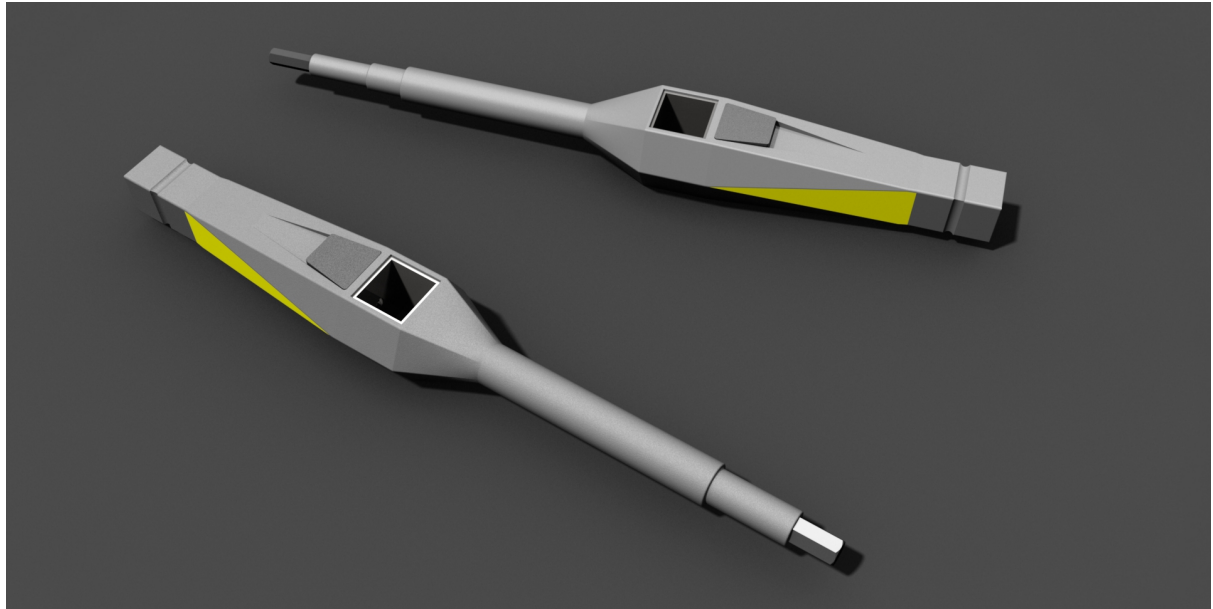




CHALMERS



Produktutveckling av en isolerande sexkantsnyckel för lågspänningsarbete i elskåp

Product Development of an Insulating Hexagon Key for low voltage work in cable distribution cabinets

Examensarbete för högskoleingenjörsprogrammet inom Design och produktutveckling

HANNES BODIN LÖFGREN

ANNIKA LINDQVIST

Department of Materials and Manufacturing Technology

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Gothenburg, Sweden 2017

Examinator Peter Hammersberg, Examensarbete No.169/2016

Produktutveckling av en isolerande sexkantsnyckel

för lågspänningsarbete i elskåp

Product Development of an Insulating Hexagon Key

for low voltage work in cable distribution cabinets

HANNES BODIN LÖFGREN

ANNIKA LINDQVIST

© HANNES BODIN LÖFGREN, 2017

© ANNIKA LINDQVIST, 2017

Diploma work no 169/2017

Department of Materials and Manufacturing Technology

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Gothenburg

Sweden

Telephone +46 (0)31-772 1000

Omslag:

CAD-modell av slutkoncept

Gothenburg, Sweden 2017

Produktutveckling av en isolerande sexkantsnyckel

för lågspänningsarbete i elskåp

Product Development of an Insulating Hexagon Key

for low voltage work in cable distribution cabinets

HANNES BODIN LÖFGREN

ANNIKA LINDQVIST

Department of Materials and Manufacturing Technology

Chalmers University of Technology

Förord

Rapporten redogör för ett examensarbete vid Chalmers tekniska högskola, Göteborg, inom institutionen för Material- och tillverkningsteknik med företaget ABB som uppdragsgivare. Kursen omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes av två studenter på programmet Design och produktutveckling, högskoleingenjör under vårterminen 2017 i årskurs tre.

Flera personer har under arbetets gång varit mycket hjälpsamma. Vi vill särskilt tacka; Märta Andersson och Fredrik Axelsson, våra handledare på ABB, för ert förtroende, engagemang och expertis inom området. Vår handledare och examinator Peter Hammersberg, universitetslektor vid Material- och tillverkningsteknik på Chalmers, för ditt stöd och vägledning under hela projektet. Vi vill även tacka Sven Ekered, forskningsingenjör vid avdelningen Produktionssystem, Produkt- och produktionsutveckling och Kjell Melkersson, tekniklektor vid Produkt- och produktionsutveckling/produktutveckling på Chalmers för hjälpfulla tips och synpunkter.

