Examensarbete

HÖGSKOLAN I SKÖVDE

UTVECKLING AV ETT ANVÄNDARCENTRERAT HANDMANÖVERDON FÖR AGV:ER

DEVELOPMENT OF A USER-CENTERED HAND CONTROL DEVICE FOR AGVs

Examensarbete inom huvudområdet Integrerad Produktutveckling
Grundnivå, G2E 30 Högskolepoäng
Vårtermin 2023

Hampus Hansson
Linn Jonsson

Handledare: Anna Brolin
Biträdande handledare: Ulrica Bohné
Examinator: Peter Thorvald

Försäkran om eget arbete

Denna uppsats har 7 juni 2023 lämnats in av Hampus Hansson och Linn Jonsson till Högskolan i Skövde som uppsats för erhållande av betyg på grundnivå, G2E inom huvudområdet Integrerad Produktutveckling.

Vi intygar att vi för allt material i denna uppsats som inte är vårt eget arbete har redovisat källan och att vi inte - för erhållande av poäng - har innefattat något material som vi redan tidigare har fått tillgodoräknat inom våra akademiska studier.

Hampus Hansson *Linn Jonsson*

Sammanfattning

I och med den växande automatiseringen inom industrin används mer AGV:er (Automated Guided Vehicle) som är förarlösa truckar som exempelvis ett hjälpmedel i materialförflyttningen i industrin. Trots att AGV:er är automatiserade, finns ett tillhörande handmanöverdon till körning i manuellt läge. Dagens handmanöverdon beskrivs dock som ”oergonomiskt och svårförstått” av användarna. Därför är det viktigt att utveckla produkten för att förbättra användarnas upplevelse. Uppdraget har bedrivits i samarbete med EA Mobile Robotics som utvecklar, tillverkar och levererar AGV:er och automatiseringslösningar.

Under utvecklingsarbetet utfördes förstudie, konceptgenerering, utvärdering och detaljkonstruktion. I förstudien samlades kunskap och data in från relevant litteratur och metoder som bland annat intervjuer och observationer, som genomfördes för att kartlägga användarens behov. Förstudien resulterade i tre personas och en kravspecifikation som visade på viktiga aspekter för arbetet, däribland säkerhet, funktionalitet, användbarhet och fysisk ergonomi.

Konceptutvecklingen bestod av brainstorming och morfologisk analys och resulterade i fyra koncept. Dessa testades i användartester för att tillsammans med en konceptviktingsmatris vara grund till konceptval. Två koncept vidareutvecklades innan slutligt koncept valdes. Detta resulterade i ett nytt koncept för ett handmanöverdon med som var mer ergonomiskt, både fysiskt och kognitivt. Konceptet uppfyllde de uppsatta kraven till stor del och var mer användarcentrerat än i dagsläget. Manöverdonet hade de funktioner som önskades samt en ergonomisk form. Det kommer även att bidra med att göra användningen mer användarcentrerad.

Abstract

With the growing automation in industry, more AGVs (Automated Guided Vehicles) are used, which are driverless trucks as, for example, an aid in material handling in industry. Although AGVs are automated, there is an associated hand control device for driving in manual mode. However, today's hand control device is described as "unergonomic and difficult to understand" by the users. Therefore, it is important to develop the product to improve the user experience. The project has been carried out in collaboration with EA Mobile Robotics, which develops, manufactures and delivers AGVs and automation solutions.

During the development work, preliminary studies, concept generation, evaluation and detailed design were carried out. In the preliminary study, knowledge and data were collected from relevant literature and methods such as interviews and observations, which were carried out to map the user's needs. The personas and requirements specification showed important aspects for the work, such as, safety, functionality, usability and physical ergonomics.

Concept development consisted of brainstorming and morphological analysis and resulted in four concepts. These were tested in user tests in order, together with a concept weighting matrix, to be the basis for concept selection. Two concepts were further developed before the final concept was chosen. This resulted in a new concept for a hand control device that was more ergonomic, both physically and cognitively. The concept fulfilled the set requirements to a large extent and was more user-centered than at present. The control device had the desired functions and an ergonomic shape. It will also help to make the use more user centered.

Förord

Detta projekt har varit utmanande, men också väldigt spännande, kul och lärorikt och vi skulle vilja tacka alla inblandande för deras hjälp.

Vi vill börja med att tacka för det trevliga bemötandet vi fick på företaget och för all hjälp och handledning vi fått speciellt av vår företagshandledare Nils Axelsson. Vi vill även tacka Martin Bratt och alla som var inblandade vid prototypbygget. Vi vill även tacka alla på företaget som har tagit sig tid och deltagit i våra användarstudier och anordnandet av företagsbesöket hos kund. Tack för ert engagemang och intresse.

Vi vill även tacka Anna Brolin för alla värdefulla diskussioner och all feedback.

Tack alla kurskamrater för ert deltagande vid idégenereringen!

Innehållsförteckning

1. INLEDNING ... 1

1.1. ORGANISATORISK MILJÖ ... 1
1.2. BAKGRUND ... 1
1.3. PROBLEMFORMULERING ... 3
1.4. SYFTE ... 3
1.5. MÅL ... 3
1.6. STRATEGI FÖR GENOMFÖRANDE ... 3

2. FÖRSTUDIE ... 5

2.1. LITTERATURSTUDIE ... 5
2.1.1. ERGONOMI ... 5
2.1.2. SÄKERHET, STANDARDER OCH EU-DIREKTIV ... 8
2.1.3. TEKNISKA FAKTA OM AGV:ER ... 9
2.1.4. HÅLLBAR UTVECKLING ... 10
2.1.5. ANALYS AV LITTERATURSTUDIE ... 10
2.2. EMPIRIINSAMLING ... 11
2.2.1. FUNKTIONSANALYS ... 11
2.2.2. MARKNADSANALYS ... 12
2.2.3. MARKNADSANALYS AV BESLÄKTADE PRODUKTER ... 15
2.2.4. INTERVJUER ... 16
2.2.5. OBSERVATIONER ... 19
2.2.6. ANTROPOMETRI ... 20
2.3. IDENTIFIERING AV BEHOV ... 20
2.4. BEHOVS- OCH EGENSKAPSMATRIS ... 21
2.5. PERSONAS ... 22
2.6. KRAVSPECIFIKATION ... 24

3. DESIGN ... 26

3.1. IDÉGENERERING ... 26
3.1.1. BRAINSTORMING ... 26
3.1.2. MORFOLOGISK MATRIS ... 27
3.2. KONCEPTGENERERING ... 28
3.3. SKISSMODELLER ... 30
3.4. TEST AV KONCEPT ... 31
3.4.1. ANVÄNDARTESTER ... 31
3.4.2. WORKSHOP ... 35
3.5. KONCEPTVAL ... 35
3.5.1. KONCEPTVIKTNINGSMATRIS ... 36
3.5.2. TESTKÖRNING AV AGV MED EN SPELKONTROLL ... 37
3.6. VIDAREUTVECKLING AV KONCEPTEN ... 38
3.6.1. VIDAREUTVECKLING - SCANNER ... 38
3.6.2. VIDAREUTVECKLING - SPELKONTROLL ... 39
3.6.3. PROTOTYP ... 40
3.7. SLUTLIGT KONCEPTVAL ... 41
3.7.1. SLUTLIG KONCEPTVIKTNING ... 41
3.7.2. PNI – ANALYS ... 42
3.7.3. SAMMANVÄGNING OCH BESLUT ... 43
3.8. DETALJDESIGN ... 43
3.8.1. MATERIALVAL ... 44
3.8.2. DESIGN FOR MANUFACTURING ... 44
3.8.3. DESIGN FOR ASSEMBLY OCH DESIGN FOR DISASSEMBLY ... 46

3.8.4. SLÄPPTEST I FEM 47
3.8.5. FUNKTIONSPROTOTYP 49
3.9. RESULTATREDOVISNING 50
3.9.1. EGENKONSTRUERADE PLASTDETALJER 51
3.9.2. KÖPTA KOMPONENTER 52
3.9.3. SAMMANSTÄLLNINGSRITNING 52
3.9.4. AVSTÄMNING MOT KRAVSPECIFIKATION 53

4. DISKUSSION OCH SLUTSATSER 55

4.1. REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT ARBETE 58

REFERENSLISTA 59

BILAGOR

BILAGA A - GUIDE TILL ANVÄNDARTESTER

1. Inledning

Rapporten beskriver ett examensarbete inom integrerad produktutveckling där ett handmanöverdon till Automated Guided Vehicles (AGV) har utvecklats för EA Mobile Robotics (EAMR).

1.1. Organisatorisk miljö

Uppdraget har bedrivits i samarbete med EAMR i Skövde. EAMR utvecklar och säljer automationslösningar specifikt till olika kunder baserade på AGV och Autonomous Mobile Robots (AMR), som är självkörande truckar. EAMR är en del av Elektroautomatik och har utvecklat och sålt AGV:er både i Sverige och omkring världen sedan 1986. Elektroautomatik grundades 1965 i Skövde och erbjuder kundanpassade automationslösningar till företag inom flera branscher.

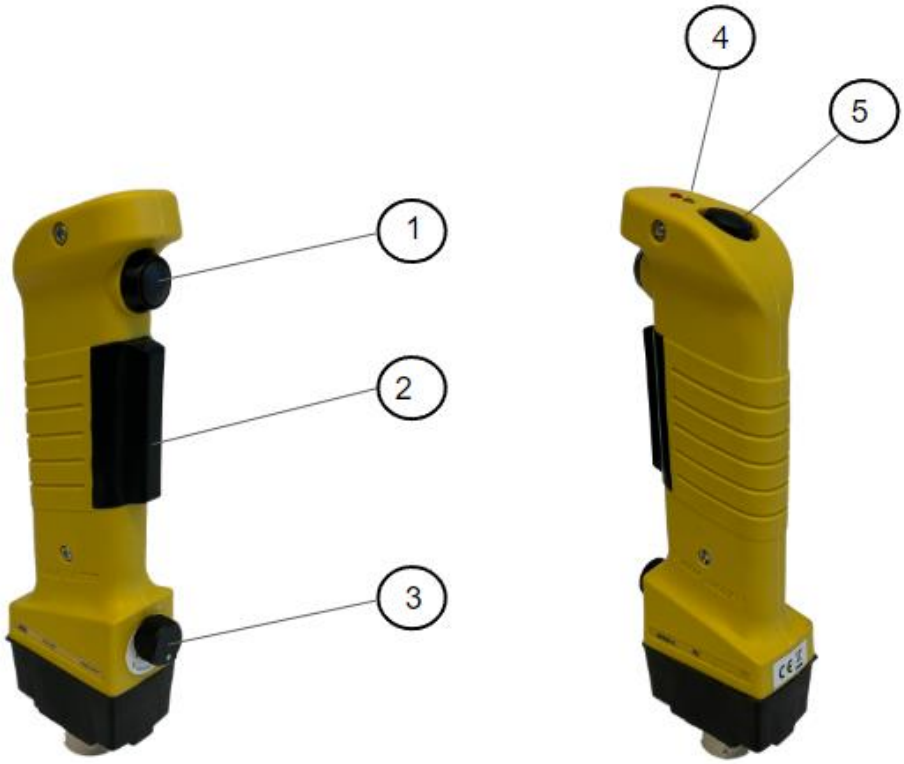
1.2. Bakgrund

En AGV är ett fordon som styrs automatiskt utan förare med hjälp av olika navigationssystem som till exempel laser, slingor i golvet eller magneter (se figur 1). AGV:er kan ha olika användningsområden och används ofta inom industrin som materialförflyttningshjälpmedel (Ferreira & Gorlach, 2016).

Figur 1. EAMR:s AGV-modell "TC70" som ofta används i monteringslina för förbättrad ergonomi för montören (Elektroautomatik, u.å.).

Utöver att AGV:erna körs automatiskt, kan AGV:erna även köras i manuellt läge med hjälp av ett handmanöverdon. Donet som används i dagsläget uppfyller säkerhetskraven, men företaget önskar att kunna erbjuda en mer användarcentrerad och ergonomisk operatörsupplevelse. Dagens handmanöverdon har begränsad funktionalitet och är inte lämpat till alla typer av AGV:er de utvecklar. Det går dessutom inte att köpa i precis det utförande EAMR behöver, det vill säga ett handmanöverdon med nödvändiga funktioner, som både reglage och säkerhetskomponenter. Därför krävs viss eftermontering innan det kan tas i drift. För att kunna erbjuda en användarcentrerad, intuitiv och ergonomisk upplevelse ska ett nytt handmanöverdon för manuell styrning utvecklas.

Det nuvarande handmanöverdonet består av en “enabling switch” som köps in av ABB (f.d. Jokab Safety) och sedan monteras en potentiometer (Nr. 3, i figur 2) på för styrningen av AGV:erna. Företagets befintliga handmanöverdon har ett trelägesdon, potentiometer och två knappar (se figur 2). Trelägesdonet är en säkerhetsknapp (Nr. 2, i figur 2) med tre lägen där operatören måste hålla inne knappen i mittläget för att kunna köra. Om knappen trycks på med för hård kraft eller om knappen släpps, går inte AGV:n att köra med manöverdonet. Anledningen till detta är att människor kan reagera olika i en nödsituation och klämma ihop eller släppa greppet. Därför krävs det att donet hålls i mittläget och att klämma till eller släppa ska båda kunna stoppa den manuella kontrollen och stanna fordonet. Det finns två lampor på toppen, (Nr. 4, i figur 2), en grön som visar när trelägesdonet hålls inne korrekt och manuell kontroll är aktivt och en röd lampa som visar att manuell styrning inte är aktivt. Trelägesdonet har två “kopplingar” i ändarna som måste bli intryckta samtidigt, eller åtminstone inom ett kort intervall, för att ge manuell kontroll. Potentiometern används till att styra AGV:n genom att vrida med- eller motsols för att svänga vänster respektive höger. Eftersom potentiometern inte återgår till nolläget av sig självt behöver dess läge kontrolleras innan start så att AGV:n inte börjar svänga direkt vid start. De två knapparna 1 och 5 är till för att köra AGV:n framåt respektive bakåt samt reglera hastigheten i båda riktningar. För att köra AGV:n framåt hålls knapp 1 in, och för att köra bakåt hålls istället knapp 5 in. För att öka hastigheten vid rörelse framåt trycks knapp 5 in, och tvärtom trycks knapp 1 in vid färd bakåt för att öka hastigheten bakåt. Det finns fyra hastigheter och vid varje knapptryck ökas hastigheten ett steg. Handmanöverdonet kan fästas med hjälp av magnet direkt på AGV:n och har ingen specifikt utsatt plats.



Figur 2. Det nuvarande handmanöverdonet: 1. Knapp köra framåt, 2. Trelägesdon, 3. Potentiometer, 4. Lampor, 5. Knapp köra bakåt.

1.3. Problemformulering

Frågeställningarna som ska besvaras i arbetet:

- Vilka behov behöver ett handmanövrerat don till en AGV möta och kan donet anpassas till flera typer av AGV:er?
- Hur kan donet utformas för att vara funktionellt, säkert, intuitivt och ergonomiskt?

1.4. Syfte

Projektets resultat syftar till att förbättra operatörsupplevelsen vid manuell styrning av AGV:er genom att utveckla ett nytt handmanöverdon som är mer användarcentrerat och ergonomiskt med nödvändiga funktioner, reglage och säkerhetsaspekter. I projektet undersöks även ifall handmanöverdonet kan utformas till att fungera till olika typer av AGV:er istället för att ha olika handmanöverdon till olika AGV-typer. Avgränsningar i arbetet är att koncepten utgår ifrån att en storlek ska passa alla och inte att vara justerbara på grund av bland annat kostnader. Ytterligare en avgränsning är att lösningen måste förhålla sig till ISO 3691-4:2020, som berör förarlösa truckar.

1.5. Mål

Målen som ska nås under projektets gång är:

- Utveckla ett nytt handmanöverdon som är mer ergonomiskt än nuvarande att använda och är bättre lämpat för alla företagets AGV:er, samt uppnår säkerhetskrav enligt ISO 3691-4:2020.
- Utföra en marknadsanalys, undersöka vilka alternativ och lösningar som finns på marknaden och deras för- och nackdelar.
- Utföra användarstudier för att kartlägga användarnas behov.
- Utföra en kravspecifikation med funktions-, säkerhets- och ergonomiska (både fysiska och kognitiva) krav och önskemål utifrån användaren.
- Utveckla och utvärdera konceptförslag och kommunicera dessa med skisser, renderingar, fysiska modeller och CAD-modeller.

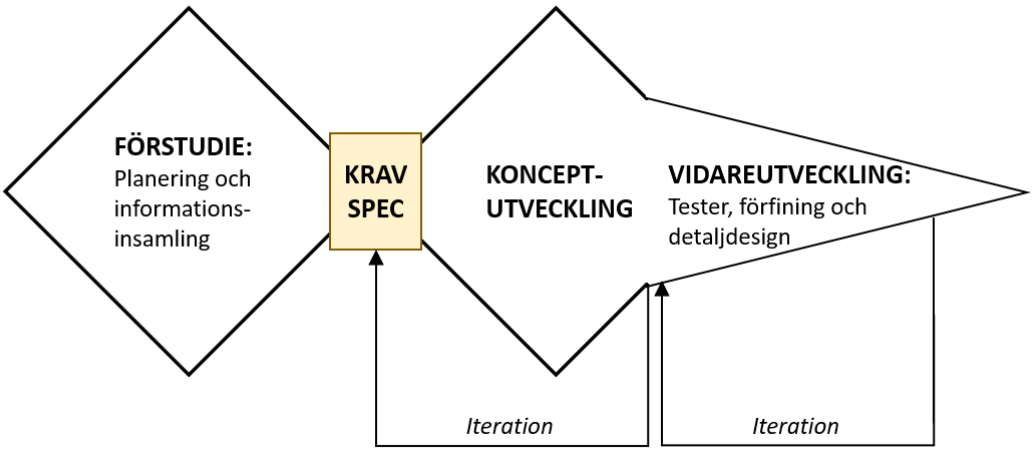
1.6. Strategi för genomförande

Designprocessen kan se annorlunda ut beroende på vilket typ av problem som ska lösas. Designprocessen som är till grund för projektet är den som Ulrich och Eppinger (2014) beskriver, dock med iterationer (se figur 3). Iterationer bidrar till att anpassa processen till en användarcentrerad process. Wikberg Nilsson et al. (2021) menar att deltagande design kan användas för att säkerställa att en lösning har människan i fokus, vilket är viktigt i en användarcentrerad designprocess. Det innebär att människor deltar i designprocessen i till exempel metoder som observationer och tester. Dessa metoder kan utföras i iterativa cykler för att se till att användarens behov säkerställs.

Där formerna vidgas ut är det divergenta faser och tvärtom är det konvergenta faser där formerna avsmalnar. I de divergenta delarna görs det breda sökningar i början och vid generering av idéer och koncept för att generera många idéer och söka från en stor lösningsrymd. När det konvergeras avgränsas det istället för att definiera problemet och sålla bort koncept för att komma fram till ett slutgiltigt val (Cross, 2021).

Processen består av förstudie, konceptutveckling och vidareutveckling. Cross (2021) skriver att ett lämpligt tillvägagångssätt är att inkludera en divergent sökinsats i

början av projektet, när problemet grundar sig i att designa om en befintlig produkt. Detta på grund av att få nya, innovativa idéer. Mattson och Sorensen (2019) menar också att det är viktigt att undersöka och upptäcka i början av projektet för lyckas med utvecklingsarbetet. Cross (2021) skriver dock att det är viktigt att klargöra vilka aspekter av den befintliga produkten som användarna uppskattar och tycker illa om för att inte förbise viktiga egenskaper och funktioner. Konceptutvecklingen och vidareutvecklingen är iterativa processer. Med en iterativ process menas att upprepa faser och utföra dem flera gånger (Wikberg Nilsson, et al., 2021). Vidareutvecklingen är överlag konvergent, för att nå ett slutligt lösningsförslag.



Figur 3. Modifierad designprocess av Ulrich och Eppinger (2014).

Projektet inleds med en förstudie där bland annat informationsinsamling genomförs för att utforska mer om området och kontexten för problemet. I förstudien utförs även användarstudier för att ta reda på vilka behov och krav användarna av produkten har. En marknadsanalys genomförs för att undersöka existerande produkter och lösningar på marknaden samt för- och nackdelar. Förstudien sammanställs inför kravspecifikationen och därefter kommer den genererande fasen, där idéer och koncept genereras och testas med hjälp av fysiska prototyper. Under vidareutvecklingsfasen arbetas det vidare med det slutligt valda konceptet för att förbättra det baserat på tester och utifrån de brister som identifierats under konceptutvärderingen och användartesterna.

2. Förstudie

I förstudien undersöks områden och information i syfte att förstå problemet och lära sig mer, samt att användarna studeras för att undersöka behov. Behoven och övriga tekniska data översätts sedan till mätbara krav som produkten ska uppfylla.

2.1. Litteraturstudie

I litteraturstudien samlas information in från olika källor för att få fördjupad kunskap inom områden projektet innefattar (Wikberg Nilsson et al., 2021). Syftet med litteraturstudien är att samla information om viktiga aspekter i projektet som säkerhet, ergonomi, hållbar utveckling och tekniska fakta om AGV:er.

2.1.1. Ergonomi

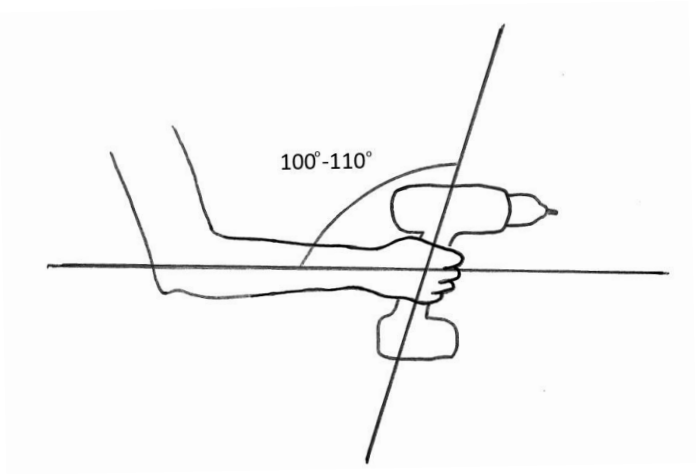
Ordet ergonomi har sina rötter från de grekiska orden "ergon" och "nomos" som betyder "arbete" respektive "naturlagar" och översätts ungefärligt till "vetenskapen om arbete" (Berlin & Adams, 2017). Ergonomi innefattar allt ifrån fysiska arbetsuppgifter som en människa utför till hur människan uppfattar och förstår instruktioner och gränssnitt. Ergonomi är ett intressant område i projektet då användarna utför olika arbeten när de ska använda ett handmanöverdon. De greppar ett handhållet objekt och processar information om hur objektet ska användas. Både aspekter av fysisk och kognitiv ergonomi är därför relevant.

För fysisk ergonomi är det viktigt att ta hänsyn till att människokroppens mått kan variera mycket mellan olika individer, s.k. antropometri. Det finns flera parametrar som kan påverka variationerna mellan olika människokroppar, där en parameter är det biologiska könet. Berlin och Adams (2017) menar att det finns signifikanta skillnader på kroppsmått mellan de biologiska könen då män generellt har större mått, vilket även Pheasant och Haslegrave (2006) menar. Detta är viktigt att ta hänsyn till, då andelen kvinnor inom industrin, där produkten kommer brukas, ökar, fortsätter Berlin och Adams (2017). För en inkluderande design måste produkten kunna användas på ett bekvämt sätt för både män och kvinnor.

Ytterligare en parameter som påverkar de antropometriska måtten är individens nationalitet (Berlin & Adams, 2017). Därav är det viktigt att veta var i världen produkten ska användas för att inkludera så många människor som möjligt och inte riskera att missa en tilltänkt population. Detta är relevant för projektet då företaget säljer sina produkter utanför Sverige. För en europeisk marknad är det vedertaget att extremfallen för storlek generellt är nederländska män och italienska kvinnor (Berlin & Adams, 2017). Detta är intressant för att företaget inte bara säljer produkter i Sverige utan också USA, Brasilien, Kina, Japan och europeiska länder.

Utöver undersökningar om vilka parametrar som är viktiga att ta hänsyn till när en produkt designas för att passa olika människor, så undersöks även designriktlinjer för handhållna produkter. Vid utformande av handhållna föremål, skriver Berlin och Adams (2017) att produkterna ska designas så att händerna har en neutral position när produkten används och att undvika vridning och böjning av händer och handleder. Detta stämmer även överens med vad Pheasant och Haslegrave (2006) skriver och menar även att händerna har en neutral position när de har en vinkel på 100–110 grader (se figur 4). Detta är viktigt för att användandet av ett handhållet objekt vid onaturliga positioner kan leda till muskuloskeletala sjukdomar (Sancho-Bru et al., 2003). En annan riktlinje som Berlin och Adams (2017) tar upp vid utveckling av

handhållna verktyg är att inte ha några vassa kanter som kan orsaka obehag och klämskador.



Figur 4. Egen illustration av handledens neutrala position.

Ytterligare en riktlinje är att tänka på att inkludera stora greppareor för att optimera kraftöverföring från handen till föremålet (Berlin & Adams, 2017). Vid framtagning av ett handhållet verktyg där ett pistolgrepp används, menar Germann et al. (2022) att greppet på handtaget bör ha ett elliptiskt tvärsnitt, där förhållandet mellan diametrarna är 1:1,25. Däremot menar Pheasant och Haslegrave (2006) att ett runt tvärsnitt där diametrarna är 30–50 mm är det mest bekväma vid handtagsdesign. Germann et al. (2022) redovisar annan forskning där den optimala omkretsen för ett bekvämt grepp är mellan olika intervall inom 94–160 mm eller en diameter på 17,9% av handens längd. Germann et al. (2022) beskriver forskares resultat om vilket mått som är mest lämpligt vid handhållna verktyg och resultaten varierar (se tabell 1). Datan är resultatet från undersökningar där subjektiv bedömning av bekvämlighet, greppstyrka, utmattning, muskelaktivitet och greppbredd har varit forskningsområdet. Germann et al. (2022) menar också att det finns en korrelation mellan subjektiv bekvämlighet och maximal greppstyrka, vilket är anledningen till att forskning som baserats på att undersöka greppstyrka tas med i tabellen och anses viktigt för arbetet. Oh och Radwin (1993) beskriver sambandet mellan handstorlek och upplevd bekvämlighet som positivt och linjärt, samt att testdeltagare med större händer uppnår maximal greppstyrka vid större omkretsar och deltagare med mindre händer uppnår maximal greppstyrka vid mindre omkretsar.

