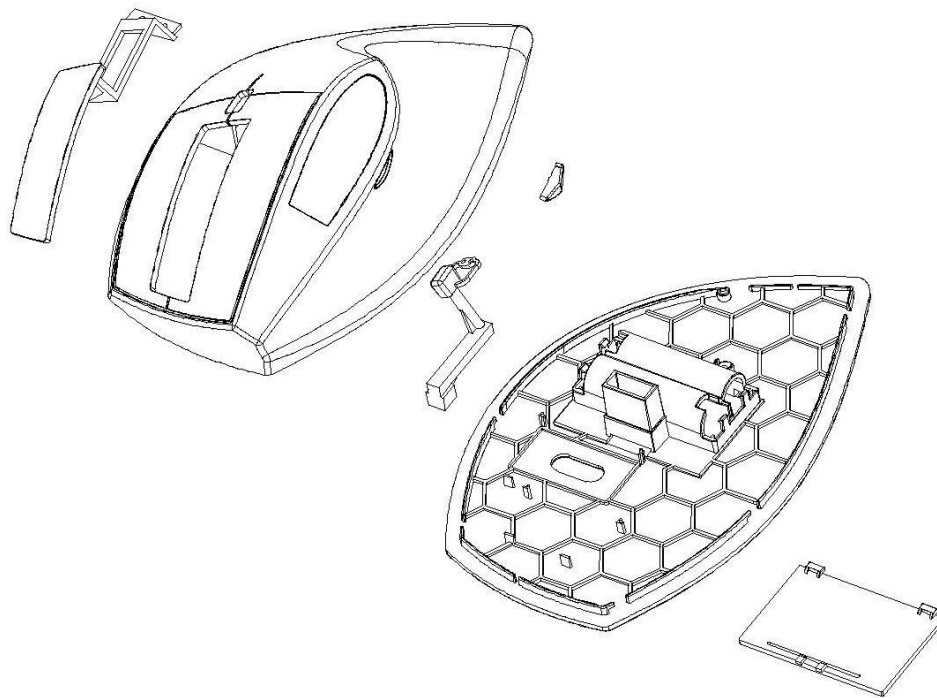


Figur 19. Renderingar från Catia V5 på färdigställt koncept ur olika vinklar. Författarens egen bild.



Figur 20. Renderingar från Alias AutoStudio på färdigställt koncept. Författarens egen bild.

4.5.2 Sprängskiss

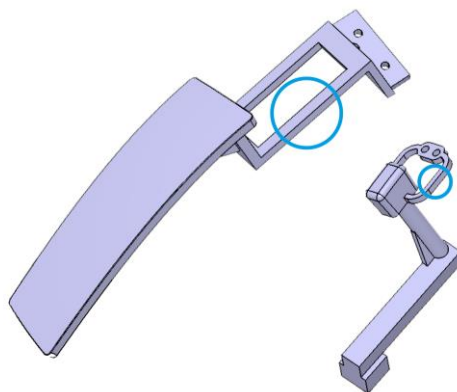


Figur 21. Sprängskiss över styrdonets ingående delar. Författarens egen bild.

4.5.3 Konstruktion

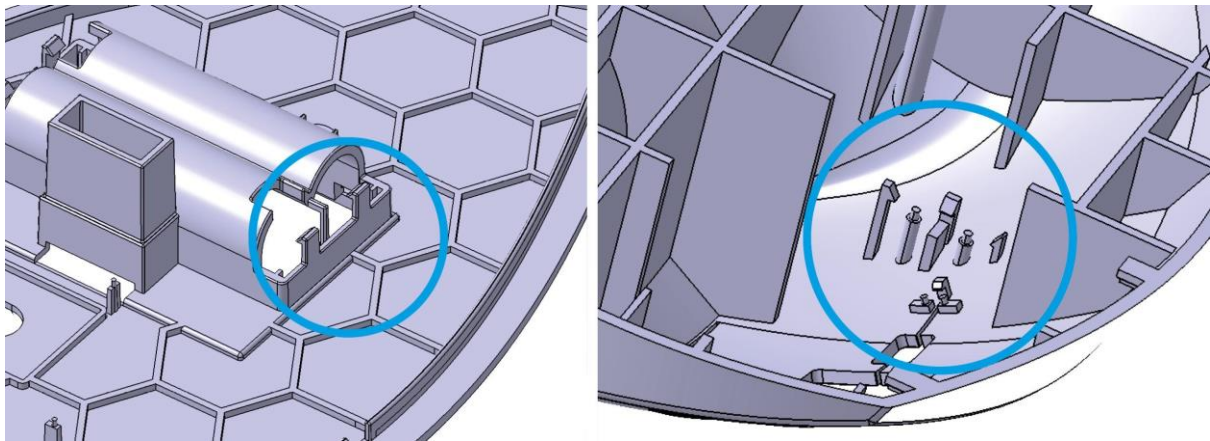
Prototypen består av totalt sex olika plastdetaljer, se figur 21. Kroppen består av en ovandel och en bottendel och kompletteras med en lucka och tre knappar som separata delar. Godstjockleken är 2 mm och honeycomb-ribborna är 1 mm tjocka.

Fjäderfunktioner finns på flera ställen och är utformade så att plastdelar böjs när de utsätts för en kraft. På luckan i bottendelen trycks hålrummet ihop för att möjliggöra byte av batterier. När kraften försvinner låser sig luckan igen tack vare plastens fjädring. Plastfjädrar finns också på alla knappar där plastens fjädring håller knapparna i rätt position samtidigt som de styr knappens rörelse när den utsätts för en kraft, se figur 22.