Tabell 1. Jämförelse och beskrivning av forskningsområden och forskningsresultaten som Germann et al. (2022) tar upp.

Författare	Rekomenderad omkrets	Rekomenderad diameter	Baserat på
Ayoub och Presti (1971)	119 mm		Muskelaktivitet, greppstyrka och utmattning
Petrofsky et al. (1980)	100-120 mm		Greppstyrka
Fransson och Winkel (1991)	100-120 mm		Greppstyrka
Oh och Radwin (1993)	140-160 mm		Greppstyrka
Sancho-Bru et al. (2003)	104 mm		Greppstyrka och utmattning
Kong och Lowe (2005)	94-126 mm		Subjektiv bekvämlighets bedömning
Wang och Cai (2017)	107 mm		Greppbredd
Lindqvist och Skogsberg (2007)	107-119 mm		Greppbredd
Rossi et al. (2012)		17,9% av handlängd	

Som tidigare nämnt, innefattar ergonomi bland annat hur väl människan uppfattar och förstår instruktioner och gränssnitt. Kognition är den övergripande informationsbearbetningsprocessen (Berlin & Adams, 2017). Eftersom människans sätt att processa gränssnitt är en del av kognitiv ergonomi, undersöks det hur gränssnitt kan utformas för att underlätta för människans kognitiva processer. Castro Lozano et al. (2011) skriver om principer för att designa användbara gränssnitt för alla. Exempel på principer är att ha koll på vem användaren är, minska den kognitiva belastningen, vara tydlig och konsekvent, minimera användarfel och förstå psykologiska, ergonomiska, sociala och organisatoriska faktorer som spelar in när människan använder produkten.

För utformning och placering av reglage, som är en del av gränssnittet på manöverdonet, undersöktes vissa gestaltlagar. Monö (1997) förklarar att det finns faktorer som gör det lättare för människan att urskilja former, och beskriver dessa faktorer med gestaltlagarna. Närhetsfaktorn innebär att gestaltningen blir tydligare ju närmare ihop objekten är. Rookes och Willson (2000) använder ett exempel med text som bildar rader med ord istället för vertikalt i kolumner, eftersom bokstäverna är närmare varandra horisontellt. Att gruppera nära varandra hjälper till att skapa gestalter, ett exempel är att knappar som grupperats efter funktion gör att kontrollpanelen det sitter på blir tydligare (Johannesson et al., 2004; Monö, 1997). Likhetsfaktorn är att gestalter bildas av figurer som har samma egenskaper, exempelvis knappar på en kontrollpanel som kan märkas på olika sätt för att olika funktionstyper ska sticka ut, oavsett placering (Johannesson et al., 2004; Monö, 1997). Rookes och Willson (2000) beskriver det som att lika figurer oftast grupperas ihop, för att sticka ut eller särskilja från andra figurgrupper.

Utöver gestaltlagar finns det andra riktlinjer kopplade till att kommunicera funktioner och egenskaper. Benyon (2019) skriver att synlighet, affordance, igenkänningsfaktor och att vara konsekvent är kopplat till att hjälpa människor lära sig och komma ihåg system. Genom att ha funktionerna synliga kan användaren se vilka funktioner som finns tillgängliga, utan att behöva komma ihåg dem (Benyon, 2019; Norman, 2013). Affordance syftar till att designa så att elementen tydligt visar vad de ska användas till, förklarar Norman (2013). Rosson och Carroll (2002) beskriver affordance som en aspekt av ett objekt som möjliggör vetskap om hur objektet ska användas. Vidare beskriver författarna att känna igen en affordance är en direkt konsekvens av perception. Rookes och Willson (2000) nämner att, enligt Gibson, beror vald affordance på faktorer som fysisk situation eller psykologiskt tillstånd. De tar även upp ett exempel kring att en törstig person uppfattar glasets affordance som till för att dricka ur, medan det kan uppfattas som en vas av en person som har blommor. Språk, symboler, metaforer och andra funktioner som användaren är bekant med kan hjälpa användaren att förstå, då användaren kan relatera information och kunskap till tecken (Benyon, 2019). Genom att ta hänsyn till riktlinjerna kan det bidra till att upplevelsen för användaren blir mer intuitiv.

För att göra användningen intuitiv undersöktes det även hur tecken och symboler kan användas med hjälp av semiotik och semantik. Semiotik är läran om tecken och teckensystem om koppling till socio-kulturellt beteende. Semantik är läran om tecknets mening eller budskap och är en del av semiotik (Monö, 1997). Monö menar att en produkts formgivning är tecken och ger användaren en uppfattning om hur

produkten ska användas. Författaren exemplifierar att en produkt som har “graciös form” kan uppfattas som att vara lätt att bära medan en “statisk form” kan uppfattas som svår att lyfta. En produkts helhet, formgivning, färg, ytstruktur är tecken som kan beskriva hur produkten ska användas. Johannesson et al. (2004) beskriver att det finns skillnader i hur människor tolkar och uppfattar tecken och symboler runt om i världen, vilket är intressant och viktigt för projektet då företaget har kunder utanför Sverige.

Eftersom handmanöverdonet ska styra olika funktioner behöver det berätta för användaren när något görs. För att hjälpa användaren att förstå när något görs eller har genomförts undersöktes det vad som är viktigt gällande feedback. Norman (2013) förklarar att feedback innebär kommunicerandet av händelsers resultat. Det är viktigt att feedbacken kommer direkt, korta fördröjningar som tiondels sekunder kan vara förvirrande, och även långa fördröjningar kan göra så att användarna tröttnar på att vänta.

Utöver feedback, så kan förståelse för hur människan bearbetar information vara behjälpligt vid utformandet av gränssnitt när målet är att underlätta användandet för användaren. Informationsbearbetning är en viktig del för användare att förstå hur produkter ska användas. När informationen är dåligt presenterad ökar den mentala arbetsbelastningen (Brolin et al., 2011). Användaren måste koncentrera sig för att uppfatta, ta emot, tolka, sortera och bearbeta information. Detta är viktigt att ta hänsyn till då det finns operatörer som inte använder handmanöverdonet frekvent och därför inte har lärt sig dess funktioner. Utöver att presentera informationen på ett strukturerat sätt, stöttas användaren av att presenteras med lämpligt mycket information hellre än all information, då detta kan leda till en hög kognitiv arbetsbelastning (Brolin et al., 2011). En hög kognitiv arbetsbelastning utan avbrott kan leda till mental utmattning, sämre prestation och på lång sikt skadliga effekter för hälsan (Kamat et al., 2020). Wilson (2001) skriver även att informationsöverbelastning kan orsaka stress, vilket kan leda till ohälsa, reducerad tillfredställelse för arbetet och trötthet.

2.1.2. Säkerhet, standarder och EU-direktiv

Eftersom produkten som ska utvecklas tillhör ett AGV-system behöver regler och standarder kopplat till AGV:er följas. Den grundläggande standarden är ISO-standarden 3691-4:2020 som handlar om förarlösa industritruckar och deras system och säkerhetskrav. Vid manuell körning av en AGV ska manöverdonet vara av en “hold to run”-typ, vilket innebär att en knapp behöver hållas inne i ett visst läge för att säkerställa att endast operatörens tilltänkta operationer kan utföras. Alternativt kan hastigheten begränsas till 0,3 m/s för att användande av trelägesdon inte ska vara nödvändigt (International Organization for Standardization [ISO], 2020).

Maskindirektivet är ett direktiv som innehåller grundläggande krav för hälsa och säkerhet för maskiner inom EU som släpps på marknaden. I den svenska lagstiftningen tillämpas kraven i AFS 2008:3, Arbetsmiljöverkets föreskrift (SIS, u.å.). Handmanöverdonet i sig tolkas inte vara en maskin, då maskindirektivets definitioner inte passar in på produkten. Däremot är AGV:er maskiner och det finns specifika paragrafer som är riktade till manöverdon till maskiner (§185–200).

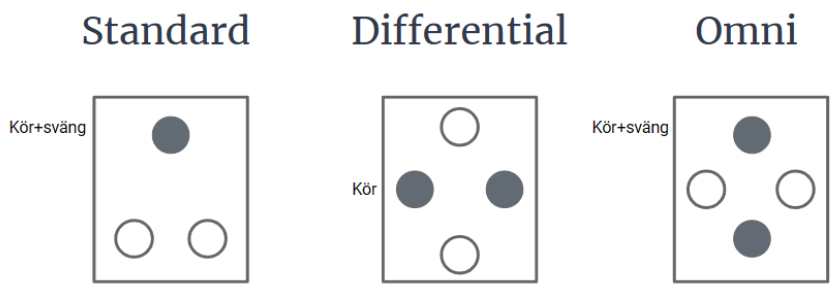
Eftersom det finns paragrafer relaterat till manöverdon, anses dessa vara relevanta och viktiga att följa. Utöver maskiner, avser även maskindirektivet vissa säkerhetskomponenter som exempelvis nödstopp, men trestegsmanöverdon finns inte med på listan. Enligt §185 måste det riktas uppmärksamhet till de ergonomiska principerna för att manöverdonet utgör gränssnitt mellan människan och maskinen (Fraser, 2010).

En av de ergonomiska principerna syftar till att ta hänsyn till handens eller fotens anatomi. Manöverdonets storlek och reglage ska anpassas till användarens kroppsmått för att undvika ansträngda ställningar och fysiska överbelastningar som kan leda till muskuloskeletala sjukdomar. Ytterligare en ergonomisk princip syftar till att underlätta för operatören och dennes mentala arbetsbelastning. Genom att ta hänsyn till människans informationsbearbetande processer kan operatörens mentala arbetsbelastning minskas (Fraser, 2010).

Förutom maskindirektivet är ett annat direktiv som är relevant för projektet direktiv 2011/65/EU, eller RoHS 2 (Restrictions of Hazardous Substances) som direktivet kallas. Det är ett direktiv som begränsar mängden farliga ämnen som får användas i elektriska och elektroniska produkter som kommer ut på marknaden. Ämnen som RoHS behandlar är kvicksilver, kadmium, bly, sexvärt krom, polybromerade bifenyler och polybromerade difenyletrar. För alla ämnen utom kadmium får en komponent innehålla en koncentration på 0,1%. För kadmium gäller koncentrationen 0,01%. (Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2011/65/EU). Om komponenter och produkter uppnår direktivet ska produkterna CE-märkas och ansvarande på företaget skriva en försäkran. Vid inköp av elektriska och elektroniska komponenter, ska dessa därför vara CE-märkta och inneha en försäkran enligt RoHS 2.

2.1.3. Tekniska fakta om AGV:er

Det finns tre typer av styrning för AGV som används i nuläget hos företaget: standard-, differential- och omnidriven (se figur 5). Vid standardstyrning kör AGV:n som en bil med tvåhjulsdrift som drivs och svänger i en av ändarna. Vid differential kör AGV:n likt en pansarvagn och har två drivverk som inte svänger. Drivverken på en differential kan köras med olika hastighet för att få AGV:n att vrida och svänga. En omnidriven AGV kan köras i alla riktningar och växlar mellan standardstyrning och att köra i sidled, kallat parallellpassage. Vid styrning av omnidirektionella AGV:er med det nuvarande handmanöverdonet sker växling mellan standard och parallellpassage genom att dubbeltrycka på en av körknapparna beroende på vilket läge som ska köras. Trelägesdonet behöver, som med standard och differential, hållas i det mellersta läget för att kunna köra. Omni-AGV:n kan köras på standardsättet, då styr potentiometern ett av styrdonen och AGV:n svänger som en standardvariant. Vid dubbeltryck på en av de två knapparna växlar kontrollen över till parallellpassage och AGV:n kan då gå framåt och samtidigt åka i sidled, potentiometern styr då AGV:n i sidled. Körlägena har varsin knapp för omni, den främre och övre. Det innebär att hastigheten kan råka höjas med två steg av dubbeltrycket när det egentligen var styrläget som skulle ändras, och tvärtom att styrläget kan råka ändras när hastigheten egentligen skulle ökas.



Figur 5. Placering av drivverk på olika AGV-typer.

2.1.4. Hållbar utveckling

Hållbarhet och hållbar utveckling är viktigt för företaget och de arbetar med hållbarhet på olika sätt. Mål som företaget har satt upp är att de vill att deras projekt ska vara lönsamma, att deras underleverantörer ska leverera produkter med hög kvalitet och att underleverantörerna själva har ett pågående miljöarbete. Företaget vill även att deras produkter och lösningar ska ha en lång livslängd för att konsumenten inte ska behöva köpa nytt och säljer därför serviceavtal. När det kommer till den sociala delen vill företaget minska risken för olyckor samt vara en jämställd arbetsplats.

Hållbar utveckling brukar delas in i tre dimensioner; den ekologiska, den ekonomiska och den sociala (Gröndahl & Svanström, 2011). Naturens resurser, ekosystemens bevarande och den biologiska mångfalden är exempel på vad som tas in i den ekologiska dimensionen. Social rättvisa, jämlikhet och demokrati ingår i den sociala dimensionen (Gulliksson & Holmgren, 2015). Inom den ekonomiska hållbarheten ingår det att nå en god ekonomisk tillväxt och att arbeta på ett cirkulärt arbetssätt, där resurser kan användas igen. En hållbar ekonomisk utveckling stöder de andra dimensionerna samtidigt som den är lönsam under tid. Gröndahl och Svanström (2011) skriver att en utveckling som tar hänsyn till de tre ovan nämnda dimensionerna kan ses som en hållbar utveckling. Ofta handlar det om att kompromissa när det kommer till olika lösningsförslag, eftersom en lösning sällan är perfekt i alla tre aspekter (Gröndahl & Svanström, 2011).

Gulliksson och Holmgren (2015) skriver att resurserna på jorden är begränsade och menar därför att den långsiktiga lösningen är ett cirkulärt tankesätt, där resurserna kan nyttjas igen. Ett annat sätt att arbeta med hållbara lösningar är att anpassa till det lokala, exempelvis att utnyttja lokal utrustning eller kompetens (Gulliksson & Holmgren, 2015).

Johnson och Gibson (2014) berättar att målet för designers som vill arbeta in hållbarhet i sina produkter behöver vara att utöka produktens livslängd. Vid utveckling av nya produkter är det designerns ansvar att utveckla dem med hållbarhet. Detta för att det inte bara ska vara produkter av större värde som kan underhållas, utan även produkter av mindre värde som annars slängs efter att fel uppstår. Ett sätt att utöka en produkts livslängd kan alltså vara att designa den så att den ska kunna underhållas vid eventuella fel.

2.1.5. Analys av litteraturstudie

Litteraturstudien bidrog till bredare kunskap om problemet, samt bidrog till idéer till hur problemet kan lösas och projektets genomförande. Det var viktigt att förstå hur

AGV-system fungerar och manövreras. Riktlinjer inom ergonomi var värdefulla för att bibehålla fokus på användarens upplevelse. Dock har forskningen om handtagsdesign varit svår att tyda, då resultaten varierade. Olika forskare rekommenderar olika mått och tvärsnitt. Detta kan delvis bero på att syftet till deras forskning har varierat och var forskningen har bedrivits, då resultatet påverkas av deltagarnas antropometriska mått. Detta kommer att behövas undersökas mer vid användartester. Eftersom litteraturen som undersöktes beskrev designprinciperna på liknande sätt, ansågs dessa vara viktiga att försöka följa. Exempelvis att inte ha för mycket information, då detta bidrar till mental arbetsbelastning.

Även säkerhetsaspekten är viktig för att ingen ska bli skadad när produkten tas i drift och därför har det undersökts vilka standarder och direktiv som gäller för produkten som utvecklas. Många av paragraferna i dessa dokument är baserade på samma riktlinjer som tas upp under ergonomisektionen, exempelvis att produkter ska vara enkla att förstå och inte vara fysiskt påfrestande för kroppen, då detta kan leda till skador. Att ha koll på riktlinjer och regler för att undvika skador är också viktigt från ett etiskt perspektiv, då användandet av produkten kan leda till skador om den är olämpligt utformad.

Slutligen är även hållbar utveckling en viktig del av produktutvecklingen, eftersom produkterna som utvecklas kan påverka samhället. Exempelvis så är material, kvalitet och livslängd aspekter som påverkar miljön, eftersom resurser förbrukas. Ett annat exempel på hur produkterna påverkar samhället inom social hållbarhet är om de är lämpliga för alla. Den befintliga produkten är inte anpassad till användare med mindre händer (oftast kvinnor). Industrin är en mansdominerad arbetsplats, men andelen kvinnor i industrin ökar, vilket påverkar målgruppen för produktutvecklare som utvecklar utrustning till industrin. Från ett etiskt perspektiv är det viktigt att inkludera alla på en arbetsplats vid utveckling. Att designa för att produkten ska kunna underhållas inkluderar hållbarhet då den inte behöver slängas om något krånglar och det passar in med vad företaget har för hållbarhetsmål.

2.2. Empiriinsamling

Insamling av information genom olika metoder för användarstudier och marknadsundersökningar.

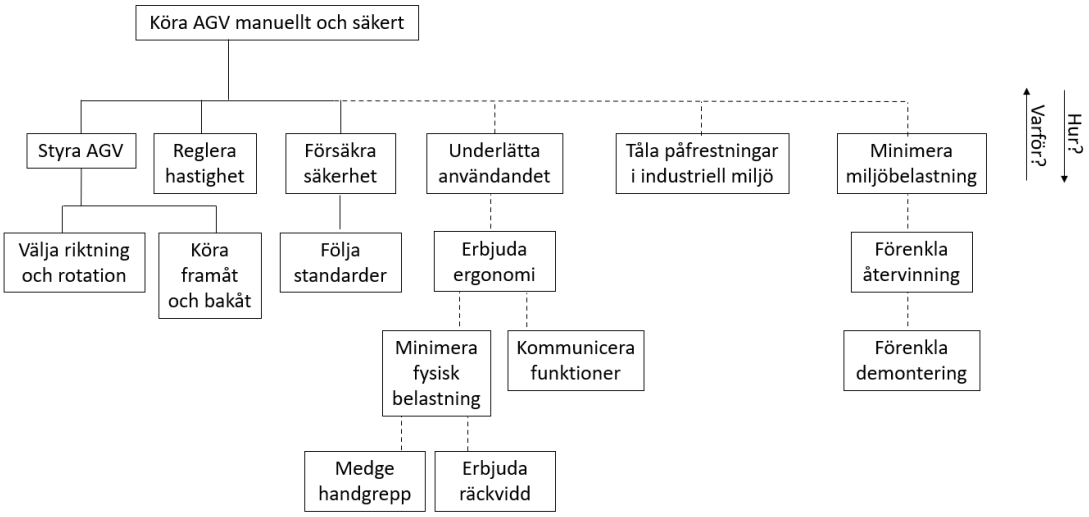
2.2.1. Funktionsanalys

Funktionen hos en produkt säger vad det är produkten kan göra och dess form kommunicerar hur den ska göra det, förklarar Ullman (2017). Österlin (2007) skriver att det är viktigt att komma på vad produktens syfte är, själva huvudfunktionen. Till huvudfunktionen finns det delfunktioner som gemensamt bidrar till den högre funktionen, om en delfunktion tas bort går det inte att uppfylla huvudfunktionen. Stödfunktioner är sådana funktioner som inte är direkt nödvändiga för övre funktioner men stöder dem, fortsätter Österlin (2007).

Huvud-, del- och stödfunktioner kan ställas upp i ett träddiagram med huvudfunktionen i topp. Vid avläsning av diagrammet upp och ner kan frågorna “Varför?” respektive “Hur?” besvaras vilket kan vara till användning för att veta funktionerna som ska lösas (Österlin, 2007). Ett bra sätt att beskriva funktioner är att skriva dem som “verb + substantiv” (Baxter, 1995; Wikberg Nilsson et al., 2021). Baxter (1995) beskriver en rekommenderad metodik för att utföra ett funktionsträd,

att brainstorma funktioner och skriva dem på separata papperslappar och sedan sortera och strukturera på ett enkelt och systematiskt sätt till ett funktionsträd.

Utförandet av denna metodik genomfördes internt. Huvudfunktionen bestämdes till "köra AGV manuellt och säkert", där delfunktionerna var "styra AGV", "reglera hastighet" och "försäkra säkerhet". Stödfunktionerna var "underlätta användandet", "tåla påfrestningar i industriell miljö" och "minimera miljöbelastning", då dessa inte var nödvändiga för huvudfunktionen, men stödde den (se figur 6). Delfunktionerna bröts ned till underfunktioner och dessa beskrev tydligare vad lösningen skulle göra. Funktionsanalysen resulterade i del- och stödfunktioner som sträckte sig över användning, säkerhet och miljö. Funktionsanalysen hjälper bland annat till att utgå från till kravspecifikationen, när krav på produkten ska formuleras. Funktionsträdet hjälper även till vid formulering av frågeställningar till idégenereringen att utgå ifrån, exempelvis med vilka reglage manöverdonet ska kunna utföra funktionerna, vad reglagen ska göra och hur det ska utformas för att erbjuda ergonomi.



Figur 6. Funktionsanalys.

2.2.2. Marknadsanalys

Wikberg Nilsson et al. (2021) menar att det är viktigt att känna till marknaden där produkten konkurrerar på. Genom att undersöka och analysera konkurrenter och deras produkter kan inspiration erhållas av hur andra har löst problem och utformat sina produkter. Ulrich och Eppinger (2014) beskriver detsamma och utvecklar med att beskriva att produkternas styrkor och svagheter kan identifieras vid en jämförelse.

Benchmarking går ut på att analysera lösningar och produkter som konkurrenter har utvecklat gentemot kriterier som är relevanta för produkttypen. Exempel på kriterier som kan användas i benchmarkingtabeller är tid, kostnad och kvalitet (Wikberg Nilsson et al., 2021). Jämförelsekriterierna var delvis baserade på funktionsanalysen, så som säkerhet och styrning.

Marknaden undersöktes och fem produkter analyserades (se tabell 2). Produkterna används för att styra, programmera eller testköra AGV:er, robotar eller andra typer av maskiner på ett säkert sätt. Produkterna i benchmarken valdes för att de var de produkter på marknaden som hade mest tillgängliga data till en jämförelse. En annan

anledning till att dessa produkter valdes var att de skilde sig från varandra formmässigt och funktionsmässigt.

Tabell 2. Benchmarking.

Modellnamn	(Fort) Safe Remote Control System	(Euchner) ZSM2300-106374	(MT Solutions) MT-RE004W	(Kollmorgen) MCD8	(Keba) FlexPendant
Storlek	18,415 cm x 16,51 cm x 7,62 cm	20,9 cm x 7,95 cm x 4 cm	21,8 cm x 7,4 cm x 3,8 cm	N/A	ca 31,5 cm x 20 cm x 13 cm
Säkerhet	Inbyggd nödstoppsknapp	Trelägesdon	Nödstoppsknapp	Trelägesdon	Trelägesdon + nödstoppsknapp
Styrning	Joysticks, knappar	Minijoystick och tryckknappar (finns olika varianter av modellen)	Joystick, vippströmbrytare och potentiometer	Potentiometer, tryckknapp och vippbrytare	Joystick, tryckknappar och touchscreen
Sladd / Sladdlös	Sladdlös	Sladd	Sladd	Sladd	Sladd
Vikt	≈ 0,5 kg	0,51 kg	N/A	0,9 kg	3.06 kg
Material	N/A	PA, CR, TPE	N/A	N/A	N/A
Bildlänk	https://www.fortrobotics.com/wireless-industrial-remote-control	https://www.euchner.de/en-us/a/106374/	http://www.wheels.kr/shop/item.php?it_id=MT-RE004W	https://www.service.dematic.com.au/agv/manual-control-device-mcd8/	https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-a-teach-pendant-The-ABB-IRC5-FlexPendant-ABB-2004_fig6_228890279

Den första produkten “Safe Remote Control System” av tillverkaren Fort är en handkontroll som liknar dagens TV-spelkontroller som till exempel Playstation eller Xbox. Den är radiostyrd och är därför trådlös. Den kräver ett tvåhandsgrepp och styrs med två joysticks. Den har även knappar och en display. Säkerhetsmässigt har den inte ett trelägesdon, utan den har en nödstoppsknapp, vilket är en nackdel. Just att den har egenskaper från en TV-spelskontroll inger en känsla om att den är intuitiv att köra. Många människor har också någon gång spelat TV-spel och då blir denna produkt mer bekant och intuitiv.

Nästa handmanöverdon är modellen “ZSM2300-106374” av den tyska tillverkaren Euchner. Det ingår i en modellserie där skalet är det samma, men det finns ett flertal variationer och tillval som kan göras. Exempel på funktioner som kan väljas till är en minijoystick och tryckknappar, dock är det ett begränsat antal funktioner som kan väljas till. För att manövreras säkert har det ett trelägesdon. En intressant aspekt med denna produkt är att den är har en kurvad yta som antyder att den är bekväm att hålla i. Den har en relativt lik form som den befintliga produkten.

Den tredje produkten som analyserats är “MT-RE004W” från MT Solutions. Det är en produkt med ett rektangulärt tvärsnitt, där all information och alla manövreringskomponenter är placerade på ovansidan. Eftersom alla reglage sitter på ovansidan, är de synliga, vilken bidrar till att den blir lättare att förstå och lära sig, den är dock kantig, vilket ska undvikas vid utformande av handhållna objekt (se kapitel 2.1.1. Ergonomi). Den har olika typer av reglage; en joystick, en potentiometer och vippströmbrytare samt att reglagen går att skiljas åt tydligt, vilket bidrar till ökad

användbarhet. Den ansluts till AGV:n via sladd. Det rektangulära tvärsnittet kan däremot anses vara obekvämt att hålla i händerna. En nödstoppsknapp finns istället för ett trelägesdon på produkten som säkerhetskomponent, vilket är en nackdel.

Den fjärde produkten som har analyserats är “MCD8” från tillverkaren Kollmorgen. Den ser ut som en kub och ett handtag. I handtaget sitter ett trelägesdon som säkerhetskomponent. På kubens ovansida sitter en potentiometer. På kubens framsida sitter det knappar och vippströmbrytare där användaren kan ändra inställningar. Den har också lysdioder som kan lysa i olika färger. För att reglera hastighet och riktning används vippströmbrytare med två lägen. Vippströmbrytare används även för att bestämma automatiskt eller manuellt läge och reglera lastfunktioner. Utöver det finns det en nödstoppsknapp. Handmanöverdonet ansluts till AGV:n via en sladd. Den har en robust design, där plastdetaljer på skalet skyddar känsliga funktioner på manöverdonet, som trelägesdonet och de olika reglagen.

Den femte och sista produkten som analyserades och även testades var “FlexPendant” från företaget Keba. Produkten är en robotpendant som naturligt vilar på vänster underarm medan operatören använder höger hand för att styra och manövrera. Med vänsterhanden hålls ett trelägesdon in för att kunna använda för extra säkerhet. Styrreglagen, som knappar och joystick, sitter på ovansidan på pendanten, klart synliga för användaren. En nackdel med denna typ av produkt är att den är anpassad för högerhänta. Enligt FlexPendantens operatörsmanual (ABB, 2009) beskrivs det att pendanten ska vila på användarens vänstra underarm medan operationerna utförs med högerhanden. Manualen beskriver dock att displayen kan roteras 180° för att anpassas till vänsterhänta. Det utfördes semistrukturerade intervjuer med två vänsterhänta användare av pendanten för att få information om deras upplevelse. Frågorna som ställdes var ”Hur brukar du använda pendanten?” och ”Hur känns det att köra med pendanten som vänsterhänt?”. De båda vänsterhänta användarna visste inte om funktionen att kunna anpassa för vänsterhänt användning, utan använder pendanten som en högerhänt användare. De menar dock att det fungerar bra att använda produkten på det viset. Det går lite långsammare, men menar att de är inlärda att använda högerhanden vid styrning eftersom de använder andra produkter som är anpassade till högerhänder, exempelvis datormöss.

Sammanfattningsvis gick det att dra några slutsatser från marknadsanalysen. Eftersom det inte fanns möjlighet att testa någon av produkterna, förutom FlexPendant, i verkligheten är analyserna baserade på vad som gick att se i bilderna. Med FlexPendant:en gick det att testa själva och fråga vänsterhänta användare om hur den kändes att använda när den var anpassad för högerhänta. Det fungerade enligt dem, men de visste inte om att det gick att ställa in för vänsterhänt användning. Att ha möjlighet att användas av både höger- och vänsterhänta samtidigt bör underlätta användandet. För trådlösa handmanöverdon som Fort Safe Remote Control System hade det varit andra regler som gällt eftersom det skiljer sig från manöverdon med sladd. Det har inget trelägesdon som de flesta andra, utan har enbart en knapp för nödstopp vilket också innebär andra regler gällande säkerhet. Eftersom formen var lite annorlunda var det också en anledning att inkludera i marknadsanalysen. Euchners “ZSM2300-106374” är likt det nuvarande manöverdonet till formen, men eftersom det var oklart hur minijoysticken som fanns fungerade, var det svårt att bedöma dess möjligheter. För MT Solutions manöverdon fick några antaganden göras eftersom det var svårt att tolka vad reglagen gjorde och manualen var på koreanska

vilket gjorde det svårt att tyda informationen. Kollmorgens MCD8 var mest lik i funktioner men reglagen bestod, förutom potentiometer, endast av vippströmbrytare. Några intressanta aspekter var skydd runt handtaget med trelägesdon och även en skyddande "vägg" runt framsidan som skyddar reglagen samt skydd över potentiometern på ovansidan.

Lärdomar från marknadsanalysen är:

- Att använda FlexPendant som vänsterhänt fungerade, men de visste inte om att det gick att ställa in för vänsterhänt användning.
- Att ha möjlighet att användas av både höger- och vänsterhänta samtidigt borde underlätta användandet.
- För trådlösa manöverdon hade det varit andra regler som gällt, då det skiljer sig från manöverdon med sladd.
- För manöverdon med nödstopp hade det varit andra regler, vilket skiljer sig mot trelägesdon.
- Euchner ZSM2300-106374 liknade det nuvarande manöverdonet, men det var oklart hur minijoysticken fungerade och därmed svårt att bedöma.
- För MT Solutions manöverdon fick antaganden göras för användning då informationen endast fanns på koreanska.
- Tolkningen av MT Solutions manöverdon är att joysticken kan skruvas på för rotation och hastigheten regleras med ett vred där det skruvas på för att höja eller sänka.
- Kollmorgens MCD8 hade bara vippströmbrytare som reglage, förutom potentiometern, alltså styrs bland annat hastighet och framåt/bakåt med samma typ av reglage.
- MCD8 hade skyddande design för trelägesdonet på handtaget och resten av reglagen på framsidan samt potentiometern på toppen.
- Att designa för att skydda reglage kan hjälpa att möta behov om att tåla industriell miljö och minska risken att reglage går sönder om handmanöverdonet skulle råka tappas mot marken.
- 4/5 av produkterna är tillverkade i någon form av plast. Den femte produkten, av MT Solutions, är tillverkad i ett metallmaterial och har en mer simpel rektangulär form.

2.2.3. Marknadsanalys av besläktade produkter

Johansson et al. (2004) beskriver att en analys av besläktade produkter är en systematisk metod till för att komma på lösningskoncept. Därför gjordes en benchmark på andra typer av manöverdon som kontroller till TV-spel, drönare och radiostyrd bil (se tabell 3). Kontrollerna valdes för att de hade olika reglage och utformning för att få mer inspiration till idégenerering. En annan anledning till att de valdes var för att några av dem kunde testas i verkligheten, förutom Playstation Move, Nintendo 64 och kontrollen till radiostyrd bil. Det som undersöktes hos kontrollerna var bland annat antalet knappar, en- eller tvåhandsanvändning, sladd/sladdlös samt storlek och vikt.

Av de sex kontrollerna är det fem som kan hållas med både höger och vänster hand eller båda händerna samtidigt, och en som bara hålls i vänster. Wii-kontrollen kan hållas i både höger och vänster hand och kan även hållas i sidled med två händer. Fyra av dem använder joystick som styrreglage medan resterande har styr-kors eller ratt. Nintendo 64-kontrollen har tre handtag med en joystick på det mellersta av dem, den

går att hållas i tre olika grepp med handtagen. Playstaion Move-kontrollen valdes eftersom den såg intressant ut med joystick och styr-kors och används med en hand. Alla kontrollerna har relativt låg vikt, vilket är bekvämt när de används för att spela eller utföra deras respektive aktivitet. Alla kontrollerna är också tillverkade i plast. Joystickarna på DJI-kontrollen har ”spår” som spaken kan gå i för att inte behöva anstränga sig att trycka den exakt rakt i en viss riktning. Kontrollen till radiostyrd bil har en annorlunda typ av grepp, mer pistollikt, jämfört med de övriga, och är gjort för att alltid hållas i vänster och styra med höger. Denna jämförelse av handhållna manöverdon i system, annat än AGV-system, bidrog till inspiration för vilka former, typer av grepp och reglage ett handmanöverdon till AGV:er skulle kunna tänkas ha.

Tabell 3. Benchmarking andra manöverdon.

Modellnamn	(Nintendo) Wii Remote	(Sony) Dualshock 4	(Nintendo) Nintendo 64 Controller	(Sony) Playstation Move Navigation Controller	(DJI) DJI RC	(Carson) Reflex Wheel Start 2.4G Radio Black
Antal knappar	9	15	10	7	6	6
Färg	Vit (finns flera)	Svart (finns flera)	Grå (finns flera)	Svart	Grå	Svart (finns flera)
En / Två händer	En och/eller två händer	Två händer	Två händer	En hand	Två händer	Hålls i en, styr med andra
Sladd / Sladdlös	Sladdlös	Sladdlös	Sladd	Sladdlös	Sladdlös	Sladdlös
Storlek	16cm x 3,62cm x 3,08cm	10 cm x 16,1 cm x 5,7 cm	15,26 cm x 16 cm x 6,67 cm	13,8 cm x 4,2 cm (höjd x diameter)	16,84 cm x 12,36 cm x 6,27 cm	N/A
Vikt	0,09 kg	0,21 kg	0,3 kg	0,095 kg	0,391 kg	0,30 kg
Vänster/högerhänt	Både och	Både och	Både och	Både och	Både och	Hålls i vänster, styr med höger
Bildlänk	https://m.media-amazon.com/images/I/41jM1Xnf3dL.jpg	https://gmedia.playstation.com/is/image/SIEPDC/dualshock-controller-product-thumbnail-01-en-14sep21?$facebook$	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/56/N64-Controller-Gray.jpg/2560px-N64-Controller-Gray.jpg	https://cf-images.dustin.eu/cdn-cgi/image/format=auto,quality=75,width=500,,fit=contain/image/d200000100214196/sony-playstation-move-navigation-controller-ps3.jpg	https://dji-official-fe.djicdn.com/cms/uploads/243bf43e19b6e612ceffcfa737af693d.png	https://middleware.simba-dickie.com/media/shop-carson/products/500500102/01/detail_mobile/reflex-wheel-start-24g-radio-black-500500102-en_01.jpeg?v=1614867674

2.2.4. Intervjuer

Intervjuer används för att lära sig om bland annat användarnas tankar, åsikter och beteende om exempelvis en produkt, förklarar Wikberg Nilsson et al. (2021). Ulrich och Eppinger (2014) beskriver intervjuer som en metod att samla in högkvalitativa data direkt från användaren och kunder. Intervjuerna kan användas i olika delar i arbetsprocessen, som att i början få information om en nuvarande produkt och senare få tankar om en utvecklad produkt. Intervjun kan vara strukturerad och därmed kan intervjufrågorna vara gjorda så att svaren blir om ett specifikt ämne, eller så kan intervjun hållas mer ostrukturerad för att få mer öppna svar av användaren. En kombination av dessa är semistrukturerade intervjuer, där en relativt öppen diskussion hålls men intervjuaren har frågor att utgå ifrån, fortsätter Wikberg Nilsson et al. (2021).

I arbetet används intervjuer riktat till olika personer hos företaget för att få information och deras åsikter om det nuvarande handmanöverdonet. Personer som intervjuas under projektets gång är drifttagare, säljare, programmerare och övrig personal på företaget som har bidragande information om handmanöverdonet. Dessa personer intervjuades då de har kunskap och åsikter om handmanöverdonet från olika

synvinklar. Exempelvis så är drifttagare erfarna användare av handmanöverdonet och säljare har kunskap om kunder och försäljningsaspekter. Även operatörer och underhållstekniker hos kund i fordonsindustrin intervjuades, då dessa användare har annan erfarenhet av handmanöverdonet, då de inte använder det ofta. Intervjuer ansågs vara en passande insamlingsmetod då de kan anpassas och riktas till de olika intressenterna för AGV:erna. Intervjuerna genomfördes på ett semistrukturerat sätt, där några av frågorna var generella frågor som kan ställas till alla och några var mer specifika, riktade till olika områden.

Exempel på generella frågor som ställdes till intervjupersonerna är:

- Vad tycker du om med handmanöverdonet?
- Vad ogillar du med handmanöverdonet?
- Vilka begränsningar tycker du att handmanöverdonet har idag?
- Vilka förbättringar skulle du vilja se med handmanöverdonet?
- Övriga synpunkter eller kommentarer?

Svar till de generella frågorna/diskussionspunkterna:

- Ergonomin är ett problem i nuläget, ju större händer desto lättare blir det att köra. Användare med större händer tycker det är bra.
- Handmanöverdonet har enkla funktioner, efter att ha lärt sig använda det.
- Kundernas uppfattning är att manöverdonet är “lite krångligt” först, men att det funkar.
- Mer knappar skulle kunna ge mer “fri” användning, exempelvis lyftning, byta mellan körlägen eller bara för att vara förberedd inför framtidens behov.

Exempel på mer specifika frågor till drifttagare är:

- Var och varför och i vilka sammanhang körs det i manuellt läge?
- Hur använder du handmanöverdonet?
- Hur känns handmanöverdonet i handen? Går det att nå allt?
- Hur skulle du vilja hålla handmanöverdonet?

Svar från drifttagare:

- Körning i manuellt läge sker oftast vid testkörning av drifttagare.
- Vill växla upp hastigheten snabbt ibland vid körning av omni, råkar då byta körläge istället.
- Är det lång sträcka vill det helst köras fortare.
- Känns helt okej att köra, men kan krampa efter att ha kört i några minuter. Menar att det inte blir kramp av att spela TV-spel och menar därför att hålla i former som liknar TV-spelkontroller skulle nog varit bekvämare.

Samma frågor som ställdes till drifttagare på företaget ställdes också till operatörer och underhållstekniker hos kund. Utöver de svaren som användare på företaget gav, svarade de även att:

- Operatörer i lina kör inte mycket, endast när det krånglar och ställer då AGV:n åt sidan. Underhållstekniker kör desto mer och längre sträckor.
- Tycker överlag att handmanöverdonet känns bra i handen, men får kramp vid längre användning.
- Första gången var handmanöverdonet svårt att förstå, och av att inte ha kört på ett tag hände det att det kunde glömmas hur manöverdonet fungerade. Kör

"alltid fel vid start" eftersom det inte är solklart vad som styr framåt respektive bakåt. Men efter att ha lärt sig, har manöverdonet enkla funktioner.
- Visste inte att alla funktioner fanns, som att det gick att växla upp hastigheten.
- Gillar att kunna stå på avstånd och köra, för att få bra sikt av sin omgivning.

Exempel på frågor som var riktade till programmerare är:
- Vad finns det för restriktioner på utformning? Exempelvis, hur stora är komponenterna, reglagen och knapparna?
- Vilka skillnader finns det mellan de olika AGV-typerna programmeringsmässigt (styrning)?
- Vilka funktioner skulle krävas på ett handmanöverdon för de olika typerna av AGV:er? Skiljer det sig emellan dem?

Viktiga punkter som togs upp av programmerare:
- Det fanns egentligen inga restriktioner programmeringsmässigt.
- Skillnader mellan omni och de andra drivsätten är att omni har fler funktioner på samma knappar, vilket kräver kombinationer av dubbelklick.
- En gillade mer om handmanöverdonet var simpelt och bara hade styrfunktioner.
- Förespråkar att försöka undgå nolläget med potentiometern.

Och slutligen, exempel på frågor som ställdes till säljare är:
- Hur säljs handmanöverdonet? Som reservdel eller komplettering?
- Hur mycket säljer ni utomlands? Och vart?
- Ser du några kundbehov som inte möts idag?
- Vilka är era konkurrenter?

Svar och diskussionsområden från säljare:
- Produkten säljs som del av system, men även som reservdel och som en kompletterande produkt. Ungefär 70% av de sålda produkterna säljs inom Sverige och resterande 30 % säljs utomlands till Kina, Japan, Brasilien, USA och europeiska länder.
- Det är viktigt produkten är robust. Ska tåla stötar och liknande.
- Magnet tycks vara bra, uppskattades att kunna fästa den vart som helst på AGV:n.
- Ett klagomål från kund var att det är svårt att få igång med trelägesdonet, förstår inte med en gång, lamporna ovanpå kan kräva förklaring, placeringen är inte så bra i nuläget p.g.a. måste vinkla manöverdonet, nolläget med potentiometern upplevs heller inte så bra, eftersom markören inte syns.
- Trelägesdonet kan gå sönder när det inte trycks in korrekt på grund av ergonomin, kan bland annat orsaka kramp.
- Placering av potentiometern kan vara bättre, för att slippa behöva vinkla och vrida hela manöverdonet.

Sammanfattningsvis så är det främsta problemet som diskuteras att handmanöverdonet inte är ergonomiskt. Delvis den kognitiva aspekten med att handmanöverdonet inte är intuitivt för en nybörjare, men främst att det är obekvämt att hålla, speciellt under längre perioder och för användare med mindre händer.

Från intervjuerna framgick det att olika typer av användare använder handmanöverdonet på olika sätt. Operatörer vid en lina där AGV:erna oftast går automatiskt använder det sällan, utan bara när förflyttningar av AGV:n behöver göras eller när fel uppstår. Däremot använder drifttagare och underhållstekniker det under en längre period, då de använder det för att testköra AGV:n eller förflytta den till exempelvis en verkstad.

Användare som varken är vana eller använder donet frekvent, tycker att handmanöverdonet är krångligt till en början, men löser uppgiften på ett tillfredsställande sätt. Vana användare tycker däremot att handmanöverdonet har enkla funktioner och är därför enkelt att använda.

2.2.5. Observationer

Wikberg Nilsson et al. (2021) förklarar att observationer används bland annat för att upptäcka användarbehov som finns i vissa situationer och eventuella områden för utveckling. Vid deltagande observationer integreras det med användaren genom exempelvis att lyssna och titta på när de befinner sig i situationen och berättar om vad de gör och varför. Observationer bidrar även till en chans att förstå användarens motiv och behov vid användandet av en produkt. Norman (2013) menar att observationer är en viktig del i människocentrerad design och att det inte finns något som kan ersätta observationer och integration med människor som kommer använda den nya produkten. En annan viktig punkt med observationer är att observera användare och personer som matchar den faktiska målgruppen.

Personer och användare som har observerats är drifttagare som bland annat jobbar med underhåll och testkörning samt nybörjare (se figur 7).

Figur 7. Observationer av mindre respektive större händer.

Observationer gjordes bland annat i EAMR:s hall där några punkter antecknades:

- Beroende på handstorlek hade användaren mer eller mindre ansträngd positionering av handen och fingrarna på handmanöverdonet. Ju större händer, desto bekvämare hölls donet.

- När trelägesdonet hade gått ur mittläget behövde användaren vrida tillbaka potentiometern till sitt nolläge för att starta manuell körning igen. När detta skedde kunde det ibland (särskilt för ovana användare) vara nödvändigt att

vrida på kontrollen mot sig för att se var markören på potentiometern var, för att sedan hitta nolläget.

- Det var skillnad på hur vana respektive ovana användare körde i manuellt läge. Vana användare körde ofta fort och säkert, utan att behöva tänka så mycket medan ovana användare körde långsamt och testade sig fram. Ju mer de ovana användarna körde, desto säkrare körde dem.

2.2.6. Antropometri

Eftersom användare har olika storlekar på händer undersöktes det vilka parametrar som var viktiga att ta hänsyn till vid utvecklandet av en handhållen produkt. I intervjuer med säljare framgick det att företaget säljer produkter över hela världen. Utöver Sverige, där företaget har mest kunder, så säljs produkten i Kina, Japan, Brasilien, USA och europeiska länder. Antropometriska data om populationernas handlängd och handbredd hämtades från databasen Peoplesize 2020 och sammanställdes i tabell 4. Dock fanns det ingen data om brasilianarnas handlängd i databasen.

Tabell 4. Antropometriska data av handlängd och handbredd.

		Handlängd (mm)						Handbredd (mm)					
Land	Kön	1:a percentil	5:e percentil	95:e percentil	99:e percentil	Skillnad mellan 5:e och 1:a percentil	Skillnad mellan 99:e och 95:e percentil	1:a percentil	5:e percentil	95:e percentil	99:e percentil	Skillnad mellan 5:e och 1:a percentil	Skillnad mellan 99:e och 95:e percentil
Italien (18-65)	Män	171	178	208	215	7	7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Italien (18-65)	Kvinnor	162	167	191	196	5	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Japan (18-65)	Män	165	171	202	208	6	6	78	81	95	98	3	3
Japan (18-65)	Kvinnor	154	159	184	189	5	5	68	71	84	87	3	3
Kina (18-64)	Män	158	165	198	204	7	6	70	73	90	94	3	4
Kina (18-64)	Kvinnor	152	157	182	187	5	5	63	66	81	85	3	4
Nederländerna (18-64)	Män	173	180	215	222	7	7	82	85	99	102	3	3
Nederländerna (18-64)	Kvinnor	162	168	194	199	6	5	72	75	88	91	3	3
Sverige (18-65)	Män	171	178	210	217	7	7	76	80	98	102	4	4
Sverige (18-65)	Kvinnor	159	165	194	200	6	6	68	71	86	89	3	3
USA (18-64)	Män	166	173	208	215	7	7	76	79	96	100	3	4
USA (18-64)	Kvinnor	152	159	191	198	7	7	67	70	85	88	3	3

Sambanden som kan ses ur tabellen är att män har generellt sett större händer än kvinnor med undantag av kinesiska män som har mindre eller lika stora händer än svenska och nederländska kvinnor. Nationaliteten påverkar handens storlek och asiater har minst händer och svenska och nederländare har störst händer. Spannet som ska försökas ta hänsyn till är alltså mellan kinesiska kvinnor och nederländska män, vilket är händer som har mått mellan 157–215 mm. Det jämfördes också hur stor skillnad det var mellan 5:e och 1:a percentilen, samt skillnaden mellan 99:e och 95:e för att se om det skiljer mycket. Det skiljer mellan 5–7 mm och det finns mer variation i handmått hos män än hos kvinnor. Datan jämförs senare i projektet med testpersonernas antropometriska mått vid användartester, för att se om testpersonerna är representativa för målgruppen.

2.3. Identifiering av behov

För att lättare kunna översätta till krav senare behövde rådatan från intervjuerna och observationerna analyseras och först formuleras om som behov. Första tolkningen från intervjusvaren gjordes med Ulrich och Eppingers (2014) riktlinjer för att formulera behoven. Olika utlåtanden från användarna och observationer skrevs ner för att sedan kunna formulera ett behov till varje. Användarnas utlåtanden och observationer sorterades efter frågor om vad de gillar och inte gillar, förbättringsförslag och även typiska användningar för handmanöverdonet.

Behoven ska uttryckas i vad som ska uppfyllas av produkten, inte hur den ska uppfylla det. Fler riktlinjer är att behoven ska uttryckas med samma specifikation som datan, bara positiva formuleringar ska användas, behovet ska uttryckas som en egenskap och orden “ska” och “måste” ska inte användas eftersom det visar hur viktigt behovet är (Ulrich & Eppinger, 2014). Kundbehoven i tabell 5 representerar behov från intervjuerna och observationerna.

Tabell 5. Identifierade kundbehov från intervjuer och observationer.

Handmanöverdon = HMD

Fråga / Uppslag	Kundutlåtande / Observation	Tolkat behov
Gillar med befintligt verktyg	Jag tycker om magneten i kontrollen för då kan jag fästa kontrollen var som på AGV:n	Möjlighet att förvara HMD på AGV:n när den inte används
	Jag gillar att den befintliga kontrollen är lätt	HMD har en lätt vikt
	Efter man har lärt sig är den bra och enkel att använda	HMD är enkelt att använda
	Gillar att potentiometern medför precision vid styrning	HMD har ett styrningsreglage som medför precision vid styrning
	Gillar att man kan reglera hastighet	HMD har reglage för att reglera hastighet
	Gillar att man kan gå en bit ifrån AGV: n för att se tydligt och ha bra överblick.	Anslutning mellan HMD och AGV möjliggör att kunna stå på avstånd
Typiska användningar	Viktigt att den tål att åka i backen	HMD är stöttåligt om det tappas
	Underhållstekniker använder HMD under längre perioder åt gången	HMD är bekvämt att hålla under längre perioder
	Operatörer i lina använder HMD sällan	HMD är lätt att använda när det inte används frekvent
	Viktigt att HMD är säker	HMD är säkert att använda
	Vill helst kunna köra fort vid längre sträckor	HMD kan nå högre hastigheter på ett säkert sätt
	Glömmer av hur man kör om man inte kört på länge	HMDs funktioner är lätta att komma ihåg
Gillar inte med befintligt verktyg	Många kunder tycker den är lite krånglig i början	HMD är lätt att förstå redan från början
	HMD passar inte för alla hand-storlekar	HMD är anpassat till mellan 5:e percentilen för kvinnor och 95:e för män (längd hand)
	Ibland när man växlar hastighet kan man råka byta körläge pga dubbelklicksfunktionen	HMDs funktioner går att särskilja
	Indikationen när villkoren för körning uppfylls, är inte tydlig	HMD har en tydlig feedback när villkoren för säker körning uppfylls
	Visste inte att vissa funktioner fanns, funktionerna är inte tydliga	HMD har tydliga funktioner
Förslag på förbättringar	Potentiometern behöver ställas tillbaka till nolläget varje gång	HMD-styrningen behöver inte ställas om vid start av ny körning
	Flera funktioner delar på en och samma knapp	HMD har en funktion per knapp
	För att se potentiometern och dess läge behöver kontrollen vridas mot sig	HMD kräver inte vridning för att styra
	Svårt att veta om man har lyckats byta körläge vid körning av Omni, utan att testköra	HMD ger feedback efter lyckat byte av körläge vid körning av Omni
	Användare med små händer nådde knapparna ansträngt	Reglagen på HMD kan nås av alla användare

2.4. Behovs- och egenskapsmatris

Ulrich och Eppinger (2014) förklarar att en kravspecifikation ska bestå av mätbara egenskaper och genom att utföra en behovs- och egenskapsmatris kan sambandet mellan behov och egenskaper redovisas. Sambandet kan visualiseras genom att raderna består av behov, kolumnerna består av egenskaper och en punkt. På grund av att sambanden mellan behov och egenskaper kan vara komplexa, kan denna typ av kartläggning underlätta att förstå sambanden. Ulrich och Eppinger (2014) beskriver

även denna metod som en del av en strukturerad metodik för att ta fram just en kravspecifikation.

De identifierade behoven från intervjuer och observationer ställdes upp i matrisen och egenskaper bestämdes för att ha mätbara värden till varje behov. En del av behoven hade med förståelsen för handmanöverdonets funktioner och intuitivitet att göra, därför kopplades de till egenskaper som hade med funktionerna att göra. Behov om bekvämlighet under längre användning kopplades till vikten, längd på handen och upplevd bekvämlighet som mätbara egenskaper (se tabell 6).

Tabell 6. Behovs- och egenskapsmatris.