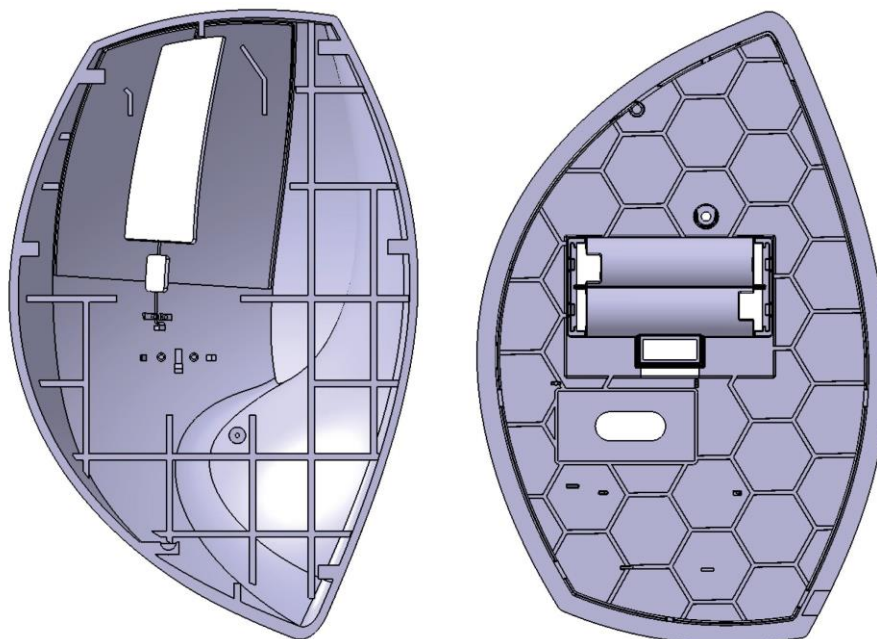
Figur 22. Fjädrande delar på mittknapp (vänster) och DPI-knapp (höger). Författarens egen bild.

Snäppfästen tar också vara på plastens fjädring och används för att fästa lösa delar till huvudkroppen. Snäppfästen finns vid batterierna för att hålla kvar metallbitarna som ligger an mot batteriernas kortsidor. Det finns också snäppfästen för att fästa dpi- och mittknapp till toppdelen, se figur 23.



Figur 23. Snäppfästen i konstruktionen. Författarens egen bild.

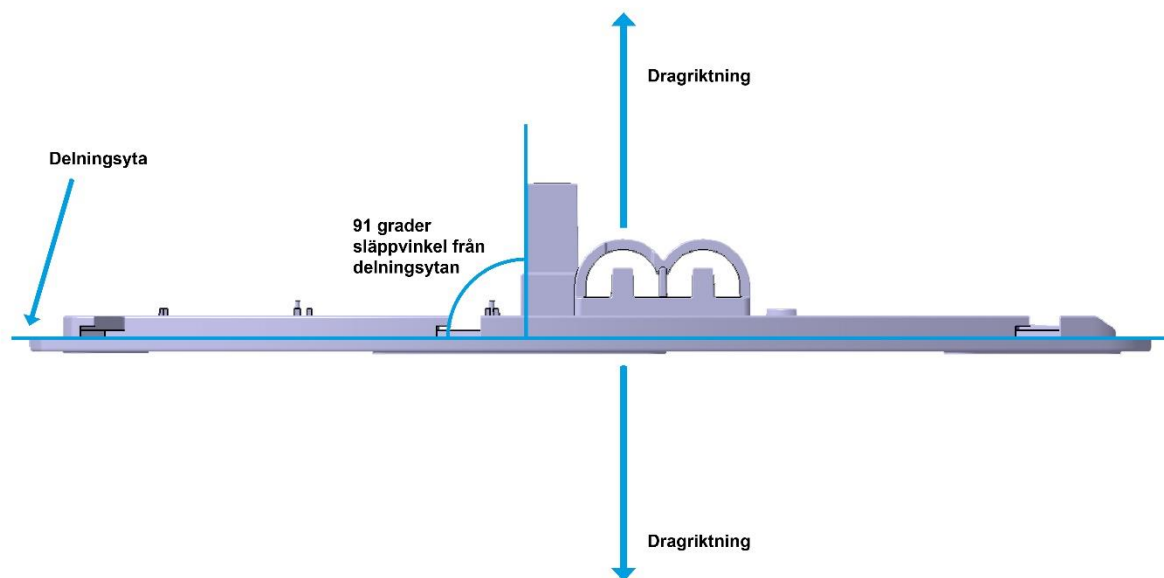
Ribbor används för att skapa styvare plastdetaljer som tål mer påfrestningar utan att gå sönder. I plastdetaljer används med fördel ett hexagonmönster vilket också kallas för honeycomb-mönster. Detta mönster ger stabilitet åt alla riktningar och har därför använts på modellens bottendel, se figur 24. Det är viktigt att undvika för små utrymmen mellan ribborna då det kan orsaka problem för verktyget när produkten ska formsprutas.



Figur 24. Ribbor på styrdonets toppdel (vänster) och bottendel (höger). Författarens egen bild.

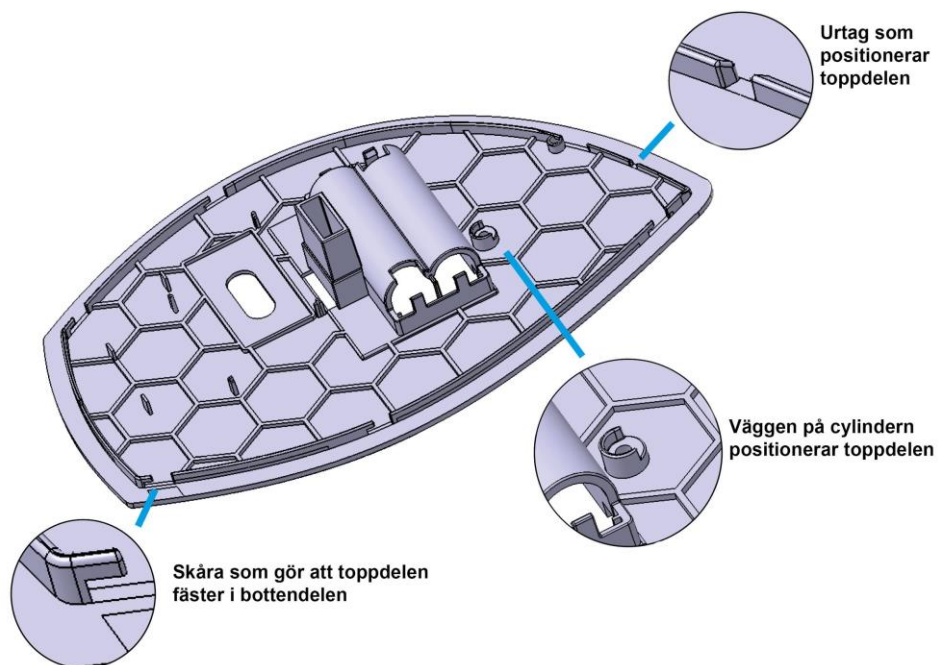
För att göra en produkt möjlig att formspruta måste dragriktning bestämmas. Produktens ytor måste ha mellan 1–3 graders lutning från dragriktningen för att plastdetaljerna inte ska fastna