	Egenskap	Kan förvaras på AGV:n (Ja/Nej)	Vikt (g)	Antal funktioner	Enkla funktioner	Funktioner beskrivs tydligt	Enkel att styra	Material	"Tapphöjd" (m)?	Bekväm att hålla i	Följa standarder	Handlängd (percentil)	Användare erhåller feedback vid användning av funktioner	Tid (utförande av en uppgift)	Avstånd mellan operatörsplats och agv (m)	Användaren kan reglera hasighet manuellt
Behov		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Möjlighet att förvara HMD på AGV:n när den inte används	1	•														
HMD har en lätt vikt	2		•													
HMD är enkel att använda	3			•	•	•								•		
HMDs funktioner är lätta att komma ihåg				•	•	•										
HMD har tydliga funktioner						•										
HMD har ett styrningsreglage som medför precision vid styrning	4						•									
HMD är stöttålig om den tappas	5							•	•							
HMD är bekväm att hålla under längre perioder	6		•							•		•				
HMD är lätt att använda när den inte används frekvent	7			•	•	•								•		
HMD är säker att använda	8										•					
HMD kan nå högre hasigheter på ett säker sätt	9										•					
HMD är lätt att förstå redan från början	10			•	•	•								•		
HMDs funktioner är lätta att komma ihåg	11			•	•	•								•		
HMDs funktioner går att särskilja	12					•										
HMD har tydliga funktioner	13					•										
HMD har en tydlig feedback när villkoren för säker körning uppfylls	14												•			
HMD-styrningen behöver inte ställas om vid start av ny körning	15						•									
HMD har en funktion per knapp	16			•	•											
HMD kräver inte vridning för att styra	17													•		
HMD ger feedback efter lyckat byte av körläge vid körning av Omni	18												•			
Reglagen på HMD kan nås av alla användare	19									•		•				
Anslutning mellan HMD och AGV möjliggör att man kan stå på avstånd	20														•	
HMD har reglage för att reglera hasighet	21															•

2.5. Personas

Personas är en metod för att kommunicera behov på ett alternativt sätt. Personas är fiktiva karaktärer som är representanter för användargruppen och baseras på data från användarstudier. Miaskiewicz och Kozar (2011) menar att det finns två generella mål med personas; a) att få en karaktär komma till liv genom att ge den ett namn, en bild, personlighetsdrag men också b) att förklara personens personliga mål, behov och dess koppling till produkten som ska designas. För att få förståelse för situationens

användare kan kontexten kartläggas genom exempelvis intervjuer och observationer. Det insamlade materialet ska kontextualiseras, karaktäriseras och därefter skapas en levande persona som har personliga egenskaper, exempelvis vad deras mål, drivkrafter och frustrationer är (Wikberg Nilsson et al., 2021). Det finns flera typer av fördelar med att inkludera personas i en användarcentrerad designprocess. Exempelvis bidrar personas till att fokus hålls på användargruppens behov, empati skapas för användaren och att en gemensam bild över användargruppen skapas för designteamet (Miaskiewicz & Kozar, 2011).

De skapade personerna var baserade på resultat från användarstudierna med några passande personliga egenskaper för att göra dem mer verklighetstrogna. En persona gjordes för en underhållstekniker, en för en montör och en för en drifttagare eftersom de var inom målgruppen och för att inkludera de olika områdena där handmanöverdonet används (se figur 8–10). Olika typer av användare representeras av personerna, med olika yrkesroller, erfarenheter och kompetenser. Personerna användes i idégenereringen, för att beskriva målgruppen för deltagarna.

Figur 8. Persona Jenny Arvidsson.

Figur 9. Persona Lasse Lind.

Figur 10. Persona Tommy Berggren.

2.6. Kravspecifikation

En kravspecifikation är ett sammanfattande dokument som beskriver målen för designarbetet och agerar som facit vid utvärdering (Österlin, 2007). En kravspecifikation ska beskriva *vad* produkten ska göra, men inte *hur* den gör det (Ulrich & Eppinger, 2014; Österlin, 2007). Specifikationen ska bestå av mätbara egenskaper och värde. Wikberg Nilsson et al. (2021) skriver att en (designspecifikation eller) kravspecifikation kan användas som grund för att fatta beslut så att projektteamet säkerställer att kraven uppfylls vid val av koncept. Österlin (2007) menar att en funktionsanalys kan vara en god premiss vid utformandet av en kravspecifikation. En kravspecifikation är ett levande dokument, då mycket kan förändras under projektets gång. Kraven och önskemålen i kravspecifikationen är baserade på informationen som samlats in under förstudien (se tabell 7).

Tabell 7. Kravspecifikation.

Kravspecifikation

Kategori	Nr.	Krav/behov	Kravvärde	Önskevärde	Enhet	Testmetod	Källa	Kommentar	Datum
Säkerhet	1.	Framföra fordon säkert	Ja	-	Ja / Nej		Maskindirektivet och ISO 3691:4	Trelägesdon eller reglerad hastighet	1/3 - 2023
Användning	2.	Antal funktioner		4-6	Antal (st)		Användarstudier		6/3 - 2023
	3.	Enkla funktioner	>3	>4	Betyg (1 - 5)	Användartester	Användarstudier	Funktioner är inte för komplicerade att utföra	1/3 - 2023
	4.	Funktioner beskrivs tydligt	>3	>4	Betyg (1 - 5)	Användartester	Användarstudier	Minska kognitiv ansträngning	1/3 - 2023
	5.	Användare erhåller feedback vid utförande av funktioner	Ja	-	Ja / Nej		Användarstudier		1/3 - 2023
	6.	Inlärningstid		<60	Tid (s)	Användartester		Tid det tar att identifiera funktionerna	24/5 - 2023
Fysisk ergonomi	7.	Bekväm att hålla i	>3	>4	Betyg (1 - 5)	Användartester	Användarstudier	Hur bekvämt manöverdonet upplevs	1/3 - 2023
	8.	Vara anpassad till handlängd		157-215	Längd (mm)	Användartester	Antropometrisk data	5-95 percentil (kinesiska kvinnor och nedeländska män). Handens längd mäts vid användartester	1/3 - 2023
	9.	Passa både höger och vänster hand	Ja	-	Ja / Nej	Användartester	Marknadsanalys	Både höger- och vänsterhänta har möjlighet att använda	1/3 - 2023
Övrigt	10.	Fäste till AGV	-	Ja	Ja / Nej		Användarstudier	Fästa kontrollen direkt på AGV:n	1/3 - 2023
	11.	Vikt	<500	<300	Vikt (g)		Användarstudier		22/3 - 2023
	12.	Avstånd mellan operatörsplats och AGV		Upp till 3	Längd (m)		Användarstudier	Hur långt ifrån operatören kan stå/gå och styra AGV:n	28/4 - 2023
	13.	Är bakåtkompatibel med befintliga AGV:er	-	Ja	Ja / Nej		EAMR	Bakåtkompatibel med alla AGV:er	3/4 - 2023
	14.	Synlighet		Gul eller röd	Färg (Lista)		EAMR	HMD ska synas tydligt och ha kontrast mot företagets AGV:er (som är vita)	3/4 - 2023
Tål industrimiljö	15.	Hållfast material	-	Ja	Ja / Nej		Användarstudier	Tåla slitage	1/3 - 2023
	16.	Tapphöjd		>=1,5	Höjd (m)				1/3 - 2023
	17.	Skydda reglage	-	Ja	Ja / Nej		Marknadsanalys	Reglage med risk att gå sönder eller skadas vid olycka	1/3 - 2023
	18.	Tåla stänk och damm		>=44	IP-klassning	Testas i labb	EAMR		3/4 - 2023
Hållbarhet	19.	Passar både män och kvinnors händer	Ja	-	Ja / Nej	Användartester	Litteraturstudie	Social hållbarhet	21/3 - 2023
	20.	Material går att återvinna	-	Ja	Ja / Nej		Litteraturstudie	Vid slutet av produktens livscykel kan materialet återvinnas	1/3 - 2023
	21.	Antal delar		<8	Antal (st)		Litteraturstudie	Antal delar exklusive inre komponenter	22/3 - 2023
	22.	Använder tillgängliga resurser		Ja	Ja / Nej		Litteraturstudie	Utnyttja befintlig komptens och utrustning	24/5 - 2023
	23.	Går att reparera	-	Ja	Ja / Nej		Litteraturstudie	Underhåll för längre livslängd	1/3 - 2023
	24.	Demonterbar	-	Ja	Ja / Nej		Litteraturstudie	Design for disassembly	1/3 - 2023
Funktionalitet	25.	Kan reglera hastighet	Ja	-	Ja / Nej		Funktionsanalys	För både standard och omni	1/3 - 2023
	26.	Kan köra framåt och bakåt	Ja	-	Ja / Nej		Funktionsanalys		1/3 - 2023
	27.	Kan styra rikting och rotation	Ja	-	Ja / Nej		Funktionsanalys	För omnistyrda AGV:er	1/3 - 2023
	28.	Finns möjlighet att utöka funktionalitet i framtiden	-	Ja	Ja / Nej		Användarstudier	Ifall framtida behov kräver extra knapp alternativt reglage	1/3 - 2023
Tillverkningsaspekter	29.	Inköp/tillverkningskostnad		<7650	Pris (Kr)		Förstudie/EAMR	Mindre kostnad än dagens kostnad (Inköp, frakt och eftermontering av potentiometer)	13/4 - 2023

3. Design

I designfasen börjar idéer skapas, möjliga lösningar undersökas och lösningsförslagen utvärderas med systematiska metoder. Modeller och prototyper görs för att testa och visualisera lösningsförslag och koncept som också utvärderas under fasens gång.

3.1. Idégenerering

Wikberg Nilsson et al. (2021) beskriver att kreativitet kan göras möjligt med hjälp av färdigheter och kunskap inom olika metoder som används för att öka de kreativa förmågorna. Andra personer involverades i idégenereringsprocessen för att generera fler idéer från olika synsätt (Cross, 2021).

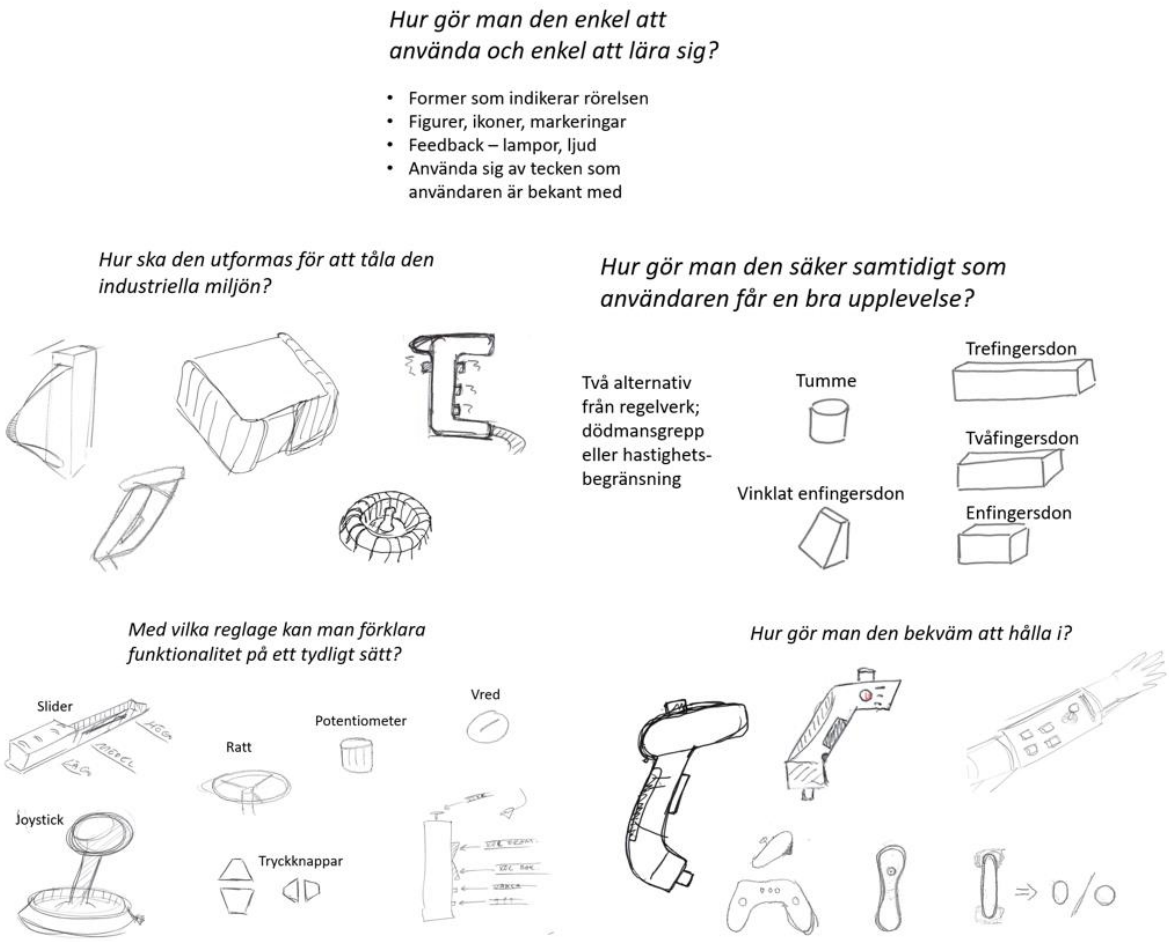
3.1.1. Brainstorming

Brainstorming används i syfte att generera en stor mängd idéer och medan dess genomförande kan vara olika, är det bäst om några grundläggande punkter följs (Magrab, 1997; Wikberg Nilsson et al., 2021). Inga idéer ska kritiseras, varken egna eller andras, satsa på att få vilda idéer, kombinera idéer för att få ut nya och gå efter kvantitet hellre än kvalitet. En frågeställning formuleras baserat på ett visst tema, sedan kan svar och idéer skrivas eller skissas på papper, eller både och. Skissning är också ett viktigt verktyg för att generera och utveckla idéer (Cross, 2007). Metoden genomförs med flera personer då den grundar sig i att den kreativa potentialen hos deltagarna uppmuntras av att se vad resten har för tankar och idéer (Magrab, 1997; Wikberg Nilsson et al., 2021). Eftersom metoden genomfördes med deltagare som inte tillhörde projektteamet, utgick brainstormingen ifrån de tre personas som utfördes tidigare i projektet. Personas presenterades och beskrevs kort, och det förklarades att de var baserade på verkliga användare. Detta bidrog till att alla deltagare hade en gemensam bild över målgruppen.

Frågeställningarna som användes under brainstormingen var:

- Hur gör man den bekväm att hålla i?
- Hur kan den utformas för att tåla den industriella miljön?
- Med vilka reglage kan man förklara funktionalitet på ett tydligt sätt?
- Hur gör man den säker samtidigt som användaren får en bra upplevelse?
- Hur gör man den enkel att använda och enkel att lära sig?

Ett urval av skisser eller punkter från varje frågeställning ses i figur 11.



Figur 11. Skisser till frågeställningarna.

3.1.2. Morfologisk matris

Morfologisk matris eller konceptkombinationstabell som Ulrich och Eppinger (2014) också kallar det, är en strukturerad metod för att generera många konceptförslag. Metoden går till på så sätt att problemet bryts ned i delproblem och därefter genereras lösningsfragment till delproblemen. Lösningsförslag genereras genom att kombinera lösningsfragment från varje delproblem. Wikberg Nilsson et al. (2021) skriver att listan med punkter i tabellen ska vara baserade på all den kunskap som samlats in under projektets gång som exempelvis användarens behov. Utöver detta skriver Cross (2021) att listan inte bör vara för lång, då det kan bli svårt att hantera.

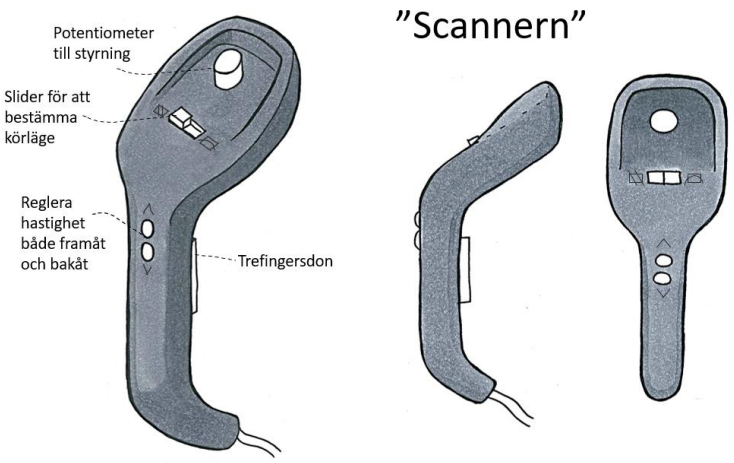
För matrisen användes delproblem från bland annat funktionsanalys och var även baserat på litteraturstudien och empiriinsamlingen. Även stödfunktioner från funktionsanalysen som att tåla den industriella miljön och fysisk samt kognitiv ergonomi var med i matrisen. Dellösningarna var baserade på genererade idéer från brainstorming, idégenerering och identifierade lösningar från förstudien. Dellösningar radades upp till problemen och sedan skapades koncept genom att dra streck mellan olika lösningar (se tabell 8). Ett koncept gjordes för fyra av formerna och visualiserades med skisser (se figur 12–15). De fyra koncepten vidareutvecklades med hjälp av enklare modeller för att göra användartester.

Tabell 8. Morfologisk matris

A	**Bekväm att hålla i**					
B	**Lätt att förstå**	Text	Symbol	Ljud	Ljus/lampor	
C	**Säkerhet**	Begränsad hastighet till 0,3 m/s	Trelägesdon (1 finger)	Trelägesdon (2 fingrar)	Trelägesdon (3 fingrar)	Trelägesdon (tumme)	Trelägesdon (vinklat, 1 finger)
D	**Styra riktning och rotation**	Joystick	Potentiometer	Knappar			
	Reglera hastighet	Radiostyrd bil grej	Knappar / knapptryck	Vridreglage	Slider	Potentiometer	Joystick
	Tåla industriell miljö	Vägg runt reglage	Reglage sitter "under" kanten	Boot	Magnet	Spänne runt hand	
	Fram och bak	Knappar	Slider	Vippströmbrytare	Vred	Joystick	
	Extra knapp för framtiden	Ja	Nej				
	Körläge	Knappar	Slider	Vippströmbrytare	Vred		

3.2. Konceptgenerering

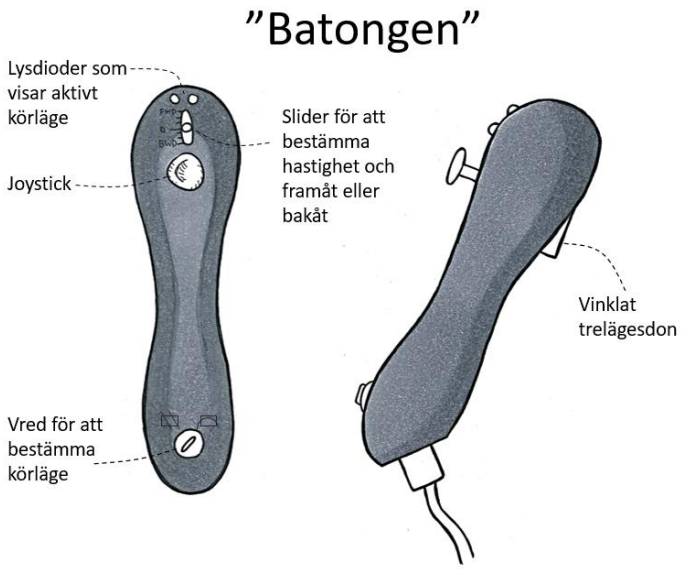
Koncept A från matrisen kallas för Scannern (se figur 12) och har en böjd form med potentiometer för styrning på toppen med skjutreglage för att växla mellan körlägen. Reglage för hastighet sitter på framsidan för att kunna nå lätt med tummen. Trelägesdonet sitter på baksidan och är av typen som är för att tryckas in med tre fingrar. Runt reglagen på toppen går en kant upp för att skydda vid eventuell tappning av manöverdonet. Böjningen i botten gör att sladden inte böjs utan är i riktning mot AGV:n. Den övre böjningen i manöverdonet är tänkt att göra det bekvämare att komma åt reglage samtidigt som det inte behöver sträckas för att nå. Potentiometern är placerad på toppen för att lätt kunna se i vilket läge den är i när AGV:n styrs. Eftersom symboler gör det tydligare för användaren att förstå, lades förklarande sådana till.



Figur 12. Konceptförslag “Scannern”.

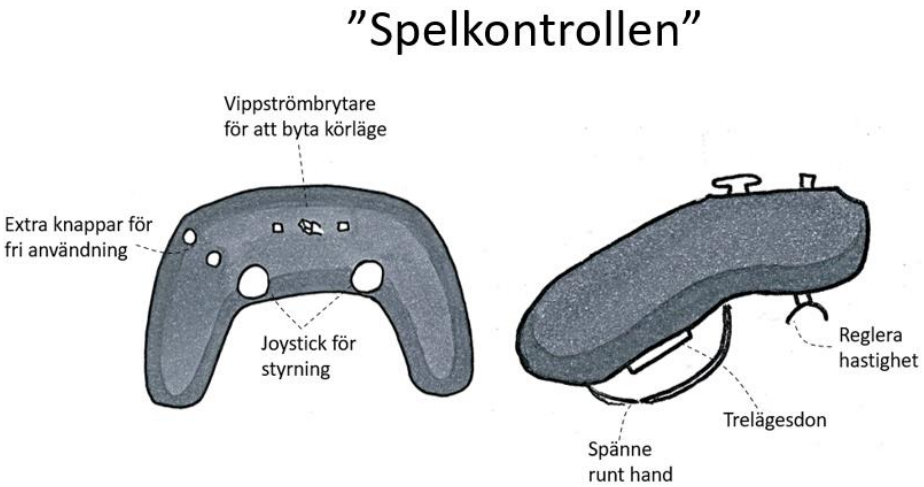
Koncept B från matrisen fick namnet Batongen (se figur 13) och har en rundare form som går lite inåt i mitten av manöverdonet. Det runda tvärsnittet är tänkt att göra det bekvämare att hålla i och köra längre sträckor. För styrning av AGV:n har det en

joystick, ett skjutreglage för att reglera hastighet och även möjlighet att kunna köra framåt och bakåt med skjutreglaget. För säkerheten finns ett vinklat trelägesdon, som trycks in med ett finger, på baksidan av manöverdonet. När donet är rätt intryckt, lyser lysdioden grönt. I botten på framsidan finns ett vred för att byta mellan körläge, samt förklarande symboler. Likt koncept A är sladdinfästet lätt vinklat för att inte ha någon eventuellt förstörande vinkel för sladden.



Figur 13. Konceptförslag “Batongen”.

Koncept C från matrisen kallas Spelkontrollen (se figur 14) och hålls med båda händerna och trelägesdonet sitter på baksidan av ett av handtagen. Att hålla med två händer i en form likt en TV-spelskontroll var tänkt kunna vara bekvämt för både längre och kortare körningar. Det finns ett spänne runt trelägesdonet att trä in fingrarna för att minska risken att tappa manöverdonet. På framsidan finns det två joysticks för styrning och rotation, vippströmbrytare för byte mellan körläge och extra knappar. Hastigheten regleras med en kontroll likt hos radiostyrda bilar där den kan höjas eller sänkas om den skjuts bakåt respektive framåt.



Figur 14. Konceptförslag “Spelkontrollen”.

Det sista konceptet, Fjärrkontrollen (se figur 15), har en rakare form med rundad baksida och vinklat trelägesdon baktill. Rundad baksida är tänkt att göra det bekvämt

att hålla i med antingen en hand eller två. På framsidan finns det potentiometer för styrning, skjutreglage för hastighet och framåt/bakåt och knappar för att byta mellan körlägen. Riktning framåt/bakåt och körlägen indikeras med text för att det ska vara tydligt vad knappen eller funktionen gör. På toppen finns en kant som går över reglagen för att de inte ska slå i om manöverdonet råkar tappas.

Figur 15. Konceptförslag “Fjärrkontrollen”.

3.3. Skissmodeller

De fyra koncepten byggdes som skissmodeller för att visualisera och kunna utföra tester med. Modeller kan ha olika syften, där ett syfte kan vara att testa och utvärdera ergonomin hos en produkt tidigt i processen (Wikberg Nilsson et al., 2021). Modeller är också ett visualiseringshjälpmedel och kan bidra till mer förståelse över hur konceptet ska utformas. Genom modellbygge kan nya upptäckter göras, som kan förbättra koncepten (McElroy, 2017).

Modellerna utformades från rätblock i rosa skum, där skummet avlägsnades med såg, rasp, fil och sandpapper tills skummet tog den form som önskats. Därefter utformades reglage på liknande sätt, antingen i rosa skum eller i kartong och sattes fast med lim eller ståltråd. Ståltråd användes på lämpliga ställen där reglagen skulle kunna göra roterande rörelser, som exempelvis till potentiometern. Sist klistrades ikoner och text som ska förklara funktioner fast på modellen. När modellerna skapades gjordes några förändringar till skissmodellerna som märktes under skapandet för att modellerna skulle vara så klara som möjligt inför tester och representera hur AGV:erna kan köras (se figur 16).

Figur 16. Skissmodeller i skum av koncepten.

Som tidigare nämnt sker ofta förändringar vid modellbygge, då brister lätt upptäcks. Modellen av konceptet Scannern liknar den ursprungliga skissen, då det inte utfördes några förändringar. För konceptet Batongen gjordes inga större förändringar, symboler lades till för vredet i botten. För konceptet Spelkontrollen diskuterades det och gjordes några förändringar, reglaget för att byta körläge togs bort då det inte ansågs behövas eftersom joystickarna kunde styra riktningen och rotationen. Dock kan två joystickar vara onödigt vid styrning av AGV:er som inte är omnistyrda. För modellen till konceptet Fjärrkontrollen ändrades det till att ha symboler för de olika drivlägena då det ansågs att de skulle bättre förklara lägena än med text. Den skyddande kanten gjordes så att den skulle gå ner till potentiometern för skydd, istället för bara på översta kanten. Efter att skissmodellerna tagits fram, påbörjades arbetet med användartester.

3.4. Test av koncept

Test av koncept med användare i syfte att samla in feedback och data inför vidareutveckling och slutligt val av koncept. Norman (2013) menar att testning av koncept är en av aktiviteterna i användarcentrerad design och kan användas till att säkerställa att användarens behov och önskemål uppfylls.