i verktyget. Denna vinkel kallas släppvinkel och är viktig att tänka på om detaljen ska formsprutas. Eftersom prototypen inte ska formsprutas gjordes inte alla ingående delar med släppvinkel. Bottendelen är anpassad för formsprutning då alla vinklar har en lutning på minst 1 grad. I bottendelen är dragriktningen normalen till bottenplanet och den tänkta delningsytan är i linje med den inre bottenytan, se figur 25. Toppdelens skal är delvis anpassat för att kunna formsprutas i ett stycke, dock kräver toppdelen vidareutveckling för att formsprutning ska vara möjlig. Eftersom prototypen skulle tas fram med friformsframställning krävdes inte släppvinklar på alla delar för att få fram de fysiska prototyperna. Därför lades fokus på funktionen, framför att produkten skulle vara möjlig att formspruta.



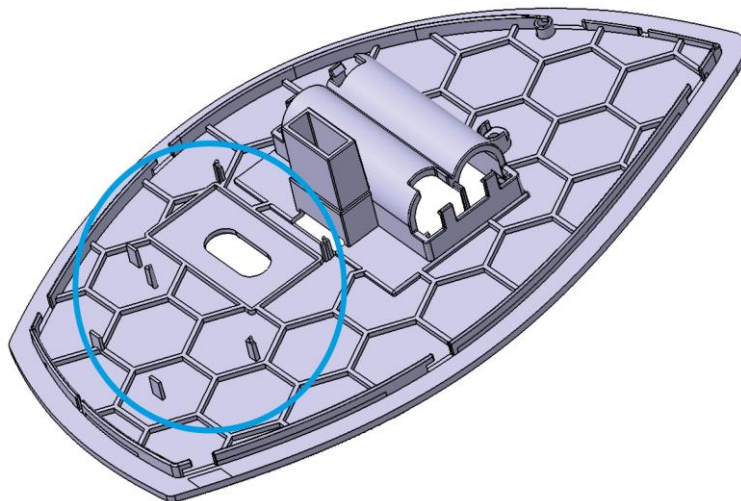
Figur 25. Delningsyta, dragriktning samt släppvinkel i profil på bottendelen. Författarens egen bild.

Prototypen är konstruerad med endast ett skruvförband för att underlätta återvinning och isärtagning. Skruvförbandet är placerat i den bakre delen och har därför kompletterats med förband som fungerar genom att toppdelen skjuts framåt och botten skjuts bakåt. Delarna låser sig då till varandra tack vare att toppdelen skjuts in i en skåra i bottendelen, se figur 26. För att delarna ska hamna i rätt position till varandra har det gjorts ribbor på ovan delen som går ner i urtag ur bottendelen, men också en vägg vid skruven hjälper till med detta, se figur 26.



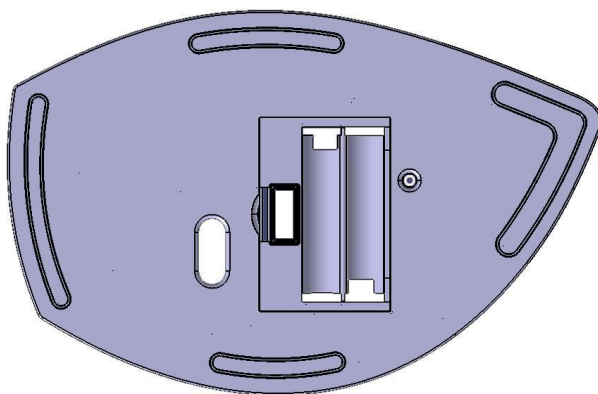
Figur 26. Infästningar för toppdelen. Författarens egen bild.

För att kretskortet ska placeras på rätt ställe finns det 3 pelare som ska placeras i kretskortets hål, se figur 27. För att positionera höjden på kretskortet finns det stöd som kretskortet ligger mot på en höjd av 4 mm från insidan på bottendelen.



Figur 27. Piggar för placering av kretskort. Författarens egen bild.

På bottendelens undersida sitter utbuktningar som visar vart glidkuddarna ska sitta, se figur 28. Glidkuddarna hjälper datormusen att få rätt friktion mot underlaget och förhindrar också underlaget från att repas.



Figur 28. Utbuktningar som visar vart glidkuddarna ska sitta. I mitten syns också facket för batterier och USB-mottagare. Författarens egen bild.

4.5.4 Funktioner

Styrdonet är försett med funktioner som de flesta i intervjuerna uppgav att de ville ha: Vänster-, höger- och mittknapp samt möjlighet att ställa in hastighet, möjlighet att scrolla och möjlighet att backa och gå framåt, se figur 29.



Figur 29. Styrdonets olika funktioner. Författarens egen bild.

Eftersom många användare uppgav att de inte förstod vad alla knappar användes till på mer avancerade datormöss, var det viktigt att tänka på tydlighet vid placering av knappar. Knapparnas position är därför mycket lik positionen på många andra datormöss, för att användarna ska hitta knappen där de förväntar sig att den ska vara. Knapparna är inte heller programmerbara eftersom även detta uppgavs skapa förvirring bland användarna.

Det som skiljer sig mest från traditionella datormöss är scrollen, både gällande utformning och placering. Istället för att placeras mellan höger- och vänsterknapp, som på traditionella datormöss, är den istället placerad på vänster sida om vänsterknappen och tänkt att användas med tummen, se figur 29. Att använda scrollen med tummen istället för pekfinger minskar belastningen på pekfinger, som redan utsätts för mycket belastning, och jämnar istället ut belastningen mellan handens olika delar. Scrollen är av touchfunktion, istället för ett hjul, vilket innebär hantering närmare handens neutralposition och minskar belastningen ytterligare. Scrollen har inte heller någon knappfunktion, som på traditionella datormöss, utan denna ersätts av en mittknapp.