3.4.1. Användartester

McElroy (2017) skriver att ett bra sätt för att utveckla en produkt som skapar värde för användaren är att testa koncept med användaren och erhålla feedback och sedan förbättra. Användartester på fysisk och kognitiv ergonomi utförs då det är viktigt att utvärdera koncepten för att få feedback för vidareutveckling (Eikhaug & Gheerawo, 2012). Användartester kan användas av flera skäl som exempelvis att flera alternativ jämförs i tester för att välja det bästa alternativet att fortsätta med, eller ett mer fördjupat test för att utvärdera konceptet innan det ska produceras. Typ av test anpassas till vad som ska undersökas och var i processen testet ska göras (Eikhaug & Gheerawo, 2012). Författarna menar även att det är viktigt att välja ut rätt testpersoner då feedbacken från testerna ska vara användbar i vidareutvecklingen. Det är också viktigt att välja ut ett lämpligt antal testpersoner, för att undvika att förändringar som är baserade på en eller två testpersoners åsikter genomförs.

Först gjordes en guide för att kunna följa vid varje test så att testen skulle vara likadana varje gång de utfördes (se bilaga A). Testguiden följdes först vid två pilottester för att se om något behövde ändras i testets utförande. Pilottesterna

utfördes med två studenter utan direkt erfarenhet av att köra AGV, resten av testerna utfördes med personer med stigande erfarenhet av att köra. Studenter med olika erfarenhet fick testa för att samla in data från olika erfarenhetsnivåer. Erfarenhetsnivåerna var “ingen”, “lite” och “en del”, då det fanns testpersoner som aldrig hade kört en AGV men även testpersoner som hade arbetat i industrier där AGV:er används i produktionen. För erfarenhetsnivån “lite” hade testpersonerna kört en AGV manuellt vid ett eller ett fåtal tillfällen. För erfarenhetsnivån “en del” hade testpersonerna arbetat i en industri och fått hantera en AGV manuellt en gång i veckan. Testpersonernas händer mättes i längd och bredd för att jämföra med den antropometriska datan för målgruppen och se om måtten låg i spannet.

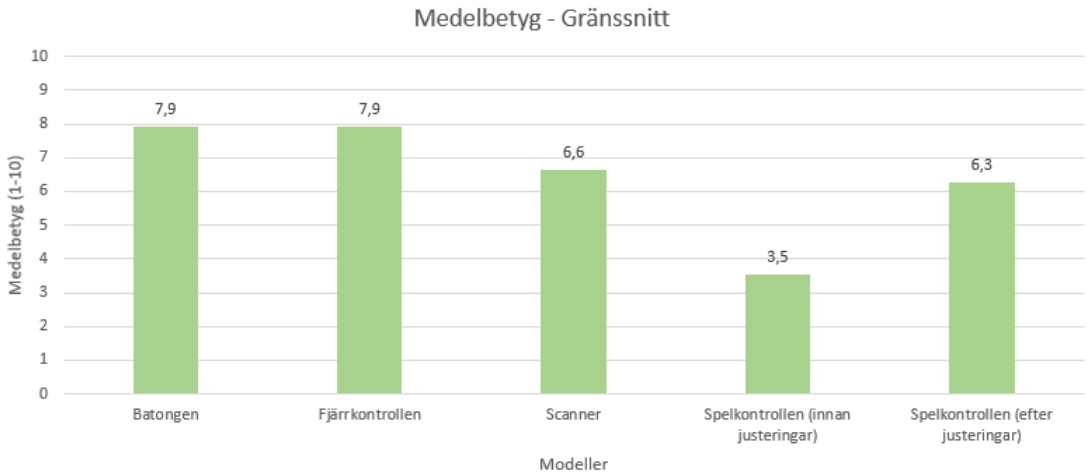
Testguiden och testen strukturerades så att först beskrevs syftet med testen för användaren. Det förklarades att data skulle samlas för ett underlag att välja koncept, men också för att utveckla det valda konceptet. Därefter samlades översiktliga data om testpersonen in som ålder, handstorlek och erfarenhet, för att jämföra testpersonen med den faktiska målgruppen. Det första testet gick ut på att utvärdera gränssnittet och hur väl användaren förstod vad reglagen gjorde. Stegvis under tre omgångar fick testpersonen mer information om konceptets gränssnitt och efter varje förklaring skulle testpersonerna beskriva vad varje reglage hade för funktion och antalet fel som gjordes antecknades. Detta gjordes stegvis eftersom det var viktigt att särskilja på om felen som gjordes berodde på att reglagen var svåra att förstå, då de var tillverkade i skum och inte alltid gick att reglera så som de var tänkta att göra eller om gränssnittet i sig var svårt att förstå. På varje koncept var det funktionerna som skulle identifieras och max antal fel i en omgång kunde alltså bli det totala antalet funktioner för varje koncept, alltså fem för Scannern, sex för Batongen, fem för Spelkontrollen och fem för Fjärrkontrollen. Slutligen fick de avslutande frågor om testet, där de skulle betygsätta upplevelsen baserat på hur lätt eller svårt de tyckte att uppgifterna var.

Efter att ha testat gränssnittet testades den fysiska ergonomin. Detta utfördes genom att förklara ett scenario med uppgifter som testpersonen skulle genomföra där användningen av handmanöverdonet simulerades. Scenariot bestod av att användaren ska gå långsamt samtidigt som den håller inne trelägesdonet. Användaren fick även instruktioner som till exempel “sväng höger” eller “backa”. Detta scenario är baserat på observationer, då användare ska förflytta en AGV manuellt. Efter detta fick användaren betygsätta sin upplevelse och betygssättningen bröts ned till “Hur skulle du beskriva hur formen och storleken känns när du håller modellen?”, “Hur väl når du alla knappar och reglage på modellen?” och “Hur klumpigt eller smidigt tycker du att utförandet av uppgifterna gick?” för att undvika ett helhetsbetyg och för att precisera vilka delar som ska utvecklas.

I testen samlades det in kvalitativ data i form av användarnas svar, tankar och betyg för olika kategorier. Kvantitativa data insamlades i form av att räkna antal fel vid frågor om gränssnittet. Totalt gjorde tio personer testet varav sex var män och fyra var kvinnor, sex personer testade innan uppdateringen och fyra efter. Både män och kvinnor ingick i gruppen av testpersoner, eftersom det fanns skillnader mellan biologiska män och kvinnors antropometriska mått.

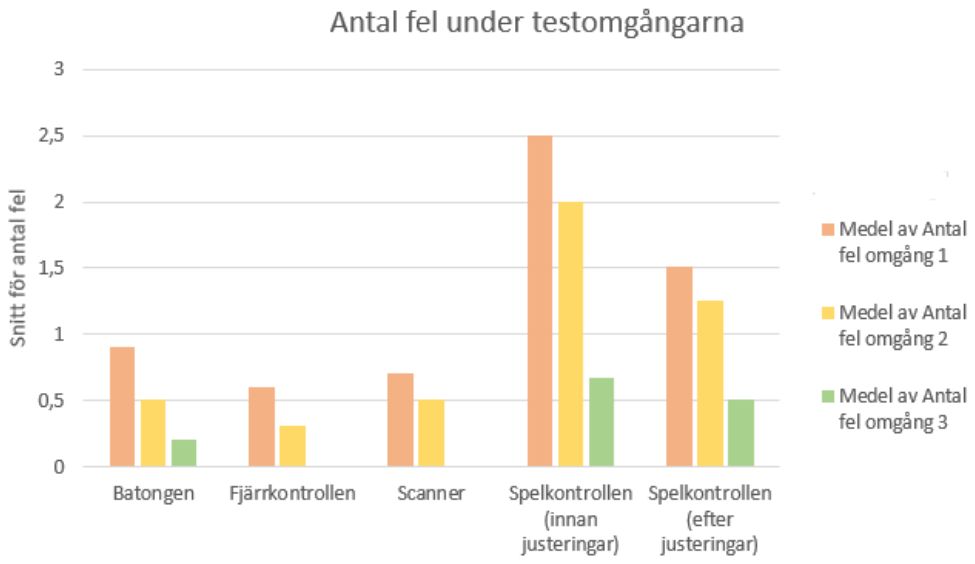
Av de första testen märktes det att Spelkontrollen inte var helt färdig. Den uppdaterades därför inför de följande testen med beskrivningar i text för joystickarna samt att den vänstra även styr hastigheten. Testen blev uppdelade i innan och efter Spelkontrollens uppdatering för tydlighets skull. Från resultatet kunde det utläsas att

det blev skillnad när Spelkontrollen hade uppdaterats, då gränssnittets betyg höjdes efter justeringarna (se figur 17). Batongen och Fjärrkontrollen hade högst betyg vid bedömning av gränssnittet.



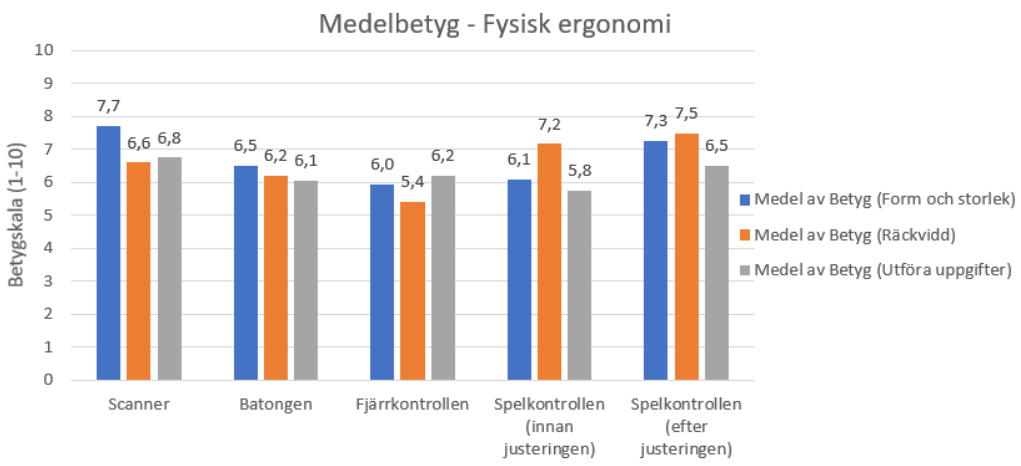
Figur 17. Medelbetyg för gränssnitten.

Antalet fel som gjordes efter justeringarna minskade (se figur 18), trots detta hade Spelkontrollen fortfarande flest fel. Detta berodde på att användarna trodde att de fria knapparna skulle göra något annat. Antalet fel mellan koncepten Scannern, Batongen och Fjärrkontrollen var relativt lika. Mellan de röda och gula staplarna skilde det sig i förståelsen om reglagen då deras funktioner inte var tydliga i skum. Mellan de gula och gröna staplarna skilde det sig i förståelsen om själva gränssnittet eftersom funktionerna förklarades i sista omgången.



Figur 18. Antal fel som gjordes under testen i snitt.

Scannern hade det högsta medelbetyget för form och storlek samt utförande av uppgifter. Spelkontrollen hade högst medelbetyg inom räckvidd både innan och efter justeringen, eftersom justeringen främst påverkade gränssnittet (se figur 19).



Figur 19. Medelbetyg för den fysiska ergonomin.

Sammanfattning av viktiga punkter från resultaten:

- Scannern: Generellt få antal fel, det fel som kunde uppstå var att det var svårt att veta hur hastigheten växlades. Det tycktes att knapparna för framåt och bakåt satt för långt ned, i de flesta fall. Scannern är också det koncept som fick högst betyg av användarna när det kom till storlek och formen, dock utan större marginal.

- Batongen: Svår att hålla med en hand, då blev det väldigt ansträngt, särskilt för kvinnor. Lampornas funktion kunde vara oklara eller så trodde de att det var en annan funktion, till exempel körning framåt eller bakåt.

- Spelkontrollen: Hade svårt att veta vad de två knapparna gjorde, vilken joystick som gjorde vad och att det var svårt att hålla inne trelägesdonet med rätt kraft. Var ansträngt för långfingret med hastighetsreglaget. Efter justeringarna med Spelkontrollen var joysticken lättare att förstå, men de fria knapparna blev fortfarande ett konsekvent fel. Den blev även bekvämare att hålla när hastighetsreglaget togs bort och istället kombinerades ihop med den vänstra joysticken.

- Fjärrkontrollen: Många uppfattade skjutreglaget som väldigt lättförståeligt. Inte så många fel i förståelsen av reglage, men flera tyckte att trelägesdonet kunde suttit längre ner för att ha bekvämare grepp och kunna hålla med den nödvändiga kraften på trelägesdonet.

- Testdeltagarna med mer erfarenhet av AGV:er och manuell körning hade lättare att förstå funktioner och mindre antal fel. De med mindre eller ingen erfarenhet hade svårare att förstå symbolerna för drivlägena, men förstod ändå att det var olika lägen som kunde bytas mellan.

- Flera av deltagarna tyckte att placeringen av trelägesdonet på Batongen, Spelkontrollen och Fjärrkontrollen gjorde att greppet blev obekvämt och det kunde bli svårt att samtidigt nå andra reglage.

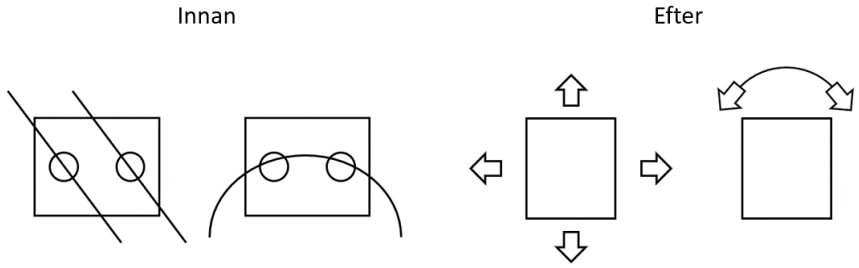
- Några speciella kopplingar mellan handmåtten och betygsättningarna beträffande den fysiska ergonomin kunde inte utläsas. Detta kan bero på att testpersonerna inte bestod av några extremfall eller att det inte var tillräckligt många deltagare.

3.4.2. Workshop

Hos EAMR var fyra personer med mer erfarenhet av att köra AGV:er manuellt med i en workshop där koncepten både testades och sedan diskuterades. En workshop är en aktivitet där användare deltar i diskussioner och övningar för att utforska ett ämne och en workshop kan användas i utvärderande skeden av processen för att definiera problem eller testa idéer (Eikhaug & Gheerawo, 2012; Wikberg Nilsson et al., 2021). Eftersom deltagarna var kunniga inom området, ansågs det vara en bra idé att utnyttja och ta vara på deras kunskap och nya lösningsförslag. Två av deltagarna arbetade som drifttagare, en som programmerare och en var praktikant. Samtliga deltagare var män och tre av dem var högerhänta medan en var vänsterhänt. Ämnet som utforskades var de fyra koncept och modeller som hade utvecklats. Diskussionspunkter som togs upp var hur bra gränssnittet beskrev funktionerna, hur olika reglage skulle vara positionerade och hur bekväm formen var.

Diskussionen började brett, men allt eftersom blev diskussionerna kring de olika koncepten snävare, där olika fördelar, nackdelar och förbättringsförslag togs upp. De viktigaste diskussionspunkterna och förbättringsförslagen som togs upp under workshopen var:

- Det arbetades fram nya symboler som förklarade de olika körlägena för omni på ett tydligare sätt (se figur 20).
- Batongen, spelkontrollen och fjärrkontrollen hade onaturliga positioneringar av reglage, speciellt trelägesdonet.
- Spelkontrollen hade troligen mest potential för körning med precision, dock ifrågasattes det ifall den var tekniskt möjlig att genomföra.
- Samtliga deltagare förstod konceptens funktioner och reglage utan svårigheter, med undantag för de "fria knapparna" på spelkontrollen.
- Med Scannern diskuterades det om att hålla den i sidled, dock hade reglagen behövt anpassas till det.
- För den vänsterhänta personen blev det problematiskt att avläsa symbolerna till skjutreglaget på batongen, då dessa täcktes av personens handflata.



Figur 20. Nya symboler som beskriver de två körlägena för omni som ska sitta bredvid knapparna.

3.5. Konceptval

En möjlig fördel med konceptval baserat på strukturerade metoder är en kundfokuserad produkt då kriterierna är kundbaserade, förklarar Ulrich och Eppinger (2014). När koncept har sållats ner och testats återstår ett mindre antal koncept för att

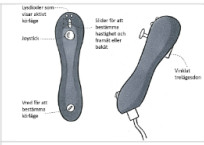
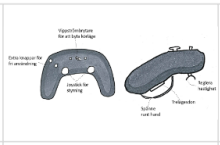
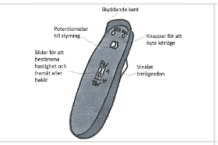
kunna använda en mer noggrann metod som konceptviktningsmatris. Resultaten från genomförda tester med modeller för koncept används som underlag när det slutgiltiga konceptvalet ska göras.

3.5.1. Konceptviktningsmatris

En konceptviktningsmatris är en strukturerad metod för att ta beslutet om vilket eller vilka koncept som ska vidareutvecklas. Genom att rangordna koncepten utifrån hur väl de uppfyller förbestämda kriterier, kan valet göras objektivt snarare än personligt tyckande (Wikberg Nilsson et al., 2021). Kriterier om vad lösningen ska uppfylla utformas och rangordnas och därefter poängsätts koncepten utifrån hur väl koncepten uppfylls. En totalsumma räknas ihop och därefter utförs en reflektion kring resultatet och hur det vinnande konceptet kan förbättras.

Urvalskriterierna i konceptviktningsmatrisen baserades på kravspecifikationen. Efter detta viktades urvalskriterierna internt, men urvalskriterierna och dess viktning diskuterades och fastställdes med företaget. Medelbetyg för förståelse och fysisk ergonomi som hur storlek och form kändes i handen och räckvidd från användartester och workshop sattes in i matrisen. Det diskuterades med EAMR om hur koncepten skulle uppfylla kriterierna, sedan sattes poäng mellan 1–10 för varje koncept. Poängen multiplicerades med viktningen och den viktade poängen summerades för varje koncept (se tabell 9).

Tabell 9. Konceptviktningsmatris.

									
		Koncept 1 "Scannern"		**Koncept 2 "Batongen"**		**Koncept 3 "Spelkontrollen"**		**Koncept 4 "Fjärrkontrollen"**	
Urvalskriterier	**Vikt (1-5)**	**Poäng**	**Viktad Poäng**	**Poäng**	**Viktad Poäng**	**Poäng**	**Viktad Poäng**	**Poäng**	**Viktad Poäng**
Är säker	5	7	35	7	35	7	35	7	35
Är bekväm att hålla i	4	7,7	30,8	6,5	26	7,3	29,2	6	24
Positionering av reglage	4	6,6	26,4	6,2	24,8	7,5	30	5,4	21,6
Är lätt att förstå	3	6,6	19,8	7,9	23,7	6,3	18,9	7,9	23,7
Tål industriell miljö	4	8	32	4	16	2	8	7	28
Lätt montering / demontering	2	4	8	6	12	4	8	6	12
Tillverkningsmöjligheter	4	8	32	6	24	5	20	5	20
Anpassningsbar till flera AGV-typer	4	7	28	7	28	8	32	7	28
SUMMA			212		189,5		181,1		192,3
Fortsätta?		Ja		Nej		Ja		Nej	

För säkerhetskriteriet sattes 7 som poäng på koncepten eftersom inget var klart bäst, alla hade vissa nackdelar. Joystick kunde eventuellt innebära lägre säkerhet jämfört med knappar för hastighetsändring. Kriterierna “Är bekväm att hålla i”, “Positionering av reglage” och "Är lätt att förstå” baserades på användartester. För kriteriet “Tål industriell miljö” så ansågs Scannern vara bäst då formen på konceptet skyddade reglagen, medan Batongen och särskilt Spelkontrollen var mer utsatta då de hade joysticks som stack upp. Fjärrkontrollen hade en liten kant som skyddade reglagen, men trelägesdonet var utsatt.

För kriteriet “Lätt montering / demontering” ansågs Scannern och Spelkontrollen vara svårare då de hade en mer komplex form. För “Tillverkningsmöjligheter” diskuterades det att de koncept som hade reglage likt de på dagens manöverdon skulle vara lättare, då sådana komponenter går att köpa in. Scannern ansågs ha störst möjlighet och batongen näst störst.

Alla koncept utvecklades ifrån att de skulle användas till en omni-AGV, och att reglaget för omni skulle kunna användas till något annat när kontrollen används till en standard- eller differential-AGV. Spelkontrollen skulle också kunna användas till de andra styrsätten om exempelvis den vänstra joysticken bara styr framåt och bakåt och den högra styr rotationen. På så sätt gör det konceptet lite mer anpassat till alla typer av AGV:er då det inte behövs en extra knapp.

Efter poängsättningen analyserades tabellen och det reflekterades kring resultatet. Alla koncept fick liknande poäng, det fanns alltså inte en klar vinnare och förlorare. En viktig parameter att reflektera kring var att koncepten inte heller hade kunnat testas tekniskt, tillsammans med en AGV, vilket gjorde betygsättningen svår och inte lika pålitlig som om konceptet hade kunnat testköras på riktigt. Dock fick Scannern högst poäng och Spelkontrollen minst poäng. Trots att Spelkontrollen fick minst poäng i matrisen, väckte den ett intresse hos företaget som då ville koppla samman en riktig spelkontroll och en AGV för att testa konceptet i verkligheten. Det valdes då att testköra Spelkontrollen med en AGV tillsammans med företaget, då detta var ett koncept som enkelt kunde testas då företaget kunde programmera den till att fungera med en AGV. Det valdes att vidareutveckla Scannern då den fick högst poäng och fick bra feedback från användartester och uppdragsgivare, men det valdes också att gå vidare med Spelkontrollen då detta koncept väckte intresse, samt att den ansågs ha hög potential av uppdragsgivaren, vilket diskuteras mer i nästa stycke.

3.5.2. Testkörning av AGV med en spelkontroll

Med hjälp av handledare på EAMR kunde en omni-AGV testköras med en riktig spelkontroll via ett program (se figur 21). Det programmerades så att det gick att styra som ursprungligen tänkt med konceptet, med riktning på vänster joystick och rotation på höger. Medarbetare på företaget fick testköra och berätta om sin upplevelse jämfört med att köra den befintliga kontrollen. Sju personer på företaget, fem anställda med erfarenhet av att köra och två praktikanter som hade mindre erfarenhet, testkörde spelkontrollen. Alla som testkörde var tekniskt lagda och var bekanta med TV-spel och spelkontroller sedan tidigare. Samtliga personer som testkörde uttryckte att upplevelsen av att styra AGV:n med en spelkontroll var naturlig och intuitiv.

Figur 21. Testkörning av AGV med spelkontroll.

Med joystickarna var det, enligt de som testade, mer intuitivt att köra omni-AGV:n eftersom det var bekant och mindre risk att göra fel. Även formen tycktes vara skönare att hålla i och köra med jämfört med det nuvarande donet. Som ”säkerhet” var det programmerat så att en av de två bakre fjädrade knapparna behövde hållas inne för att köra, dock med endast två lägen, alltså som ett tvålägesdon. Vid släppning av knappen stannade inte AGV:n direkt, utan saktade ner lite tills den stannade istället. Kontrollen fick bra feedback gällande bekvämlighet och intuition vilket bidrog till att konceptet hade potential men det var oklart hur väl det skulle tåla den industriella miljön, vilket blev till en vidareutvecklingsfråga.

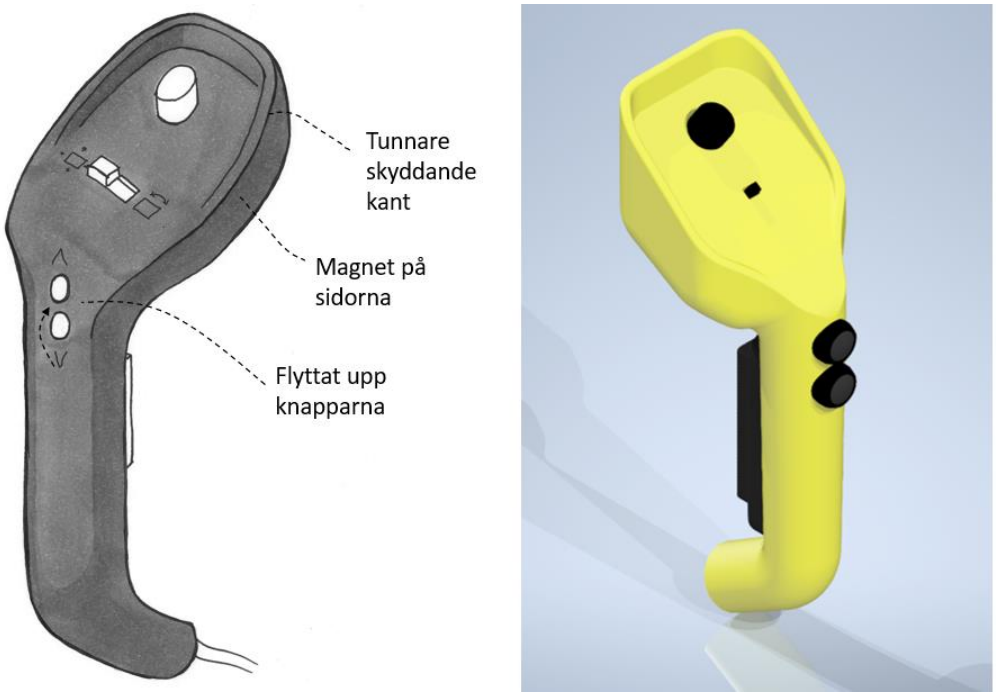
3.6. Vidareutveckling av koncepten

Koncepten utvecklades vidare i både form och gränssnitt baserat på insamlade data och diskussion. Eftersom Scannern fick högst poäng i matrisen, men Spelkontrollen fick överlag positiva reaktioner för att den dels kunde testas bestämdes det att fortsätta arbeta med båda. Med hjälp av konceptviktingsmatrisen identifierades konceptens styrkor och svagheter, vilket nyttjades under konceptutvecklingen, då styrkor från ett koncept kunde appliceras på ett annat. Utöver konceptviktingsmatrisen, användes lärdomarna från användartesterna för att förbättra koncepten. Båda koncepten arbetades vidare med för att förbättra och det gjordes förbättringar och justeringar

Ulrich och Eppinger (2014) beskriver att det letas efter förändringar eller kombinationer i syfte att förbättra koncepten när de har viktats. Kreativa förbättringar och vidareutvecklingar sker i samband med konceptval då fördelar och nackdelar upptäcks för vissa av konceptens egenskaper. Det kan även vara viktigt att tänka över vad skillnaderna i konceptens poäng betyder. Är det små skillnader har det generellt liten betydelse, om poängsystemet är noggrant, fortsätter Ulrich och Eppinger (2014).