För att styrdonet ska passa användare med olika handstorlekar är de mest använda knapparna avlånga. Användaren ska alltså kunna klicka lika bra långt fram på knappen som långt bak och alltså inte begränsas av var handen hamnar. Även scrollen är avlång för att passa olika händer. På botten delen finns ett fack för att sätta dit två stycken AAA-batterier som förser prototypen med ström, detta eftersom anslutningen till datorn är trådlös. Bredvid batterierna finns också ett fack för USB-mottagaren som kan användas när prototypen inte används, se figur 28.

4.5.5 Kravspecifikation

Tabell 7. Kravspecifikation för styrdonet.

	Kriterier	Kommentar	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Kravställare
1.	Tekniska Funktioner						
	1.1 Medge navigering	Styra muspekare på skärm		K	5	användartest	A&K
	1.2 Underlätta glid	Glidkuddar		K	4	användartest	A&K
	1.3 Indikera läge, av/på	Lampa/färgval/ blinkning		Ö	3	användartest	A&K
	1.4 Möjliggöra på/avstängning		Automatisk	Ö	5	användartest	A&K
	1.5 Minimera energianvändning	Automatisk av/på		Ö	5	användartest	A&K
	1.6 Möjliggöra styrning	Sensor, knappar, scroll		K	5	användartest	A&K
	1.7 Möjliggöra demontering	Ej limmade delar, byte av batteri, fästen		K	4	konstruktion	A&K
	1.8 Skydda komponenter	Ytskiktet som inkapslar de inre komponenterna	Avtorkningsbar, våt trasa	K	4	material, konstruktion	A&K
	1.9 Möjliggöra laddning	Laddningskontakt, batterier	Standardiserad kontakt, USB typ C, docka	K	4	konstruktion	A&K
2.	Hantering/ergonomi						
	2.1 Variera användning	Ändra form/läge, ändra känslighet		Ö	3	användartest	A&K
	2.2 Erbjud avlastning	Form, anpassningsbar		K	5	konstruktion	A&K
3.	Underhåll						
	3.1 Service	lättillgängligt, minimera antal fästen		Ö	3	användartest	A&K
	3.2 Reparation	Utbytbara	100%	Ö	3	konstruktion	A&K

		komponenter					
	3.3 Rengöring	Avtorkning	Tåla våt trasa utan att skada inre elektronik	K	4	användartest	A&K
4.	Dimensionering/konstruktion						
	4.1 Vikt		≤ 300(g)	Ö	4	våg	A&K
	4.2 Tjocklek skal		≤ 2(mm)	Ö	5	kontrollmätning	A&K
	4.3 Sladd	Längd	≥ 1800 (mm), löstagbar	K	3	kontrollmätning	A&K
		Diameter	≤ 4(mm)	Ö	3	kontrollmätning	A&K
	4.4 Knappar	Antal funktionella knappar	5 stycken	K	5	konstruktion	A&K
	4.5 Skruvförband	Skruvhål	Tillgänglighet, lättåtkomlig	K	5	konstruktion	A&K
		Skruvlängd	Håll nere längd på skruven, helst < 5 cm	Ö	5	konstruktion	A&K
		Skruvhuvud	Samma för alla skruvar, torx-skruv	Ö	4	konstruktion	A&K
		Material	Magnetisk metall, stål, järn eller nickel	K	4	produktion	A&K
5.	Prestanda						
	5.1 Sensor	CPI/DPI	Ställbar känslighet, 200 - 4 000 DPI	Ö	3	kontrollmätning	A&K
		Sensortyp	Optisk/laser	K	5	konstruktion	A&K
	5.2 Knappar	Tröghet vid klick	Ej upplevas som trögklickad	K	5	användartest	A&K
	5.3 Scroll	Friktion	Inneha viss friktion för ökad kontroll	K	3	användartest	A&K
	5.4 Knappfunktioner	Vänsterklick		K	5	användartest	A&K
		Högerklick		K	5	användartest	A&K
		Scrollfunktion	Lätt och behaglig att trycka på	K	5	användartest	A&K
		Framåt	Diskret placering	Ö	4	användartest	A&K
		Bakåt	Diskret placering	Ö	4	användartest	A&K
		Rotera objekt	Alternativt kompletterande produkt	Ö	3	användartest	A&K
		Ändra känslighet på sensor	5 lägen	Ö	3	användartest	A&K
		Växla mellan ansluten enhet	Sladd/bluetooth/mottagare	Ö	2	användartest	A&K
	5.5 Strömförsörjning	Batterikapacitet	≥ 500 mAh	K	3	konstruktion	A&K
		Laddningstid	>2h	K		kontrollmätning	A&K
		Laddningsuttag	USB typ C	K	4	konstruktion	A&K
		Laddsladd	≥ 1,8 m, löstagbar	K	3	konstruktion	A&K
	5.6 Anslutning	Mottagare	2.4 GHz, USB typ A	Ö	5	konstruktion	A&K
		Bluetooth	4.0 eller nyare	K	4	konstruktion	A&K
		Sladd	USB typ C till USB typ A	Ö	3	konstruktion	A&K
		Räckvidd	Upp till 10 m	K	3	användartest	A&K
		Kompatibilitet	Windows 7 eller upp, Mac OS X 10,12 eller upp	K	5	användartest	A&K
6.	Miljö						
	6.1 End of life	Återvinningsbar	100%	Ö	4		A&K
	6.2 Användning	Energiförbrukning	Energisparläge vid passiv användning	Ö	3	mäta strömförbrukning	A&K
		Batteritid	Klara upp till fyra månader med fulladdat batteri	Ö	5	användartest	A&K
	6.3 Material	Ej innehålla eller avge giftiga ämnen		K	5	val av material	A&K
		Plastdetaljer	Undvika lackering, undvika kompositmaterial	K	4	konstruktion	A&K
	6.4 Märkning	Plastdetaljer	Märkta med plasttyp och återvinningssymbol	K	4	konstruktion	A&K

		Kretskort	Grön färg	K	4	konstruktion	A&K
7.	Livslängd						
	7.1 Livslängd	Livslängd produkt	≥ 5 år	K	5	stresstest	A&K
		Knappar	10 miljoner klicks tålighet	K	5	stresstest	A&K
8.	Tillverkning						
	8.1 Konstruktion	Formsprutning	Alla plastdelar ska kunna formsprutas	K	4	kontroll släppvinklar	A&K
9.	Semantik						
	9.1 Funktion	Kommunicera funktion	Klickljud, knappar, symboler, logisk	K	4	användartest	A&K
	9.2 Uttryck	Uttrycka karaktär, identitet, produktmärkning, form, färg	Lätt särskiljning från konkurrenter	K	5	användartest	A&K
	9.3 Utstrålning	Utstråla kvalitet	Skall uppfattas som kvalitativ	K	5	användartest	A&K
10.	Material						
	10.1 Val av material	Grundkonstruktion	Ej giftigt material, återvinningsbart, tåla fukt, elektriskt isolerande	K	5	val av material	A&K
		Greppytor i gummi/TPE-S	Ska ej klibba, ska inte släppa från yta, lätt att torka av, inget limspill	Ö	3	produkttest	A&K
		Scroll	Erbjuda bra grepp	K	4	konstruktion	A&K
		Knappar	Ej giftigt material, återvinningsbart, tåla fukt, elektriskt isolerande	K	5	konstruktion	A&K
		Sladd	TPE-S	Ö	3	val av material	A&K
	10.2 Ytfinish	Matt/blank	Ska vara lätt matt för ökad känsla, lätt att torka av	K	4	material, konstruktion	A&K
	10.3 Materialegenskaper	Pris	<40 SEK/kg	K	5	CES	A&K
		Sträckgräns	>25 MPa	Ö	3	CES	A&K
		Hårdhet	>5 HV	Ö	3	CES	A&K
		Brottgräns	>1 Mpa.m^0.5	Ö	3	CES	A&K
		Glastemperatur	<200°C	K	4	CES	A&K
		Transparens	Opak	K	5	CES	A&K
		Formbarhet	>4	K	5	CES	A&K
		Bearbetbarhet	>3	K	5	CES	A&K
11.	Säkerhet						
	11.1 Konstruktion	Inga vassa hörn	Ej skada individer eller andra komponenter	K	5	konstruktion	A&K
	11.2 Material	Ej leda ström i skalet	Ej leda ström till användaren	K	5	materialval	A&K
	11.3	Minimera klämrisk	Inga farliga leder som medför stor klämrisk	K	5	konstruktion	A&K
12.	Patent och litteratur						
	12.1	Ej göra patentintrång		K	5	patentsökning	A&K

4.5.6 Fysisk prototyp tillverkning

CAD-modellen skrevs ut i två versioner med hjälp av två olika 3D-skrivare och två olika material, se figur 28. Den vita modellen är utskriven i ABS och ett annat material som stödmaterial. Stödmaterialet togs sedan bort genom att lägga delarna i kaustiksoda över natten. Materialet löstes då upp och endast ABS plasten blev kvar. Detta fungerade bra och gav en modell som gick att bygga vidare på med fina detaljer. På grund av att materialet skrivs ut i lager blir det väldigt sprött vilket resulterade i att flera snäppfästen och pelare bröts av vid hanteringen. Detta löstes med hjälp av limpistol och påverkade inte utseendet på

modellen. Elektroniken från en isärtagen datormus sattes sedan in i den vita modellen och efter lite justeringar med lim och slippapper gick modellen att använda. Detta tyder på att måttsättningen har varit lyckad vid konstrueringen i programvaran Catia V5. De funktionerna som fungerar i prototypen är vänster-, mitt- och högerknapp samt DPI knappen, vilket var målet med prototypen. Ytterligare en modell skrevs ut i en annan 3D-skrivare där materialet PLA användes. Resultatet blev estetiskt tilltalande men eftersom stödmaterialet skrevs ut i samma material blev det svårt att ta bort stödmaterialet från modellen. Detta försvårade möjligheterna att göra en fungerande prototyp avsevärt och därför är den svarta modellen ej användbar. Tiden som krävdes för att framställa de fysiska modellerna var ca 12 timmar för den vita och 16 timmar för den svarta. Vid utskrift av den svarta modellen uppstod det problem med inmatningen av material två gånger vilket gjorde att skrivaren fick lagas för att kunna påbörja en ny utskrift. Ytterligare ca 12 timmar gick åt för att smälta bort stödmaterialet på den vita modellen och på den svarta krävdes det mycket efterarbete med att få bort stödmaterialet.