3.6.1. Vidareutveckling - Scanner

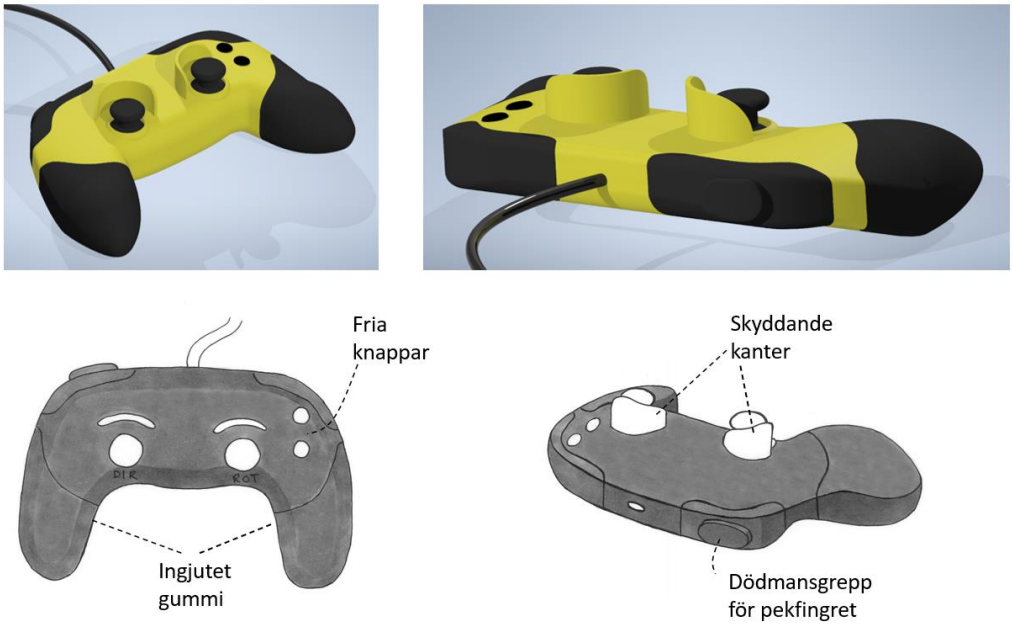
På Scannern var det främst positioneringen av knapparna för körning framåt och bakåt som behövde justeras. Många av de som hade testat tyckte att knapparna satt lite för långt ner i nuläget och hade behövt sitta längre upp för att kunna nå bekvämt och inte behöva anstränga sig. Hastighetsknapparna flyttades alltså mer uppåt för att det inte ska vara ansträngt att hålla inne trelägesdonet samtidigt (se figur 22). Den övre kanten gjordes smalare för att göra det mindre trångt och lättare att komma åt reglagen på ovansidan, men fortfarande skydda om det skulle tappas. När CAD-modellen skapades hade komponenterna beställts, för att bygga en funktionsmodell, därför utgicks det från de måtten vilket ändrade lite på placeringen av reglagen. Trelägesdonet fick flyttas lite längre ner på handtaget för att ha avståndet till körknapparna. En trådlös lösning valdes bort vid vidareutvecklandet, eftersom det skulle medföra mer säkerhetsrisker. Istället valdes det att koppla ihop manöverdonet och AGV:n med en tre meter lång spiralkabel. En spiralkabel kan både te sig som en kortare och längre kabel, om den dras ut, vilket är fördelaktigt då det inte är önskvärt att kabeln släpar i marken. Detta gäller även för Spelkontrollen.



Figur 22. Vidareutvecklat koncept – Scanner.

3.6.2. Vidareutveckling - Spelkontroll

Spelkontrollen modifierades med väggar ovanför joystickarna tänkta att ta emot stötar och liknande och även delvis skydda knapparna på framsidan då väggarna gick högre (se figur 23). I och med att väggar lades till där symbolerna ursprungligen fanns, flyttades dessa till under respektive joystick istället. Trelägesdonet flyttades för att det inte skulle vara ansträngande och obekvämt att hålla inne det och samtidigt styra med joystick. Det flyttades till ovansidan där L1-knappen på en Playstationkontroll vanligtvis sitter, för att ha ett bättre tryck men inte obekvämt eller ansträngt att samtidigt styra med kontrollen. För att göra konceptet mer tåligt för industrimiljö lades det till gummidetaljer på ändarna där händerna håller i och de övre hörnen tänkta att skydda ifall kontrollen tappas. De extra/fria knapparna ändrades till att sitta på höger sida för att inte allt ska nås med vänster hand och bli ansträngt. Det ändrades även så att de istället sitter rakt över- och under varandra istället för diagonalt. Formen och positioneringen på skydden ändrades vid CAD-modelleringen av konceptet, för att det ansågs att den nya formen skulle skydda bättre, samtidigt som skydden inte skulle vara i vägen för tummarna vid användandet av joystickarna.



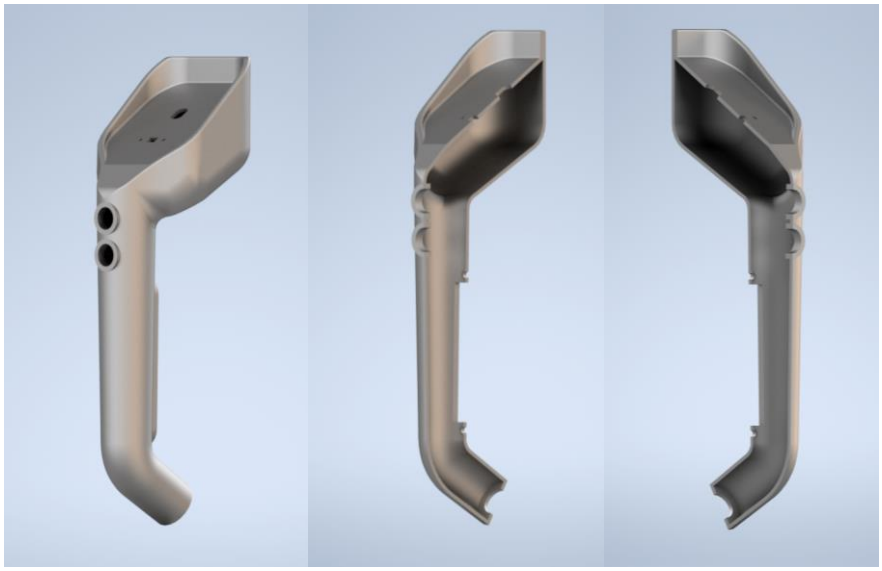
Figur 23. Vidareutvecklat koncept – Spelkontroll.

3.6.3. Prototyp

Tillsammans med företaget bestämdes det att ta fram testbara prototyper för båda koncepten efter att de uppdaterats, då det fanns fördelar hos båda och bara spelkontrollen hade testats. Det ansågs vara viktigt att testköra båda koncepten för att göra en bra utvärdering och ett välargumenterat, slutligt konceptval. Eftersom en spelkontroll köpts in, kunde förändringarna modifieras fysiskt direkt på prototypen (se figur 24).

Figur 24. Prototyp av modifierad Spelkontroll.

Dock behövdes en ny prototyp för Scannern skapas och det bestämdes att tillverka ett skal och köpa komponenter för att sedan montera ihop och testköra. Scannerns skal modellerades i CAD med Autodesk Inventor och skrevs sedan ut med hjälp av företaget. Mått och placering av inköpta komponenter mättes ut på modellen för att veta vart de skulle sitta inför utskrivning av skalet (se figur 25 och 26).



Figur 25. Skal till Scannern.

Figur 26. En första utskriven prototyp.

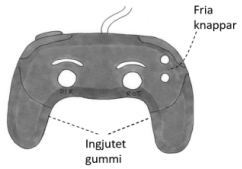
3.7. Slutligt konceptval

Scannern och Spelkontrollen utvärderades en sista gång genom viktningsmatrisen och en sammanfattning av alla fördelar, nackdelar och intressanta punkter, för att sedan kunna välja ett slutgiltigt koncept (se tabell 10).

3.7.1. Slutlig konceptviktning

Efter vidareutvecklingen bör de utvecklade koncepten utvärderas igen i konceptviktingsmatrisen, eftersom det blir tydligare hur förbättringarna har påverkat koncepten. Det är också är viktigt att reflektera över resultatet efter processen (Ulrich & Eppinger, 2014).

Tabell 10. Konceptviktningsmatris för nya Scannern och Spelkontrollen.

					
		Koncept 1 "Scannern" - NY		**Koncept 3 "Spelkontrollen" - NY**	
Urvalskriterier	**Vikt (1-5)**	**Poäng**	**Viktad Poäng**	**Poäng**	**Viktad Poäng**
Är säker	5	7	35	7	35
Är bekväm att hålla i	4	7,7	30,8	7,3	29,2
Positionering av reglage	4	6,6	26,4	8	32
Är lätt att förstå	3	7	21	7	21
Tål industriell miljö	4	8,5	34	8	32
Lätt montering / demontering	2	4	8	4	8
Tillverkningsmöjligheter	4	8	32	5	20
Anpassningsbar till flera AGV-typer	4	7	28	8	32
SUMMA			215,2		209,2

Förändringarna under vidareutvecklingen påverkade poängen i konceptviktingsmatrisen på olika sätt. För Scannern förbättrades positioneringen av reglagen, då knapparna flyttades enligt feedbacken från användartesterna samt att den skyddande väggen blivit tunnare, vilket också bidrar till att det blir lättare att få plats med fingrarna. En magnet lades till på sidan av Scannern, vilket påverkade kategorin ”Tål industriell miljö”, då magneten bidrar till att handmanöverdonet kan sitta fast säkert på AGV:n när den inte används. Förbättringar genomfördes även för Spelkontrollen, bland annat att trelägesdonet och de fria knapparna flyttades, vilket föreslogs av användare under användartester och workshop. Spelkontrollen fick även högre poäng i kategorin ”Är lätt att förstå”, eftersom användare uttryckte att Spelkontrollen var ”naturlig” och ”lätt att köra” när konceptet testades med en riktig AGV, istället för simuleringen med skissmodellen. Utöver dessa förändringar, lades det fokus på att göra Spelkontrollen mer tålig i den industriella miljön.

Efter att de utvecklade koncepten betygsatts, diskuterades resultatet. Scannern fick 215,2 poäng och Spelkontrollen fick 209,2 poäng. Poängskillnaden mellan koncepten är inte stor och därför ansågs inte konceptviktingsmatrisen vara tillräcklig för ett slutligt konceptval, utan det valdes att även genomföra en PNI-analys.

3.7.2. PNI – analys

Ett ytterligare stöd vid beslutsfattning kan vara en fördelar/nackdelar-lista (Johannesson et al., 2004). PNI (Positivt, Negativt och Intressant) är en metod där fördelar, nackdelar och intressanta aspekter från koncepten listas, för att jämföra koncepten (Österlin, 2007). Österlin beskriver det som en relativt enkel metod som baseras på diskussioner om koncepten. Wikberg Nilsson et al. (2021) menar att kravspecifikationen kan användas som grund för att ta beslut. Genom att ha diskussioner internt, men också med företaget, kan listor med för- och nackdelar skapas som grundar sig i kravspecifikationen.

PNI-analysen baserades på diskussioner med företaget utifrån koncepten och kravspecifikationen, samt analyser av tester och workshopen för att sammanställa alla fördelar och nackdelar för varje koncept och ha grund till att slutligen kunna välja ett koncept (se tabell 11).

Tabell 11. PNI-analys.

Koncept	Positivt	Negativt	Intressant
Scannern	• Bakåtkompatibel • Bekanta reglage och funktioner • Bekvämare än nuvarande • Komponenterna skyddas av formen	• Sämre räckvidd än spelkontrollen • Inte kunnat testa om den fungerar bra i verkligheten med en AGV	• Switch – tydlig feedback
Spelkontrollen	• Bekvämare än nuvarande • Lättare att kontrollera olika AGV:er • Naturlig att köra med • Gummi som skyddar • Skydd för joysticks	• Dyrare komponenter • Mer komplex programmering • Onödigt många leder på joystickarna • Mindre smidigt med magnet p.g.a. formen • Trelägesdon är inte skyddat	• Formen indikerar hur den ska användas • Extra knappar

3.7.3. Sammanvägning och beslut

Efter att ha sammanvägt resultatet från de två utvärderingsmetoderna, togs ett beslut om vilket koncept som ska arbetas vidare med detaljkonstruktion. Båda kontrollerna fick bra betyg från användarna när det kom till den fysiska ergonomin i de tidiga användartesterna. Dock har koncepten förändrats lite sen dess, men grundtanken är fortfarande den samma. Spelkontrollen upplevdes naturlig och intuitiv vid testkörningen av AGV:n, trots att det fanns fria, oprogrammerade knappar. Utifrån de tidiga användartesterna och workshopen, tycktes Scannern också vara tydlig. Det som skiljer koncepten mer åt är att Spelkontrollen kräver dyrare och mer komplicerade komponenter än Scannern. Scannern är också bakåtkompatibel, vilket föredras av företaget. Dock är Spelkontrollen kanske lite mer lämpad för alla typer av AGV:er, bara att det blir onödig att joystickarna är fria i alla leder. Scannern har en switch som endast används vid Omni-styrda AGV:er och blir därför onödig för Standard- och differentialstyrda AGV:er. Denna knapp kan dock användas till något annat i dessa scenarion. När det kommer till tåligheten av koncepten, så är Scannerns reglage mest skyddade. Scannern har också en form som lättare tillåter en magnetlösning jämfört med spelkontrollen, för att sätta fast manöverdonet på AGV:n, vilket också föredras av företaget och kunder.

Efter att ha övervägt konceptens olika för- och nackdelar och reflekterat kring konceptviktningsmatrisen och PNI-tabellen, valdes det att gå vidare med Scannern. Scannern har starka fördelar som att den är bakåtkompatibel och billigare än Spelkontrollen, men den är dock inte helt optimerad, vilket undersöks vidare i detaljkonstruktionskapitlet.

3.8. Detaljdesign

Arbetet med fysisk modell för Scannern var en iterativ process där den gick igenom flera versioner och uppdaterades i CAD efter varje. En del av iterationen berodde på att det behövde justeras så att modellen skulle bland annat gå att sätta ihop och vara stabil. Den första CAD-modellen skrevs ut i 3D-skrivare med hjälp av EAMR för att testa hur komponenter skulle passa och om någonting behövde ändras innan plastdetaljer lades till. Eftersom delningslinjen gick rakt igenom modellen behövde geometrin där komponenterna skulle fästas ändras så att de fästs på en av de två halvorna, och att halvorna sedan sätts samman. Skruvdetaljer och guidekant lades till

för att halvorna skulle kunna hållas på plats. På den andra versionen testades bland annat passformen mellan halvorna och att sätta komponenterna i respektive hål för att se om det passade. Senare fick mer material läggas till samt även hål för muttrar och stöd till trelägesdonet. Den fjärde versionen av de utskrivna modellerna ansågs vara tillräckligt bra för att kunna montera och koppla komponenterna.

3.8.1. Materialval

Konceptet som har tagits fram består av ett ihåligt skal, med förändringar i geometrin och ett flertal komponenter som ska kopplas samman invändigt. För att välja ett lämpligt material för konceptet måste olika aspekter som till exempel fysiska egenskaper, mekaniska egenskaper, fogningsmetoder, materialets beroende av miljö, tillgänglighet och leverantörer, miljöaspekter som återvinningsbarhet och giftfritt material, tas i åtanke (Johansson et al., 2004).

Viktiga aspekter för det framtagna konceptet (se kapitel 2.6. Kravspecifikation) är att konceptet:

- Har låg vikt, ska vara lätt för användaren att bära
- Möjliggör ett bra grepp för användaren
- Tål den industriella miljön
- Har låg inköpskostnad
- Är återvinningsbart
- Är demonterbart för reparationer
- Är lämpligt för en tillverkningsgrad av minst 100 produkter/år

Det är inte alltid möjligt att hitta ett material som tillåter att alla aspekter för konceptet uppfylls fullt ut, men då får övervägning av olika alternativ och kompromissar göras. Ett material som har undersöks är polyamid (nylon) eftersom den befintliga produkten är tillverkad av polyamid och Noryl. Polyamid används också i Euchners handmanöverdon tillsammans med kloropengummi och termoplastisk elastomerer (se kapitel 2.2.2. Marknadsanalys). Utöver Euchners handmanöverdon hittades det inte materialdata för de andra produkterna i benchmarken.

Eftersom polyamid används i både den befintliga produkten, och i en av produkterna i benchmarken, ansågs materialet vara intressant att undersöka. Det är intressant att undersöka eftersom produkterna som materialet används i är ämnade åt att användas i industrier och tuffa miljöer. Den befintliga produkten har även kunnat testas och både företag och kund menar att produkten tål att åka i marken en del.

Polyamid (PA) är en termoplast, vilka till skillnad från härdplaster, kan smältas ner och återvinnas (Johansson et al., 2004). Polyamider har god nötningshållfasthet och seghet, samt goda mekaniska och kemiska egenskaper (Rask & Sunnersjö, 1998). Dock kan fukt påverka materialets egenskaper, men tillsatser kan förbättra detta. Tillsatser kan även förbättra vissa andra egenskaper (Klason & Kubát, 2001).

3.8.2. Design for manufacturing

Vid tillverkning av termoplastdetaljer är formsprutning en vanlig och snabb metod där det går att tillverka komplexa former. Verktygen är dock dyra, vilket bidrar till att detaljerna bör produceras i större serier för att investeringen ska vara lönsam (Johansson et al., 2004). En stor fördel med formsprutning är att det är en vanlig metod och finns många leverantörer.

Vissa termoplaster, som polyamider, kan gjutas. Kalpakjian et al. (2023) menar också att vanligtvis gjuts detaljer som komponenter som kommer utsättas för slitage. Gjutformar har en relativt låg kostnad och kostar mindre än verktyg till formsprutning och passar sig bättre till en produktion där ett mindre antal detaljer produceras (se tabell 12).

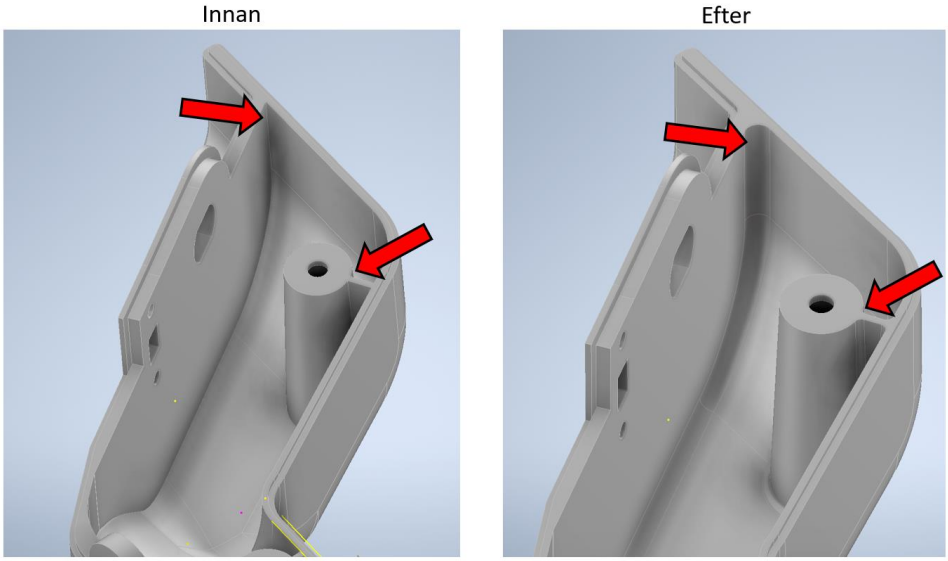
Tabell 12. Jämförelse av produktionsegenskaper mellan formsprutning och gjutning (Kalpakjian et al., 2023).

Metod	Utrustning och verktygs-kostnader	Produktionstakt	Kvantitet för lönsamhet
Formsprutning	VH	VH	VH
Gjutning	M-L	M-L	L

VH = väldigt hög; H = hög; M = mellan; L = låg; VL = väldigt låg.

Eftersom produktionen av produkten inte rör sig om massproduktion, utan cirka 100 detaljer/år, så anses gjutning vara den lämpligaste tillverkningsmetoden. I framtida arbete krävs det att undersöka vilken leverantör kan som tillverka detaljerna till bäst pris. För både formsprutning och gjutning, underlättar vissa riktlinjer för produktion av plastdetaljer. Kalpakjian et al. (2023) skriver att ha en släppningsvinkel för att detaljen lättare ska släppa formen. Genom att undvika skarpa hörn och istället ha radier i hörn och kanter kan missbildningar som förvrängningar undvikas. Det rekommenderas även att generellt sett inte ha för stora variationer i tjockleken, då detta kan bidra till sjunkmärken.

Det lades till mer radier i modellen för att underlätta tillverkningen (se figur 27). Dock varierar tjockleken stundtals, då designen krävde det. Det krävdes förstärkning för att modellen inte skulle gå sönder, samt lite extra stöd på halvan som inte har några monterade komponenter. Det finns ytor som inte har någon släppningsvinkel, men i dessa fall kräver konstruktionen av produkten detta, då vissa ytor behöver vara raka för att montera komponenter. Alla ytor som inte kräver raka ytor, har en släppningsvinkel.



Figur 27. Jämförelse av innan och efter förändringar av radier.

3.8.3. Design for assembly och design for disassembly

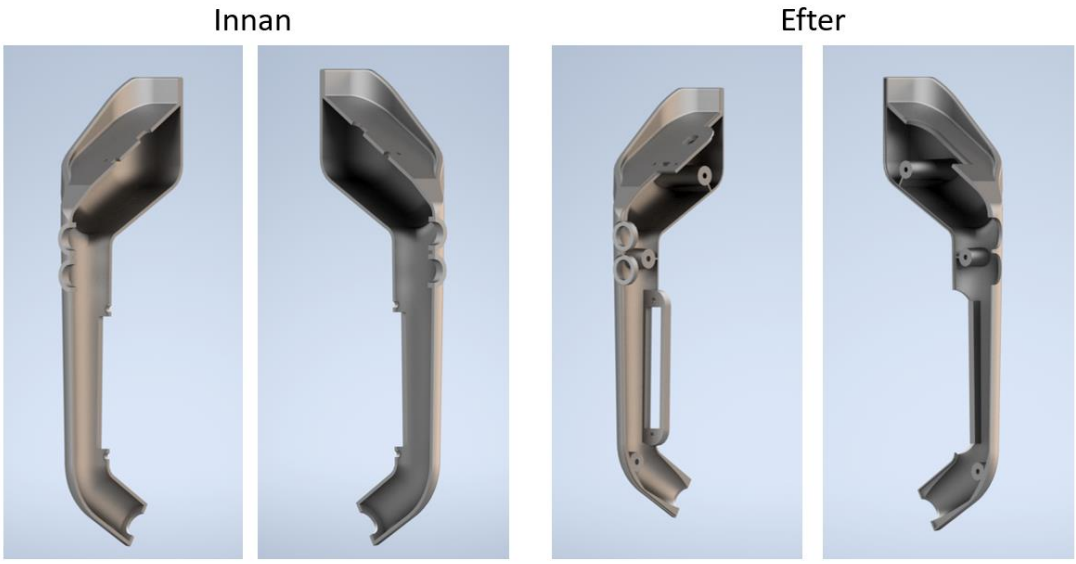
DFA (Design For Assembly) går ut på att effektivisera monteringen av en produkt för att underlätta för montörer och minimera kostnader. Otto och Wood (2001) skriver att det mest grundläggande tillvägagångssättet att arbeta med DFA är att följa DFA-riktlinjer. Otto och Wood (2001) har samlat riktlinjer för DFA:

- Minimera antalet delar.
- Gör delarna tydliga i hur de ska monteras.
- Minimera antalet varianter av delar (exempelvis olika typer av skruvar).
- Utveckla matchningsfunktioner för enkel ihopsättning.
- Djupa skruv- och mutterhål bör vara tillräckligt vida för att verktyg ska få plats. Inga kanaler är bäst.

Totalt sett består produkten av sju delar; två egenkonstruerade detaljhalvor i plast och köpta komponenter, vilka är två knappar, en potentiometer, en switch och ett trelägesdon. Trelägesdonet monteras med två M3-skruvar och switchen med två M3 skruvar och muttrar. Potentiometern monteras med en M10-lågmutter och knapparna med en M12-lågmutter vardera. För att undvika mer variation av skruv och mutter, valdes det att använda sig av M3 skruv och mutter för att sätta ihop de två detaljhalvorna. Anledningen till att det valdes att fästa halvorna med en skruv och mutter istället för bara en skruv som skruvas i plasten på andra sidan, är för att förlänga livslängden på produkten. Företaget har ett hållbarhetsmål där de vill förlänga livslängden på deras produkter genom service och reparation. Genom att ha en mutter på andra sidan istället för att skruva direkt i plasten, förstörs inte plasten och skruvarna kan tas bort och skruvas dit flera gånger. Detta påverkar dock en annan DFA-riktlinje; ”Djupa skruv- och mutterhål bör vara tillräckligt vida för att verktyg ska få plats. Inga kanaler är bäst”, då lösningen får relativt djupa kanaler. Dock har plastdetaljerna kanter där detaljerna ska mötas, delvis för att underlätta att detaljerna hamnar på rätt plats när de ska skruvas ihop, men också för stabilitet.

Första modellen hade en rak delningslinjelinje, symmetrisk för modellen. För att underlätta för montering gjordes modellen om så att alla komponenter monteras på den ena halvan (se figur 28).