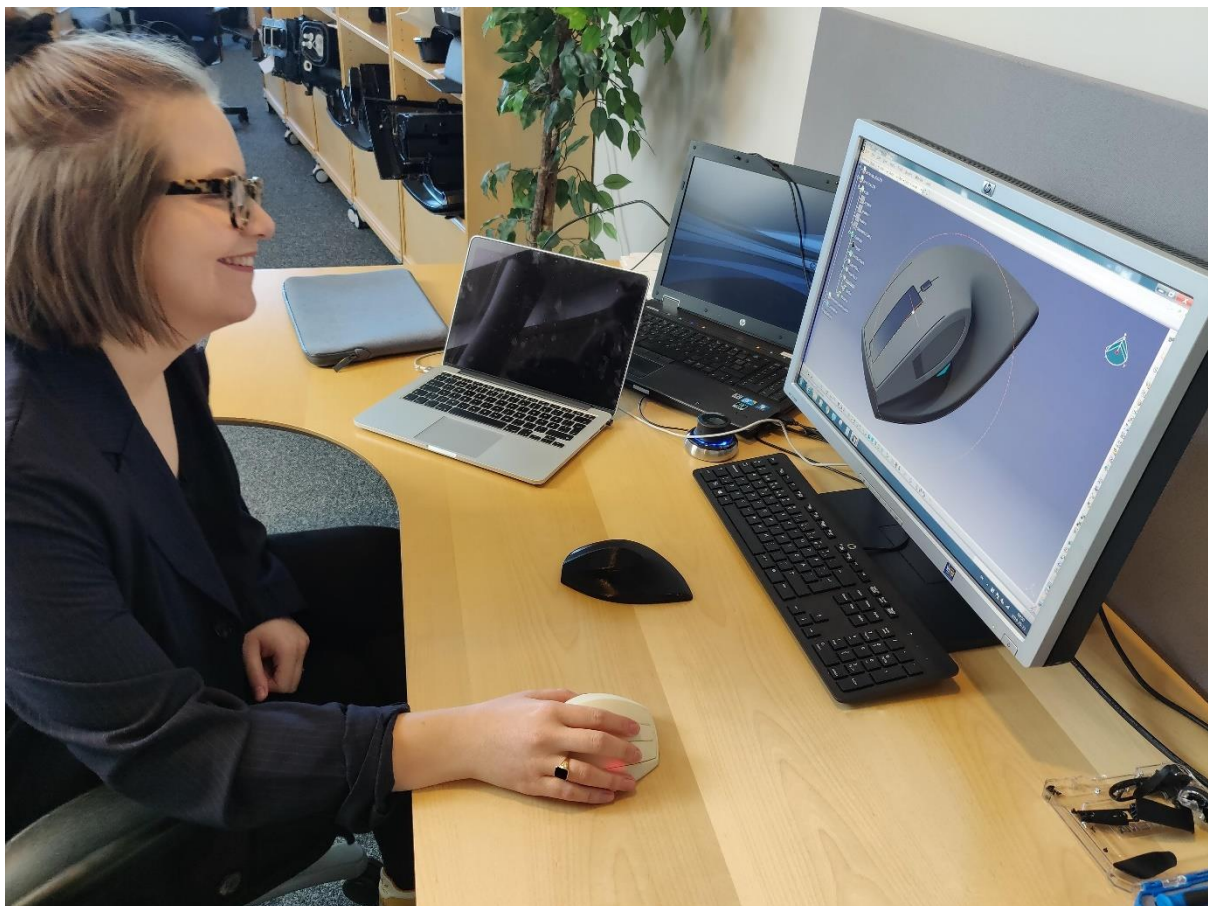


Figur 30. Utskrivna prototyper varav den högra har integrerad elektronik. Den svarta modellen till vänster är utskriven i PLA-plast och den vita modellen till höger är utskriven i ABS-plast. Författarens egen bild.

4.5.7 Utvärdering genom användartester

För att utvärdera resultatet genomfördes användartester där tre CAD-konstruktörer av olika kön deltog, alla med olika stora händer. Testet gick ut på att deltagarna testade den fungerande prototypen i programvaran CATIA V5, där de fick testa olika funktioner och knappar, se figur 31, varpå frågor för att utvärdera resultatet ställdes, se bilaga 3.

Samtliga tillfrågade upplevde styrdonet som bekvämt och att det passade handen, trots olika handstorlekar. Ingen av de tillfrågade saknade några knappar, dock rådde förvirring kring vad knapparna skulle användas till. Scrollens placering upplevdes positivt av samtliga, dock önskade en att den skulle gå ännu längre fram för att möjliggöra scroll med pekfingret istället för tummen. En annan tillfrågad uppgav att det var skönt att inte ha scrollen mellan höger- och vänsterknapp. Alla tillfrågade nådde alla knappar utan ansträngning. Två av de tillfrågade uppgav att de skulle kunna använda styrdonet som sin primära datormus på jobbet men inte hemma, medan den tredje uppgav att hen skulle använda den både på jobbet och hemma.



Figur 31. Iscensättning av användartest. Författarens egen bild.

5. HÅLLBARHETSANALYS

Oron för klimatförändringar ökar internationellt och utarmning av jordens resurser samt förorening av luft, vatten och jord ställer allt högre krav på företag att förbättra sitt miljöarbete, för att minska den negativa miljöpåverkan från aktiviteter och produkter (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

Miljöbelastningen under en produkts livscykel kan minimeras genom att designa för att använda så lite material, energi och skadliga ämnen som möjligt och gäller det en produkt som använder ström bör strömförbrukningen minimeras (Österlin, 2016). Används dessutom återvunnet material ökar efterfrågan för det och ett kretslopp startas. Produkten bör anpassas för återvinning och för att minska miljöbelastningen bör också produktens livslängd förlängas genom att göra den hållbar, möjlig att reparera eller uppgraderas (Österlin, 2016). Till exempel kan materialmärkning på komponenter underlätta återvinning.

5.1 Framställning av råmaterial

De flesta plaster som används idag är tillverkade av fossila råvaror från råolja. Ungefär 4% av världens oljeförbrukning beräknas gå till plastproduktion, vilken kräver ungefär lika mycket olja till energiförbrukning. Totalt går alltså cirka 8% av världens oljeförbrukning till plastframställning (Klar, et al., 2014). Enligt Greenpeace (u.d.) står olja för den största delen energiförsörjning i världen. Inte bara släpps stora mängder koldioxid ut under förbränning av olja, utan i takt med att jordens oljeresurser sinar utvinns olja på sårbara platser, som på Arktis och havsbottnar. Vidare menar Klar, et al. (2014) att de tillsatser som adderas i plaster för att möta produktkrav har en stor miljöpåverkan. Många av de ämnen som används är giftiga eller cancerogena och riskerar att nå naturen genom att läcka ut i exempelvis vattendrag. Även människor riskerar att påverkas av dessa ämnen genom produktkontakt vid produktion, användning och avfallshantering. För att minska miljöpåverkan från oljeutvinning och raffinering är det viktigt att fler biobaserade plaster utvecklas. Under de senaste 15 åren har den globala plastproduktionen dubblats och den totala produktionen av plast uppgick till 288 miljoner ton år 2012.

5.1.1 Dematerialisering

Dematerialisering handlar om att försöka minska mängden material som används utan att funktionerna begränsas och på så vis minska materialflödet genom samhället. Det finns ett antal strategier för att minska materialanvändningen och några saker som kan göras är att minska produktens storlek, effektivisera energianvändningen, förlänga användningen och att bygga produkten i moduler för att underlätta reparation (Gröndahl & Svanström, 2010).

5.2 Tillverkning

Vid tillverkning av stora serier plastprodukter används ofta teknik som genererar små mängder spillmaterial, till exempel formsprutning. Vid små produktionsserier kan dock additiva metoder användas och dessa kan generera spillmaterial i och med stödmaterialet som byggs upp. Dock har plastens mekaniska och termiska egenskaper troligtvis större

miljöpåverkan i och med energianvändningen vid bearbetning. Olika plaster har nämligen olika glastemperatur/smälttemperatur och för att minska energiåtgången bör man välja en plast med så låg glastemperatur/smälttemperatur som möjligt. Detta kan ha stor effekt på miljöbelastningen, enligt personlig kommunikation med Lilian Forsgren.