Utöver att förenkla montering, önskas också förenklad demontering. DFD (Design For Disassembly) är en del av DFE (Design For Environment), då om en produkt är demonterbar ökar förutsättningarna för återvinning (Johansson et al., 2004). En annan anledning till att kunna demontera produkten är för att kunna reparera produkten eller byta ut komponenter, vilket i sin tur ökar livslängden av produkten. Service av produkter och möjliggöra reparation är en del av företagets hållbarhetsmål. För att underlätta demontering, monteras produkten med skruvar, istället för exempelvis lim eller svetsning.



Figur 28. Jämförelse innan och efter DFA-arbete.

3.8.4. Släpptest i FEM

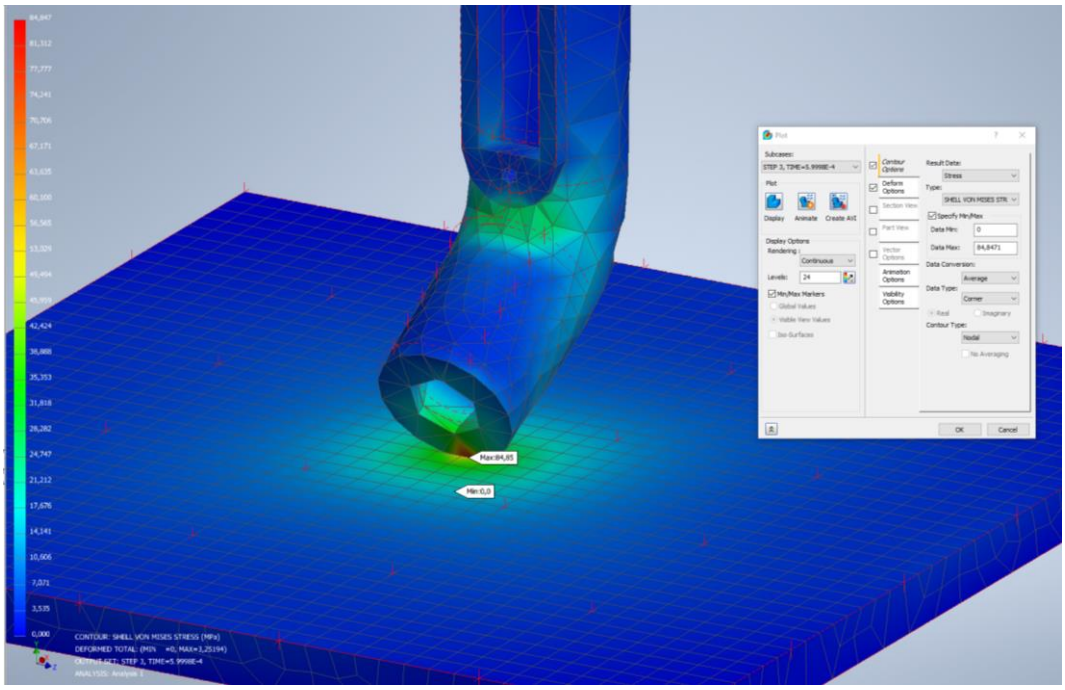
CAE – Computer Aided Engineering, kan användas för att stötta processen med beräkningar och simuleringar i datorn (Johansson et al., 2004). Ett krav i kravspecifikationen var att konceptet ska kunna klara av en tapphöjd på 1,5 meter, då en vanligt förkommande situation var att handmanöverdonet tappas i golvet. Genom att använda sig av FEM (Finita Elementmetoden) kan beräkningar och simuleringar göras i datorn för att se hur konceptet ter sig i en sådan situation och utvärdera ifall produkten kommer klara av fallet eller om förändringar behöver utföras. Analysen av släpptest gjordes i Nastran till Autodesk Inventor.

Fallet som skulle analyseras var att manöverdonet släpps eller tappas och faller rakt mot marken och slår i kanten på botten, där sladden ska kopplas in. Även om sladden, i verkligheten, kommer göra så att manöverdonet inte slår i bottenkanten om det faller rakt ner testades ändå fallet för att se hur hela kontrollen skulle påverkas från den höjden. CAD-modellen av Scannern fick modifieras för att underlätta att få fram en simulering i programmet. Modellen sattes ihop till att vara en del och några detaljer justerades. Bland annat fick en mindre radie på framsidan, några ytor och några av plastdetaljerna tas bort för att göra modellen lite mindre komplex och för att få meshen att fungera för analysen. Det fick testas flera gånger med två metoder i programmet att göra släpptest för att få en fungerande analys. En assembly gjordes i Inventor med Scanner-modellen och en kvadratisk del som skulle representera golvet. I Nastran tillsattes respektive material, nylon 6/6 komposit på Scannern och betong på golv-delen. För analysen placeras föremålet nära nedslagsområdet och sedan beräknas hastigheten för ett fall från en viss höjd och tiden det tar att falla det korta avståndet med den beräknade hastigheten. I analysen beräknades hastigheten efter att ha fallit från 1,5 meters höjd och sedan dividerades avståndet med hastigheten för att få tiden det tar att falla det korta avståndet. Hastigheten beräknades med läges- och rörelseenergi: $V = \sqrt{2 * g * h}$ för att använda som ursprungshastighet och tiden beräknades med $T = d/V$ för att veta vilket tidssteg som skulle användas. Där h = 1,5 m och d = 0,001407 m och tidssteget sätts till precis under den falltiden som beräknas utifrån hastigheten och avståndet.

h = 1,5 m
d = 0,001407 m
g = 9,81 m/s^2

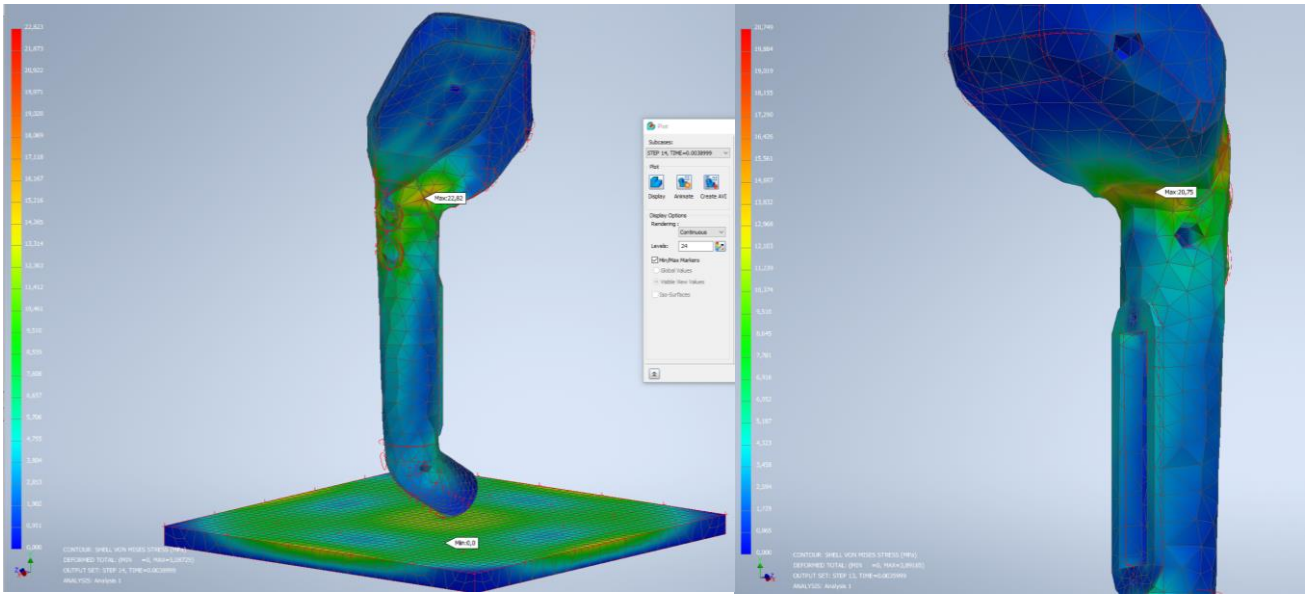
$V = \sqrt{2 * g * h} = \sqrt{2 * 9{,}81 * 1{,}5} \approx 5{,}4$ m/s
$T = d/V = 0{,}001407/5{,}4 \approx 0{,}00026$ s

Resultatet av analysen visade vart spänningar uppstod och deras spridning efter nedslaget. I resultatet gick det även att se hur kontrollen påverkades efter stöten och hur den elastiska deformationen förändrades över tiden. Den största spänningen gick att avläsa då manöverdonet precis träffat golvet. Spänningen i botten blev störst, ca 85 Megapascal (MPa), vilket är ett aningen högt värde. Dock är detta scenario inte riktigt verklighetstroget och därmed inte fullständigt relevant på grund av att den kanten inte kommer ta emot stöten i verkligheten då sladden är inkopplad (figur 29).



Figur 29. Tidpunkten då modellen slår i marken.

Det gick dock att avläsa spänningar längre upp i modellen, ca 23 MPa på framsidan och ca 21 MPa på baksidan (figur 30). Dessa antogs vara relativt rimliga men kan komma att få andra värden i verkliga fall när donet inte slår i bottenkanten.

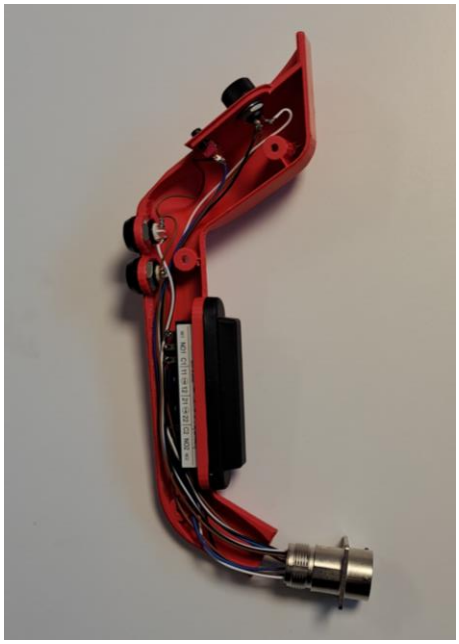


Figur 30. Spänningar i manöverdonet.

Från Inventors materialbibliotek fanns data om materialen, sträckgräns för plasten hämtades för att kunna jämföra med analysens resultat. Sträckgränsen för nylon 6/6 i Inventor är 82,75 MPa och bortsett från spänningen i bottenkanten hamnar inte någon av de andra spänningarna nära gränsen, alltså kommer modellen klara sig i just det här fallet.

3.8.5. Funktionsprototyp

Som tidigare nämnt, kan prototyper vara till hjälp för att hitta brister med konceptet och genom att testa funktionsprotyper kan koncepten utvärderas (Wikberg Nilsson et al., 2021). En funktionsprotyp byggdes genom att modellera skalet i CAD och 3D-printa ut denna, beställa komponenter och koppla ihop komponenterna med hjälp av personal på företaget (se figur 31). Därefter kunde prototypen kopplas in i en AGV och testköras för utvärdering med sex deltagare från EAMR. Utifrån testkörningen kunde slutsatser dras. Det gick bra att öka hastigheten bakåt, däremot när hastigheten skulle ökas framåt hamnade tummen i vägen, vilket bidrog till att detta moment upplevdes lite krångligt. Handtaget är smalare och rundare än på det befintliga donet, vilket uppskattades av användare med mindre händer, men användare med större hade önskat ett lite tjockare handtag. Trelägesdonet upplevdes enklare att hålla in på ett bekvämt sätt. Även om dessa tester var enklare och utfördes med endast sex deltagare, återfanns viktig feedback som nämndes ovan. Med tanke på det få antalet tester, hade fler tester behövts göras för att styrka de funna mönstren innan ytterligare vidareutveckling.



Figur 31. Prototyp med komponenter installerade.

3.9. Resultatredovisning

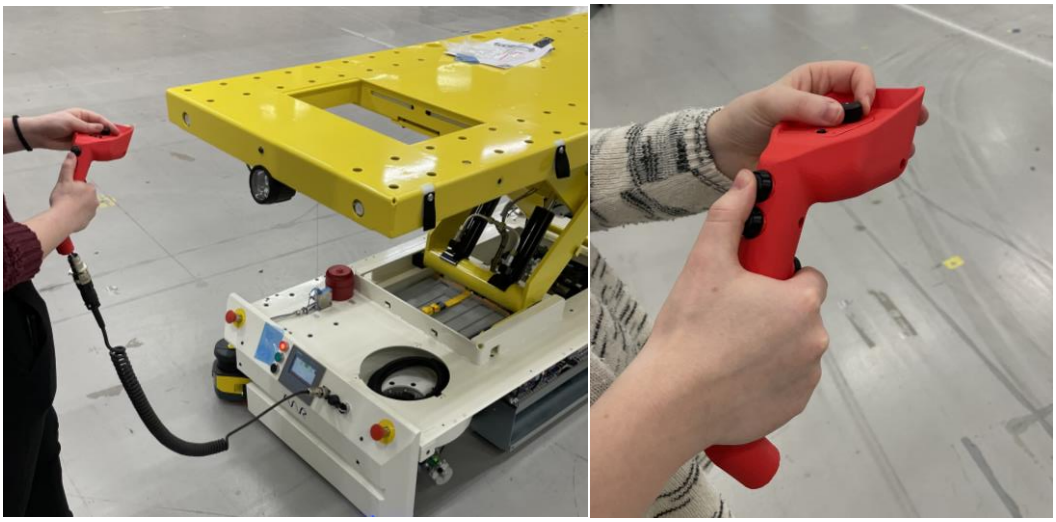
Det slutgiltiga konceptet blev ett utvecklat koncept där Scannern låg till grund, och består av två plastdetaljer samt köpta komponenter (se figur 32 och 33). Plastdetaljerna är själva skalet i två halvor, där komponenterna monteras på ena halvan innan de skruvas ihop. Bland komponenterna till konceptet finns ett trelägesdon som säkerhetskomponent och hålls inne för att ge användaren manuell kontroll. Två knappar finns för körning framåt respektive bakåt och växling av hastighet sker genom att trycka flera gånger. Båda knapparna finns på framsidan tillsammans med pilar för att tydliggöra vilken knapp som gör vad. Knapparna placerades så att de låg nära varandra för att indikera att de har samma funktioner (se kapitel 2.1.1. Ergonomi). För styrning finns det en potentiometer på ovansidan för att lätt kunna se dess läge och vart nolläget är. Växling av körläge görs med en switch under potentiometern som byter mellan standardsvängning och parallellpassage. Switchen har symboler för de två körlägena vid som visar vilket läge som är aktivt, så att användaren får feedback. På grund av skruvarna till switchens placering fick symbolerna placeras snett under switchens ändar, helst hade de för tydlighets skull placerats i switchens ändar där skruvarna sitter.

Eftersom switchen växlar körläge placerades den i närhet med potentiometern då potentiometern kommer ändra funktion med lägena, antingen styra i sidled med parallellpassage eller svänga i standardläge. Att ha lägesbyte som ett eget reglage gör även att det inte behöver finnas flera funktioner på ett och samma reglage, vilket det nuvarande manöverdonet har med dubbeltryck på körknapparna för att byta läge. Därmed är det inte något som behöver läggas på minnet, utan det finns ett reglage på manöverdonet för det, märkt med symboler.

Manöverdonets ovansida är vinklat för att slippa behöva vrida eller vinkla hela för att se information som aktuellt körläge eller potentiometerns läge. Ovansidan har även en kant som går upp för att skydda komponenterna vid eventuella stötar eller om manöverdonet tappas i golvet. I botten, där kontakten kopplas in, finns det en svängning för att förhindra skavning mot sladden och kontakten så att manöverdonet

kan hållas mot kroppen. Handtaget har ett runt tvärsnitt med 32 mm i diameter i botten och 30 mm i toppen.

Figur 32. CAD-modell för det slutliga konceptet.

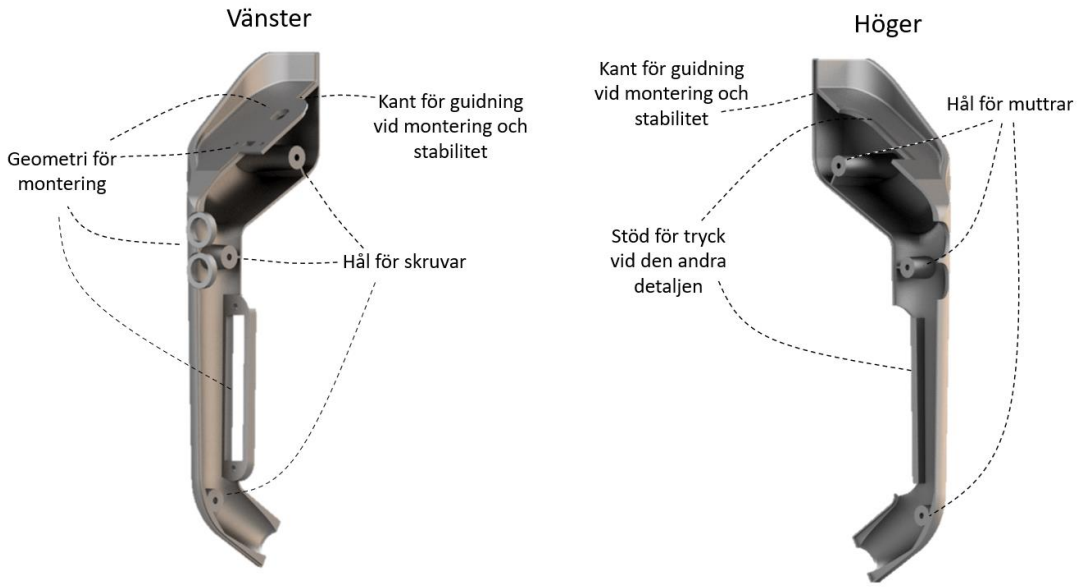


Figur 33. Prototyp i naturliga miljön.

3.9.1. Egenkonstruerade plastdetaljer

För konceptet har två plastdetaljer konstruerats, en vänsterhalva och en högerhalva till skalet (se figur 34). Alla komponenter monteras på vänsterhalvan, för att underlätta montering och har därför utbyggd geometri som komponenterna kan fästas på. Båda delarna har hål för infästning där vänstersidan har hål för skruvar och högersidan har hål för muttrar. Båda sidor har också kanter för att guida montören när delarna ska sättas ihop, men också för att bidra med extra stabilitet. Runt ytan vid hålen för potentiometern och switchen är kanten 2 mm bred istället för 1 mm, vilket den är runt om annars. Det valdes att göra kanten bredare för att högerhalvan skulle ta upp mer krafter när kraft appliceras på vänsterhalvan när komponenterna används. Med samma

resonemang, har även högerhalvan ”en klack” vid hålet för trelägesdonet, som tar upp kraften som appliceras på trelägesdonet.



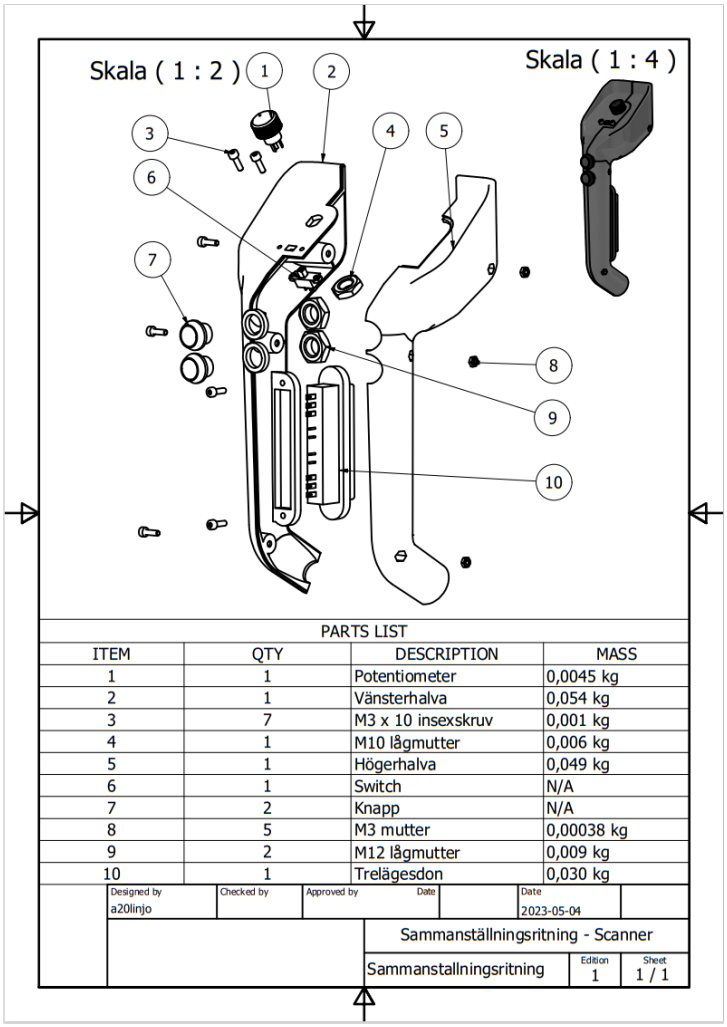
Figur 34. Beskrivande bild av plastdetaljernas egenskaper.

3.9.2. Köpta komponenter

Utöver plastdetaljerna som konstrueras, används också köpta komponenter till konceptet. Till varje produkt köps två tryckknappar, en potentiometer, en switch och ett trelägesdon. Dessa komponenter köptes då det var de som kunde levereras snabbt till prototypbygge. Trelägesdonet blev aningen större än originaldelen, vilket påverkade att handtaget behövde förlängas för att alla komponenter skulle få plats och att greppet skulle bidra till en god räckvidd. Delarna är CE-märkta enligt RoHs 2. Det har inte undersökts hur väl komponenterna kan tas isär för återvinning, men detta skulle kunna bli aktuellt i ett framtida arbete. Det viktigaste vid inköpet var som tidigare nämnt att få komponenterna i tid för att inte fördröja prototypbygget. Komponenterna och deras funktioner är även bekanta för användarna, då det är likt hur det nuvarande manöverdonet fungerar.

3.9.3. Sammanställningsritning

Enligt Johansson et al. (2004) är ritningen ett kommunikationsmedel och en sammanställningsritning förklarar vilka och hur många detaljer som ingår i produkten, samt hur de ska placeras och monteras. I sammanställningsritningen ingår en stycklista som beskriver tydligt i en tabell vilken detalj som är vilken, hur många det finns i produkten och en beskrivning av varje detalj (se figur 35). Information om detaljernas massa kan hämtas från parterna, vilket användes för att räkna ihop produktens totala massa. Knapparna och switchens massa fanns inte tillgänglig i databladen med teknisk information, men utan deras vikter blev totalvikten 170,4 gram. Även om deras vikter adderas till totalvikten kommer vikten inte överskrida kravvärdet 500 gram eller önskevärdet 300 gram.



Figur 35. Sammanställningsritning av Scannern.

3.9.4. Avstämning mot kravspecifikation

Åtta av elva krav i kravspecifikation uppfylls helt och hållet (grönmarkerade) och de resterande tre krav uppfylls delvis (gulmarkerade). Elva (eller tretton) önskemål är uppfyllda (grönmarkerade), fyra önskemål har inte uppfyllts (rödmarkerade) och tre önskemål har inte kunnat valideras under projektet (gulmarkerade) (se tabell 13). Det första kravet, ”Framföra fordon säkert”, är till viss del uppfyllt. Detta på grund av att relevanta paragrafer i maskindirektivet och ISO-standarden 3691-4:2020 har studerats och efterföljts, däremot kan mer säkerhetsarbete i framtiden utföras, som en riskanalys i form av en FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Krav nummer fem, ”Användare erhåller feedback vid utformande av funktioner”, är också delvis uppfyllt, men det kan göras mer arbete inom området för att förbättra upplevelsen för användaren. Utöver att den tydliga switchen som förklarar vilket körläge som är aktuellt och att pricken på potentiometern är synlig för användaren, kan även lysdioder läggas till för att förtydliga när användaren har applicerat tillräckligt tryck på trelägesdonet för att körläget blir aktivt. Det sista kravet som inte riktigt har kunnat valideras fullt ut är krav nummer 19: ”Passar både män och kvinnors händer”. Utifrån användartesterna kunde inga skillnader ses mellan kvinnor och mäns händer. Dock bestod testgruppen av handstorlekar mellan 170–200 mm, och inte mellan 157–215 mm, vilket har påverkat resultatet.

Tabell 13. Avstämning mot kravspecifikation

	=	Uppfyllt
	=	Delvis uppfyllt / bör undersökas mer / inte kunnat valideras
	=	Ej uppfyllt

Avstämning av kravspecifikation

Kategori	Nr.	Krav/behov	Kravvärde	Önskevärde	Enhet
Säkerhet	1.	Framföra fordon säkert	Ja	-	Ja / Nej
Användning	2.	Antal funktioner		4-6	Antal (st)
	3.	Enkla funktioner	>3	>4	Betyg (1 - 5)
	4.	Funktioner beskrivs tydligt	>3	>4	Betyg (1 - 5)
	5.	Användare erhåller feedback vid utförande av funktioner	Ja	-	Ja / Nej
	6.	Inlärningstid		<60	Tid (s)
Fysisk ergonomi	7.	Bekväm att hålla i	>3	>4	Betyg (1 - 5)
	8.	Vara anpassad till handlängd		157-215	Längd (mm)
	9.	Passa både höger och vänster hand	Ja	-	Ja / Nej
Övrigt	10.	Fäste till AGV	-	Ja	Ja / Nej
	11.	Vikt	<500	<300	Vikt (g)
	12.	Avstånd mellan operatörsplats och AGV		Upp till 3	Längd (m)
	13.	Är bakåtkompatibel med befintliga AGV:er	-	Ja	Ja / Nej
	14.	Synlighet		Gul eller röd	Färg (Lista)
Tål industrimiljö	15.	Hållfast material	-	Ja	Ja / Nej
	16.	Tapphöjd		>1,5	Höjd (m)
	17.	Skydda reglage	-	Ja	Ja / Nej
	18.	Tåla stänk och damm		>=44	IP-klassning
Hållbarhet	19.	Passar både män och kvinnors händer	Ja	-	Ja / Nej
	20.	Material går att återvinna	-	Ja	Ja / Nej
	21.	Antal delar		<=8	Antal (st)
	22.	Använder tillgängliga resurser		Ja	Ja / Nej
	23.	Går att reparera	-	Ja	Ja / Nej
	24.	Demonterbar	-	Ja	Ja / Nej
Funktionalitet	25.	Kan reglera hastighet	Ja	-	Ja / Nej
	26.	Kan köra framåt och bakåt	Ja	-	Ja / Nej
	27.	Kan styra rikting och rotation	Ja	-	Ja / Nej
	28.	Finns möjlighet att utöka funktionalitet i framtiden	-	Ja	Ja / Nej
Tillverkningsaspekter	29.	Inköp/tillverkningskostnad		<7650	Pris (Kr)

4. Diskussion och slutsatser

Säkerhetsaspekten av litteraturstudien var komplex, eftersom det ingick mycket tolkning av definitioner, vilket försvårade och förlängde arbetsgången. Eftersom det var svårt att tyda vilka standarder och direktiv som berörde projektet, undersöktes det och lästes många dokument, vilket var tidskrävande. I stycket om hållbar utveckling beskrivs hållbar utveckling utifrån de tre hållbarhetsdimensionerna, eftersom de var kopplade till hur företaget lagt upp sitt hållbarhetsarbete. I efterhand, kunde även FN:s globala mål undersöks mer i arbetet, då dessa mål är mer konkreta än de tre hållbarhetsdimensionerna. Hållbarhetsmål 9: *Hållbar industri, innovationer och infrastruktur*, hållbarhetsmål 10: *Minskad ojämlikhet* och hållbarhetsmål 12: *Hållbar konsumtion och produktion* kan kopplas till projektet för mer konkretisering. Metodvalen i empiriinsamlingen anses generellt att ha varit bra. Det mest givande från förstudien var intervjuerna, där användarna själva kunde uttrycka sina åsikter om det befintliga handmanöverdonet. I efterhand kunde intervjufrågorna justerats för att inte vara ledande och vara mer av typen ”Varför/Hur?” - frågor istället för ”Vad?/Vilka?” - frågor som antyder att det ska finnas något att svara. Marknadsundersökningen bidrog till mycket inspiration för både bra idéer och idéer som bör undvikas. Det finns dock risk för att marknadsundersökningen kan ha bidragit till viss fixering av tidigare produkter och koncept vid idégenerering. Kriterierna i marknadsanalysen kunde till större del varit baserade på funktionerna från funktionsanalysen, utöver säkerhet och styrning.

Vid analysen av antropometriska mått hittades inte data från testpersoner med brasilianskt ursprung, därför är inte datan fullständig. Det valdes dock att inte lägga fokus på att hitta mer data, utan att arbeta med den datan som fanns, eftersom det ansågs vara viktigare att fortgå med arbetet och inte fastna på grund av en fixering av en detalj. Det valdes också att använda Italien och Nederländerna som representativa länder för Europa, då de generellt sett har de kortaste kvinnorna respektive längsta männen i Europa. Data från svenska testpersoner inkluderades eftersom den största andelen kunder till företaget (70%) är lokaliserade i Sverige. Genom att ha mer fullständiga data, med andra ord inkludera Brasilien och mer europeiska länder, skulle analysen kanske kunnat ge ett mer sanningsenligt utfall, men datan som användes ansågs vara tillräcklig och tillfredsställande.

För idégenerering valdes det att göra brainstorming för att kunna inkludera flera personer i genereringen och dela upp i frågeställningar. Att dela upp brainstormingen runt frågeställningar underlättade inför genomförande av morfologisk matris då idéerna blev uppdelade i dellösningar, och gick då att sätta upp i matrisen. Som tillägg kunde även idégenerering gjorts med företaget för att se vilka fler idéer som hade kunnat skapats. Att använda sig av personas hjälpte dels vid brainstorming att förklara problemet och användargruppen för de deltagande personerna som inte visste så mycket om projektet. Personas kunde dock använts mer, exempelvis i konceptvalet för att försäkra att användarens behov är i fokus under valet. Morfologisk matris valdes för att lätt kunna kombinera till koncept, tillsammans med brainstorming. Dock kunde någon kompletterande metod använts för att ha med flera tankesätt, eller så kunde mer generering gjorts med de valda metoderna för att ha ett ännu större spann med idéer.

Det bestämdes att inte försöka göra ett manöverdon som var justerbart på grund av att det med största sannolikhet hade ökat kostnaden. Istället utgicks det från att göra en

storlek som skulle passa alla användare inom spannet, därför var koncepten baserade på att ha en storlek. Ett justerbart manöverdon hade troligtvis kunnat lösa problemen och bidra mer till den sociala hållbarheten, då varje enskild individ eventuellt hade kunnat justera manöverdonet utifrån sina mått och preferenser. Det fick dock väljas bort och istället fokuseras det på en produkt som är så anpassad som möjligt. Det blev också tydligt under iterationerna av användartesterna att människor föredrar olika storlekar på handtag, vilket är svårt att lösa med en enda produkt.

Företaget säljer sina produkter över hela världen, vilket försöktes ta hänsyn till genom att undersöka antropometriska mått från de olika nationerna. Eftersom projektet var begränsat geografiskt till Skövde kunde inte undersökningar och användartester göras i andra länder. Trots detta, försöktes det att hitta testpersoner som omfattas av målgruppens antropometriska mått. Den fysiska ergonomin kan testas ändå, utan att testpersoner med olika etnicitet är nödvändiga, eftersom måtten är definierade. Det var dock svårt att hitta testpersoner som tillhörde extremfallen, så därför kunde inte det testas hur användare med de största och minsta händerna upplevde koncepten. Det kunde inte heller testas om det fanns kulturella variationer i förståelsen för gränssnittet, exempelvis hur färger och symboler upplevdes olika. Testerna var dock mycket intressanta och gav feedback för vidareutveckling. Det sågs tydliga mönster vid testningen av den fysiska ergonomin, exempelvis vilka komponenter som satt fel (se kapitel 3.4.1. Användartester). Dock sågs inga mönster för hur deltagare med olika handstorlekar betygsatte koncepterna. Om fler tester hade gjorts kanske det kunde bli tydligare ifall något koncept favoriserades av något specifikt spann vad gäller handstorlekar. Eftersom feedbacken från användartesterna ändå ansågs vara så värdefull, hade det varit väldigt intressant att få utföra mer tester på det slutliga konceptet och prototypen för att utvärdera och få mer feedback.

Konceptvalet i sig var komplext, det upplevdes svårt att betygsätta koncepten utan att ha testat koncepten ihop med en verklig AGV för att analysera körupplevelsen. Det önskades av företaget att vidareutveckla och ta fram prototyper för två av koncepten som kunde kopplas samman med en AGV för att kunna testköra på riktigt och därefter utvärdera. Dock var modellbygget av en funktionsmodell för Scannern komplicerat och tidskrävande, så konceptvalet fick göras innan den slutliga modellen blev klar. Om ett slutligt konceptval hade gjorts tidigare, hade mer fokuserad vidareutveckling fortskridit tidigare på ett av koncepten. På grund av detta hanns inte tester på det slutliga konceptet med i den utsträckning som önskat. Dock var det även givande att utveckla två olika koncept parallellt, då lösningsrymden breddades.

Under vidareutvecklingen och framtagandet av funktionsmodeller beställdes komponenter. De specifika komponenterna beställdes för att det var de som fanns tillgängliga för snabb leverans, så jämförelse mellan olika typer av komponenter gjordes inte, vilket skulle behöva göras. Komponenterna var tydligt märkta enligt RoHs 2 (se kapitel 2.1.2. Säkerhet, standarder och EU-direktiv), dock behöver flera jämförelser göras, exempelvis tekniska data och andra relevanta direktiv som EMC-direktivet.

FEM-analysen av släpptestet behöver antagligen arbetas mer med för att få ett mer verklighetstroget fall och resultat. I nuläget fick flera mindre justeringar göras på modellen för att få en fungerande mesh i Nastran. Det testades fram med olika tillvägagångssätt och justeringar för att få till en fungerande analys med rimliga

värden. Modellen sattes ihop till en del istället för att släppas som två hopmonterade halvor samt utan extra vikt från komponenterna och sladd. Modellen släpptes vertikalt och träffade kanten i botten, något som i verkligheten inte skulle hända då sladden kommer vara där. Däremot kunde spänningar längre upp i modellen, där ovandelen sticker ut, läsas av och antogs vara relativt rimliga resultat. Alternativ hade kunnat vara att modellen släpps i ett annat läge än vertikalt beroende på hur manöverdonet med sladd hade fallit i verkligheten, exempelvis att det landar på framsidan.

För att besvara frågeställningen ”Vilka behov behöver ett handmanövrerat don till en AGV möta …?” så finns det flera behov som behöver mötas när ett handmanöverdon ska utvecklas. De främsta behoven som användare uttryckte var att donet ska vara bekvämt att hålla i, då de ofta får kramp i handen och handleden när de kör under längre perioder. Användare som använder donet under längre perioder, oftast drifttagare och underhållstekniker, uppmärksammade detta fenomen. Användare som inte använder donet lika frekvent, exempelvis operatörer och montörer i lina, uppmärksammade att det är svårt att förstå och stör sig på att de alltid kör fel när de använder det första gången på länge. Dessa behov uttrycktes av mer eller mindre alla deltagare i användarstudien och ansågs då vara viktiga behov att bemöta. Det fanns även andra behov som utrycktes, som extra funktioner för framtiden och att donet ska fästas på AGV:n och att donet ska kunna användas bekvämt av användare med mindre händer, dessa finns kartlagda i ”Identifiering av behov”, ”Behov-egenskapsmatris” och ”Kravspecifikation”- sektionerna.

En ytterligare del i frågeställningen var ”… och kan donet anpassas till flera typer av AGV:er?” Anpassningsbarheten till flera AGV-typer löstes i form av en switch där körlägen till den omnidrivna AGV-typen enkelt kan växlas mellan. Denna switch kommer inte användas vid standard- och differentialstyrda AGV:er, men switchen kan då ha en annan funktion, då det var önskat av företaget att ha extra reglage som kan en extra kundanpassad funktion.

Den sista frågeställningen var ”Hur kan donet utformas för att vara funktionellt, säkert, intuitivt och ergonomiskt?”. Ett handmanöverdon till AGV:er kan utformas på flera sätt, vilket kan ses i konceptutvecklingssektionen. Ett sätt att utforma donet på är det slutliga designförslaget, Scannern. Genom att testa och utvärdera kunde konceptförslagen jämföras för att välja det mest lämpliga konceptförslaget. Målen som sattes upp inför projektet är uppfyllda, då ett nytt handmanöverdon har utvecklats som är mer ergonomiskt än den befintliga produkten. Säkerhetsaspekter har tagits hänsyn till, genom undersökningar och analyser av säkerhetsdokument som ISO 3691-4:2020 och maskindirektivet. Ett delmål var att utföra en marknadsanalys, vilket har utförts. Ett ytterligare delmål var att utföra en kravspecifikation, vilket har genomförts. Kravspecifikationen består av krav och önskemål från olika områden som funktionalitet, säkerhet, användbarhet och fysisk ergonomi, där flera krav och önskemål är baserade på användarstudier där användarens behov undersöktes, vilket också var ett delmål. Det sista delmålet är också uppfyllt då fyra utvecklade koncept har utvärderats och visualiserats.

Detta projekt har resulterat i koncept som troligen hade förbättrat användarupplevelsen vid säker, manuell körning av AGV. Donet är utvecklat utefter att vara användarcentrerat och ergonomiskt genom att ta hänsyn till användarnas behov och önskemål. Donet är också utvecklat för att främja hållbar utveckling

genom att vara mer lämpat för användare med mindre händer, då det nuvarande manöverdonet inte är bekvämt, särskilt för användare med mindre händer, många gånger kvinnor. Eftersom produkten kommer användas i industrin, som är en mansdominerad arbetsplats, är det viktigt att kvinnor inte exkluderas på så sätt att utrustningen och verktygen inte lämpar sig för kvinnliga kroppsmått. Genom att försöka underlätta användandet för kvinnliga användare i industrin, främjas också jämlikheten mellan könen på arbetsplatsen. Demontering har även varit en punkt som undersökts då detta påverkar både den ekologiska och ekonomiska hållbarheten. Genom att kunna demontera produkten kan den repareras och delar kan bytas ut för att förlänga livslängden och delarna kan återvinnas. Om livslängden förlängs, slösas mindre resurser, både i form av råmaterial och kostnader. Säkerhet har varit viktigt under projektets gång, speciellt ur ett etiskt perspektiv, då det är viktigt att produkten inte ska kunna skada någon under dess livslängd. Det är också viktigt, etiskt sätt, att produkten lämpar sig lika bra till kvinnor som till män, då resultatet av projektet ska bidra till en mer jämställd arbetsplats. Det har dock blivit klarare att en lösning som endast har en storlek och inte kan justeras, är svår att anpassa till alla. Trots att användare med mindre händer uppskattar resultatet, fanns det även användare med lite större händer som uttryckte att produkten kunde vara lite större. Det hade kunnat valts att avgränsa till svenska användare då de utgör 70% av EAMRs kunder, för att ha ett mindre spann mått att utgå ifrån att anpassa produkten till. Med detta sagt, är det svårt att en enda produkt, som inte är justerbar kommer att göra alla användare nöjda, vilket är en lärdom som tas med vidare. Trots att mycket har utförts under projektets gång och mycket är uppnått, finns det förbättringsmöjligheter som kan göras i ett fortsatt arbete.

4.1. Rekommendationer för fortsatt arbete

Fler användartest hade varit rekommenderat att utföra, dock blev protypbygge försenat. Det hade varit bra att utföra ytterligare tester med den fungerande prototypen för att testa hur den verkliga körupplevelsen hade varit och för att se hur den fysiska ergonomin påverkades av förändringarna som gjorts. Baserat på ytterligare användartester kan eventuella förändringar göras för att vidare förbättra produkten.

Lysdioder som det nuvarande manöverdonet har för att indikera när trelägesdonet är i manuellt läge pratades om, men blev aldrig med i konceptet eller beställdes som komponent. En ytterligare punkt är att hålet för kontaktinfästning i botten ska modifieras. Vid CAD-modellerandet av konceptet hade inte en kontakt beställts och därmed fanns inte mått tillgängligt. Kontakten ansågs dock inte vara viktig för att testa konceptet. Förutom kontakthålet kan fler hål att komma att förändras, om komponenterna skulle bytas ut, efter att ha jämfört flera komponenter på marknaden.

Ett nästa rekommenderat steg är att göra en riskbedömning i en FMEA. Säkerhet är viktigt för företaget och en viktig del i maskindirektivet och ISO-standarden som är relaterade till förarlösa truckar. Genom att genomföra en FMEA kan eventuella risker och faror upptäckas i tid och förändringar kan göras innan produkter går i produktion och når kund.

Även om det har arbetats med förberedelser för produktion till viss del, finns det mer inom området att undersöka. Exempelvis tala med leverantörer som kan tillverka plastdetaljerna men också en elektronikfirma som kan montera produkten.

Referenslista

ABB AB. (2009). *Operating manual: IRC5 with FlexPendant*. Document ID: 3HAC16590-1. Revision: L.

Baxter, M. R. (1995). *Product design: practical methods for the systematic development of new products.* 1. uppl., London: Chapman & Hall.

Benyon, D. (2019). *Designing user experience a guide to HCI, UX and interaction design*. 4. uppl., Harlow: Pearson Education.

Berlin, C. & Adams, C. (2017). *Production Ergonomics. Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*. London: Ubiquity Press.

Brolin, A., Bäckstrand, G., Högberg, D. & Case, K. (2011). *The use of kitting to ease assemblers' cognitive workload*. Proceedings of the 43rd annual Nordic Ergonomics Society Conference, Oulu, Finland, September 2011, ISBN 978-951-42-9541-6.

Cross, N. (2007). *Designerly ways of knowing.* Basel: Birkhäuser.

Cross, N. (2021). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. 5. uppl., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

de Castro Lozano, C., Salcines, E. G., Sainz de Abajo, B., Burón Fernández, F. J., Ramírez, J. M., Recellado, J. G. Z., Montoya, R. S., Bell, J. & Marin, F. A. (2011). Usable Interface Design for Everyone. I Cipolla Ficarra, F.V., de Castro Lozano, C., Nicol, E., Kratky, A. & Cipolla-Ficarra, M. (Red.), *Human Computer Interaction, Tourism and Cultural Heritage* (Vol. 6529., s. 157-172). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18348-5_15

Eikhaug, O. & Gheerawo, R. (2012). *Innovation with People – The Business of Inclusive Design*. 2. uppl., Oslo: Norwegian Design Council.

Elektroautomatik. (u.å.). *TC70*. Hämtad 11 maj, 2023, från: https://elektroautomatik.se/tjanster/ea-mobile-robotics-agv-tc70/

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2011/65/EU av den 8 juni 2011 om begränsning av användning av vissa farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning (omarbetning). *Europeiska unionens officiella tidning*, L 174, 1 juli 2011, s. 88. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011L0065-20221001&from=EN

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2014/30/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet (omarbetning). *Europeiska unionens officiella tidning*, L 96, 29 mars 2014, s. 79–106. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0030&from=HU

Ferreira, T. & Gorlach, I. A. (2016). Development of an Automated Guided Vehicle Controller Using a Model-Based Systems Engineering Approach. *South African Journal of Industrial Engineering*, *27*(2), 206–217. https://doi-

org.libraryproxy.his.se/10.7166/27-2-1327

Fraser, I. (Red.). (2010). *Vägledning för tillämpning av maskindirektivet 2006/42/EG* (2. uppl.). Europeiska kommissionen näringsliv. Hämtad 27 januari, 2023, från: https://ec.europa.eu/docsroom/documents/9202/attachments/1/translations/sv/renditions/native

Germann, R., Schröder, N. & Matthiesen, S. (2022). The contact length parameter as a geometric factor for user-centered design of pistol grip geometries of power tools. *Applied Ergonomics, 99*. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103636

Gröndahl, F. & Svanström, M. (2011). Hållbar utveckling: en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare. 1. uppl., Stockholm: Liber.

Gulliksson, H. & Holmgren, U. (2015). *Hållbar utveckling: livskvalitet, beteende, teknik*. 2. uppl., Lund: Studentlitteratur.

International Organization for Standardization. (2020). *Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 4: Driverless industrial trucks and their systems*. (ISO 3691-4:2020). https://www.iso.org/standard/70660.html

Johannesson, H., Persson, J. & Pettersson, D. (2004). *Produktutveckling: effektiva metoder för konstruktion och design.* 1. uppl., Stockholm: Liber.

Johnson, A. & Gibson, A. (2014). *Sustainability in Engineering Design*. Amsterdam: Elsevier.

Kalpakjian, S., Sekar, K. S. V. & Schmid, S. R. (2023). *Manufacturing engineering and technology*. (Eighth edition in SI units.). Harlow: Pearson.

Kamat, V. R., Li, D., Menassa, C. C. & Wang, X. (2020). Understanding the impact of building thermal environments on occupants' comfort and mental workload demand through human physiological sensing. I Granqvist, C-G., Ivanov, V., Kaklauskas, A., Makonin, S., Pacheco-Torgal, F. & Rasmussen, E. (Red.), *Start-Up Creation: The Smart Eco-Efficient Built Environment* (2:a uppl., s. 291-341). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/C2019-0-01054-0

Klason, C. & Kubát, J. (2001). *Plaster: materialval och materialdata*. (5., [utvidgade och uppdaterade] utg.) Stockholm: Sveriges verkstadsindustrier.

Magrab, B. E. (1997). *Integrated product and process design and development: the product realization process.* Boca Raton, FL: CRC Press.

Mattson, C. A. & Sorensen, C. D. (2019). *Product Development: Principles and Tools for Creating Desirable and Transferable Designs*. Cham: Springer.

McElroy, K. (2017). *Prototyping for Designers: developing the best digital and physical products*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

Miaskiewicz, T. & Kozar, K. A. (2011). Personas and user-centered design: How can personas benefit product design processes? *Design Studies, 32*(5), 417-430.

https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.03.003

Monö, R. G. (1997). *Design for product understanding: the aesthetics of design from a semiotic approach*. 1. uppl., Stockholm: Liber.

Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things*. New York: Basic Books.

Oh, S. & Radwin, R. G. (1993). Pistol grip power tool handle and trigger size effects on grip exertions and operator preference. *Hum Factors.*, *35*(3), 551–569. https://doi.org/10.1177/001872089303500311

Otto, K. N. & Wood, K. L. (2001). *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Pheasant, S. & Haslegrave, C. M. (2006*). Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics, and the Design of Work*. 3. uppl., London: Taylor & Francis Routledge.

Rask, I. & Sunnersjö, S. (1998). *Konceptkonstruktion: val av material och tillverkningsmetoder*. Mölndal: Institutet för verkstadsteknisk forskning (IVF).

Rookes, P. & Willson, J. (2000). *Perception: Theory, development and organization*. London: Routledge.

Rosson, M. B. & Carroll, J. M. (2002). *Usability engineering: scenario-based development of human computer interaction*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

Sancho-Bru, J. L., Giurintano, D. J., Pérez-González, A. & Vergara, M. (2003). Optimum Tool Handle Diameter for a Cylinder Grip. *Journal of Hand Therapy*, *16*(4), 337–342. https://doi.org/10.1197/S0894-1130(03)00160-1

Svenska Institutet för Standarder. (u.å.). *Maskinsäkerhet och maskindirektivet.* Hämtad 07 februari, 2023, från:
https://www.sis.se/konstruktionochtillverkning/maskinskerhet/

Ullman, D. G. (2017). *The mechanical design process*. 6. uppl., Oregon: David G. Ullman.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2014). *Produktutveckling: Konstruktion och design.* 1. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Wikberg Nilsson, Å., Törlind, P. & Ericson, Å. (2021*). Design: process och metod*. 2. uppl., Lund: Studentlitteratur.

Wilson, T. D. (2001). Information Overload: Implications for Health-care Services. *Health Informatics Journal*, *7*(2), 112–117.
http://dx.doi.org/10.1177/146045820100700210

Österlin, K. (2007). *Design i fokus: varför ser saker ut som de gör?* (2., [rev.] uppl.). Malmö: Liber.

Bilagor

Bilaga A - Guide till användartester

GUIDE:

Objekt vi tar med oss till test:
Mätinstrument, befintlig produkt, 4 skissmodeller

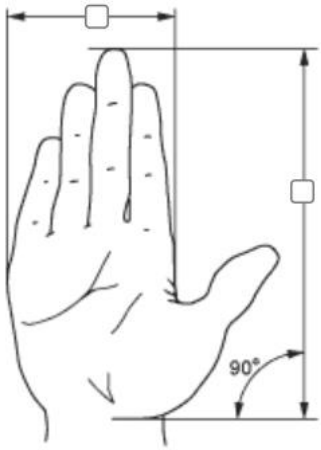
Intro:
Vi ska jämföra våra konceptförslag för att bestämma vilket koncept vi ska arbeta vidare med och hur vi kan förbättra det. Därför skulle vi vilja be dig att utföra specifika uppgifter och därefter fråga dig om din upplevelse, men vi uppmanar dig även att tänka högt när du utför uppgifterna. Vi skulle gärna vilja fotografera och filma testet om det skulle gå bra, men vi kommer inte att fota och filma ansiktet och vi använder inte film och bilder vid redovisning.

För nya användare, fråga om de vet vad en AGV är, säga att kontrollen är till förarlösa truckar. Visa nuvarande manöverdonet efter/innan beroende på om det kan påverka

Översiktliga data:
Vi skulle vilja börja med att fråga några frågor om dig som användare av handmanöverdonet

- Vad heter du?
- Hur mycket erfarenhet har du av att köra AGV manuellt med ett handmanöverdon?
- (För företag: roll el. bakgrund
- Är du höger eller vänsterhänt?
- Hur gammal är du?
- Kan vi få mäta din hand? Håll ut din hand så här. *Visa*

Mät handen



Gränssnitt:
Nu skulle vi vilja testa gränssnittet på modellerna. Vi kommer att göra detta stegvis, alltså berätta lite mer om dem efter varje omgång. Vi kommer börja med att du inte får någon information alls om dem.

1. *Ge modellerna*. Hur tror du man använder modellen? Vad gör de olika reglagen? *Låt dem svara, berätta deras tankar, räkna hur många rätt de har.*

2. *Beskriv sedan hur man använder reglagen, alltså visa hur man använder reglagen som inte är rörliga på modellerna, typ trelägesdonet.* Meningen är att man ska använda reglagen så här, hur tror du nu hur man använder modellen? Vad gör de olika reglagen? *Låt dem svara, räkna hur många rätt de har. Fråga till analys: skiljer det sig?*

3. *Beskriv sedan funktionerna, ex* man kan svänga, öka hastighet, byta riktning (framåt och bakåt osv). Hur tror du nu hur man använder modellen? Vad gör de olika reglagen? *Låt dem svara, räkna hur många rätt de har. Fråga till analys: skiljer det sig?*

4. *Berätta sedan hur modellerna skulle fungera.*

Lite avslutande frågor kring gränssnittet:
- Hur upplevde du svårigheter att förstå modellerna?
- Kan du betygsätta modellerna från 1–10 baserat på hur svåra att förstå du upplevde dem? Där 1 är mycket svårt och 10 är mycket lätt.
- Var det någon del som var svårare att förstå?
- Var det någon del som var lättare att förstå?

Fysisk ergonomi:
Nu ska vi testa bekvämligheten hos modellerna. Eftersom man behöver hålla inne trelägesdonet för att köra AGV:n, skulle vi vilja att du håller ett lätt tryck på modellernas trelägesdon. Vi skulle även vilja att du går långsamt som om du gör när du kör en AGV. När du går kommer jag be dig utföra (eller låtsas utföra beroende på reglaget på modellen) uppgifter som till exempel “Sväng höger”, eller “öka hastighet”. *Be dem göra tre uppgifter.* Tänk gärna högt. *(Titta om fingrarna ser ansträngda ut och om de når reglagen)*

Lite avslutande frågor kring den fysiska ergonomin:
- Hur skulle du beskriva hur formen och storleken känns när du håller modellen? Där 1 är mycket dåligt och 10 är mycket bra.
- Hur väl når du alla knappar och reglage på modellen? Där 1 är mycket dåligt och 10 är mycket bra.
- Hur klumpigt eller smidigt tycker du att utförandet av uppgifterna gick? Där 1 är mycket klumpigt och 10 är mycket smidigt.
- Vad var klumpigt?