5.3 Distribution och försäljning

Generellt kan det sägas att transport hellre ska ske via skepp än med flyg om tillverkningen sker så pass lång bort att någon av dessa fraktsätt krävs. Skepp släpper ut betydligt mindre än flyg per längdenhet, vilket innebär att frakt med skepp borde vara att föredra. Dock har SMHI, Naturvårdsverket och Energimyndigheten tagit fram en ny metod för att beräkna utsläpp och med hjälp av denna har det konstaterats att inrikeskepp i Sverige släpper ut mer totalt än inrikesflyg i Sverige (Carlén, Jönsson, 2019). Detta innebär alltså inte att flyg är att föredra framför skepp, eftersom att även flyg släpper ut oerhörda mängder växthusgaser. Dock kanske produktion nära försäljningsplatser vore att överväga, så att transporter skulle kunna köras med tåg eller andra transportmedel med mindre klimatpåverkan.

5.4 Användning

Styrdonet är en aktiv produkt, vilket innebär att den förbrukar resurser under användning, i detta fall energi. Eftersom den är trådlös används batterier och det är då viktigt att välja miljösmapart sådana. Den första prototypen har AAA-batterier, vilka ej är laddningsbara. Detta vore förmodligen klokt att ändra på för att minska miljöpåverkan från tillverkningen av batterier. Miljöpåverkan för tillverkningen av laddningsbara batterier är visserligen också hög, men kan motiveras med att det oftast bara behövs ett per produkt och livstid.

Eventuellt kan datormöss med sladd ha mindre miljöpåverkan eftersom tillverkningen av batterier uteblir, dock måste detta vägas mot användarupplevelse. Värt att nämnas är också att styrdonet inte har någon av och på knapp, vilket kan innebära större energiförbrukning.

5.5 Resthantering

Det viktigaste under produktutvecklingen för att minska miljöbelastningen är att välja rätt produktstrategi, material och tillverkningsmetod. För att det ska gå att återvinna på rätt sätt är det viktigt att delarna kan identifieras, separeras och sorteras, och det ska inte finnas stora krav på verktyg, kraft eller tid (Österlin, 2016). För att underlätta demontering kan självinstruerande design användas, vilket innebär att användaren ska kunna gissa sig till hur en produkt används (Österlin, 2016), eller i detta fall hur produkten ska tas isär.

Återvinningen underlättas också om det används få material och användning av kompositmaterial eller andra blandmaterial, till exempel lackerade termoplast, bör undvikas (Österlin, 2016). Även permanent sammanfogning av delar av olika material bör undvikas. Ett problem som ofta uppstår när ett material återvinns är att renhetsgraden försämras och materialet degraderas. Därför används ofta återvunnet material till mindre krävande tillämpningar (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

För att underlätta demontering av en sammansatt produkt bör den utformas så att det krävs minimalt med tid för att ta isär den, exempelvis genom att minska antalet delar (White, Pierre & Belletire, 2013). Underenheter kan med fördel designas så att de är lätta att separera och sortera i respektive återvinningskategori. Plastdelar större än 90 gram bör också märkas med dess polymertyp (White, Pierre & Belletire, 2013).

Komponenter som är extra viktigt att designa för demontering är batterier, displayljus, sladdar, elektriska komponenter och kretskort (White, Pierre & Belletire, 2013).

Vilka skruvar som används har stor betydelse för hur snabbt och enkelt det går att ta isär en sammansatt produkt. Skruvarna ska vara lättillgängliga och de bör inte vara längre än nödvändigt, helst mindre än fem cm (White, Pierre & Belletire, 2013). Det är fördelaktigt om skruvarna är av modell torx-skruv och samma sorts skruvhuvud bör användas till hela produkten. Materialet på skruvarna är lämpligen magnetiska metaller som stål, järn eller nickel (White, Pierre & Belletire, 2013).

6. SLUTSATS

I detta kapitel diskuteras huruvida konceptet uppfyller målet, vad som kunde gjorts annorlunda samt rekommendationer för fortsatt arbete.

6.1 Analys av måluppfyllnad

Denna analys utgår ifrån 1.2 Syfte samt 1.4 Precisering av frågeställningar.

Syftet för projektet var att *“...designa ett ergonomiskt styrdon som är anpassat för tillverkning, montering och demontering för att på lång sikt sträva efter att minska såväl hälsoproblem och miljöproblem på arbetsplatser där CAD-program används.”* Detta syfte har uppnåtts genom att ta fram en produkt som är ergonomiskt utformad, samtidigt som den är producerad med hög halt av återvunnet material. Styrdonet är även konstruerat så att det är anpassat för tillverkning med ribbor, släppvinklar, dragriktning etc., även om ytterligare arbete krävs för att få produkten tillverkningsbar. Snäppfästen har dessutom tillämpats på många ställen för att minska antal skruvar och inget lim förekommer i konstruktionen. Alltså förenklas både montering, demontering och återvinning.

Funktionerna är i hög utsträckning baserade på vad CAD-konstruktörer uppgett att de önskar se hos ett styrdon, men också vad konstruktörerna uppgett ger smärta och obehag. Det mest påtagliga problemet bland befintliga styrdon tycktes vara storleken, alltså verkar storleken avgörande för hur ett styrdon upplevs och därmed även ergonomin. Genom att göra en rad olika lermodeller och tester bland personer med olika handstorlekar har ett koncept tagits fram som passar både personer med små och stora händer.

6.2 Vad som kunde gjorts annorlunda

För att hinna med flera olika tester och intervjuer under en begränsad tid, deltog relativt få personer i varje undersökning, vilket kan resultera i extremutfall. För att säkerhetsställa att informationen som samlats är representativ för målgruppen bör fler undersökningar genomföras. Dessutom var de flesta som deltog i intervjuerna relativt unga och hade jobbat i under ett år, vilket påverkar resultatet. Hade fler äldre personer deltagit i studien hade smärtbilden kanske sett annorlunda ut. Det kan dock vara så att många som jobbar som CAD-konstruktörer är unga och kanske antar andra roller när de blir mer erfarna.

Ett av målen var att designa ett styrdon som passar olika handstorlekar och kan användas av både höger- och vänsterhänta. Resultatet passar olika handstorlekar men är endast anpassat till högerhänta. Detta motiveras med att de ergonomiska förbättringarna som gjorts var svåra att genomföra med en neutral lösning. Istället kan ett spegelvänt styrdon tas fram som passar vänsterhänta, dock kan detta vara svårmotiverat i och med att produktionsstorleken blir mindre och produktionskostnaden därmed högre.

Efter att styrdonet blivit utskrivet i 3D-skrivare upptäcktes att vissa delar var underdimensionerade för ändamålet. Detta medförde att vissa delar gick sönder och hämmade bland annat knapparnas funktion. Istället fick knapparna limmas fast i toppdelen.

Konstruktionen skulle dock fungera vid formsprutning då kvaliteten på plasten blir betydligt bättre vid formsprutning än vid 3D-utskrift.

6.3 Rekommendationer för fortsatt arbete

För att fortsätta utvecklingen av prototypen behöver ytterligare konstruktionsarbete utföras så att fram- och bakåtknappen fungerar och att tillhörande kretskort kan fästas i toppdelen, samt att touchscrollen behöver utvecklas och undersökas. Strömförsörjningen bör undersökas mer och en ändring från AAA-batterier till ett laddningsbart batteri kan vara en bra vidareutveckling för att förbättra batteritid och pålitlighet. För att detta ska kunna bli en säljbar produkt behöver konstruktionsarbete och utveckling av verktyg för att kunna formspruta produkten tas fram. Detta kommer kräva vissa ändringar av framförallt toppdelen men också för övriga delar. Märkning av alla delar, som visar vilken sorts plast de är tillverkade i, bör också genomföras för att underlätta återvinning.

Ytterligare ergonomistudier är viktiga i nästa steg för att undersöka hur ergonomiskt anpassad produkten faktiskt är. Formen på konceptet är till viss del framtagen efter tillfrågades tycke och smak vilket inte alltid betyder att den är ergonomisk vid längre användning. En fysisk fungerande prototyp ger en bra grund i fortsatta ergonomistudier. För att avlasta den dominanta handen ytterligare vid konstruktionsarbete i CAD-programvara rekommenderas att använda komplement för den andra handen, som till exempel Spacemouse från 3Dconnexion, dock skulle det kunna vara intressant att ta fram ett nytt styrdon som komplement för att förbättra ergonomin ytterligare.

REFERENSER

Bohgard, M., Karlsson, S., Lovén, E., Mikaelsson, L.-Å., Mårtensson, L., Osvalder, A.-L., Rose, L., Ulfvengren, P. (2015). *Arbete och teknik på människans villkor*. Stockholm: Prevent

Bruder, U. (2018). *Värt att veta om plast: en plasthandbok för alla: material, bearbetningsmetoder, verktygssutformning, kostnadsberäkning, efterbearbetning, sammanfogning, materialvalsmetodik, konstruktionssregler, processoptimering, felanalys*. Bruder Consulting

Carlén, L., Jönsson, O. (2019) *SVT avslöjar: Sjöfarten mellan svenska hamnar släpper ut mer än inrikesflyget*. Hämtad från: <https://www.svt.se/nyheter/inrikes/svt-avslojar-sjofarten-mellan-svenska-hamnar-slapper-ut-mer-an-inrikesflyget>

Greenpeace (u.d.) *Klimatförändringar*. Hämtad från: <https://www.greenpeace.org/archive-sweden/se/klimat/>

Gröndahl, F., & Svanström, M. (2010). *Hållbar utveckling: en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Stockholm: Liber

Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2013). *Produktutveckling: effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm: Liber

Klar, M., Gunnarsson, D., Prevodnik, A., Hedfors, C., Dahl, U. (2014) Allt du (inte) vill veta om plast. Hämtad från: <https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/rapporter/Plastrapporten.pdf>

Boldizar, A., Klason, C., Kubát, J., & Rigdahl, M. (2001). *Plaster: materialval och materialdata*. Stockholm: Sveriges verkstadsindustrier: Industrilitteratur

Nationalencyklopedin (u.d.) *Ergonomi*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/ergonomi>

Nationalencyklopedin (u. d.) *Permeabilitet*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/permeabilitet>

Nielsen, J. (2012). *Thinking aloud: the# 1 usability tool*. Hämtad från: <https://www.nngroup.com/articles/thinking-aloud-the-1-usability-tool/>

White, P., Pierre, L. S., & Belletire, S. (2013). *Okala practitioner: integrating ecological design*. Phoenix, AZ: IDSA.

Österlin, K. (2016). *Design i fokus – Varför ser saker ut som de gör*. Stockholm: Liber.

BILAGA 1: Intervjufrågor

Intervju: Cross Design

- 1.** Vilket upplever du är det största problemet när du jobbar vid datorn?
- 2.** Har du haft problem med musarmbåge eller annan smärta i samband med datoranvändning?
- 3.** Hur har du försökt lösa problemen?
- 4.** Hur upplever du din datormus?
- 5.** Vad är viktigt för dig hos en datormus?
- 6.** Vilken är den bästa/sämsta musen du har använt? Vad gjorde den bra/dålig?
- 7.** Vilka är de viktigaste funktionerna som du använder hos en datormus?
- 8.** Hur många knappar använder du, eller vill du kunna använda?
- 9.** Föredrar du trådlös mus före sladdburen?
- 10.** Har vikten någon betydelse? Föredrar du en lätt eller tung?
- 11.** Gillar du när delar av datormusen är av mjukare material? Ex scroll, greppyta etc.
- 12.** Om du fick ändra något på den datormusen du har idag, vad skulle det va?

BILAGA 2: Intervjufrågor om material

Intervju: Lilian Forsgren

- 1.** Vilka material lämpar sig?
- 2.** Bästa sätt att sälla vilka material som ska jämföras i CES? ev. förslag på vilka parameter som kan jämföras?
- 3.** Vilka är de vanligaste plasterna för den typen av produkt?
- 4.** Hur kan man förhålla sig till återvinning/användning av återvunnet material?
- 5.** Använda olika plaster utan att limma? Hur sätta ihop?
- 6.** Material på glidkuddar?

BILAGA 3: Frågor till användartest

Intervju: Cross Design

1. Passar styrdonet din hand?
2. Upplever du diskomfort?
Om ja: Var upplever du diskomfort?
3. Har styrdonet alla funktioner du önskar?
Om nej: Vilken funktion saknas?
4. Förstår du alla knappar på styrdonet?
Om nej: Vad förstår du inte?
5. Kan du nå alla knappar? Hur känns det?
6. Hur upplever du placering av scrollen? Hur känns det att använda den?
7. Skulle du kunna använda styrdonet som din primära datormus 1) hemma 2) på arbetet?
Om nej: Varför inte?