Göteborg 23 maj 2017

Hannes Bodin Löfgren och Annika Lindqvist

Sammanfattning

Ett isolerande handverktyg för arbete i elskåp har designats på uppdrag av ABB AB, ett världsledande företag inom elkraft och automationsteknik. Den här rapporten redovisar metoder som använts under arbetet samt vilka resultat de gett.

Verktyget har två sexkantsnycklar med dimensionerna 6mm och 8mm samt är kompatibelt med momentnyckel. Det är även konstruerat för att uppnå standard för beröringsskyddade verktyg. Verktögets målgrupp är drifttekniker som framförallt verkar runt om i Norden.

Designarbetet har innefattat en förstudie som förutom situationsanalys och användarstudier även berört områden som ergonomi och hållfasthet. Att identifiera krav från användare och rangordna dessa har prioriterats högt. Olika metoder såsom intervjuer, studiebesök och Kano-modellen har använts för att få en bra helhetsbild av produkten och kundvärdet.

Under konceptgenereringen användes metoder som brainstorming och enklare prototyper. Lösningförslagen utvärderades och vidareutvecklades genom ytterligare prototyper, konsultationer med personer med spetskompetens inom passande områden samt samråd med drifttekniker.

Ett slutkoncept har konstruerats med CAD och en 3D-utskrift har gjorts för visuell konfirmation. För det nya konceptet redogörs materialval, dimensionering, ergonomi och formspråk. Slutrekommendationer är presenterade för vidare utveckling av arbetet.

Sökord:

Produktutveckling, handverktyg, sexkantsnyckel, insexnyckel, isolerande, vridmoment, ergonomi, CAD, ABB, Kabeldon

Summary

An insulating hand tool for installations in cable distribution cabinets has been designed upon request from ABB AB, a world leading company in electrical power and automation. This thesis reports the methods used during the process and the results they have given.

The tool has two hexagonal keys with the dimensions 6mm and 8mm. It is compatible with a torque wrench and it is designed to meet the standards of finger protected tools. The target group is operating technicians, especially working in the Nordic countries.

The design process has contained a pre-study with a situation analysis, user studies, and literature studies involving ergonomics and construction. Since a user centered design has been prioritized, different methods for making the user requirements visible such as interviews, ethnographic studies and a Kano-analysis has been used. This has been helpful to distinguish the important functions that promote a high customer value.

During the generation of concepts, methods like brainstorming and rapid prototyping has been used. The different concepts were then developed and evaluated with more prototypes, consultations with experts in suitable areas and not least operating technicians.

A final concept has been constructed with CAD and to confirm the dimensions and functions it was 3D-printed. Choice of material, dimensions, ergonomics and given shapes are discussed for the new concept. Recommendations for further development are also presented.

Keywords:

Product development, hand tool, hexagonal key, Allen key, isolating, torque, ergonomics, CAD, ABB, Kabeldon

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	3
1.1 Bakgrund	4
1.2 Syfte	4
1.3 Avgränsningar	4
1.4 Precisering av frågeställningen	5
2. Teoretisk referensram.....	5
2.1 Internationell standard IEC 60900	5
2.1.1 Generella krav	6
2.1.3 Geometrisk krav	6
2.2 Ergonomistudier	7
2.2.1 Skaderisker och förebyggande åtgärder	7
2.2.2 Design för alla	7
2.2.3 Grepp.....	7
2.3 Mekaniska påfrestningar.....	9
3. Metod	11
3.1 Planering	12
3.1.1 GANTT-schema & Milstolpar.....	12
3.1.2 Planeringsrapport	13
3.2 Förstudier	13
3.2.1 Situationsanalys.....	13
3.2.2 Litteraturstudier	13
3.2.3 Observationer & Intervjuer	13
3.2.4 Kravspecifikation	14
3.2.5 Fiskbensdiagram.....	14
3.2.6 Verktogsstudie	14
3.3 Utförande	14
3.3.1 Konceptgenerering	14
3.3.2 Konceptutvärdering	15
3.3.3 Vidareutveckling	16
4. Resultat och Analys	17
4.1 Situationsanalys	17
4.1.1 Företagsanalys.....	17
4.1.2 Omvärldsanalys	18
4.1.2 Marknadsundersökning.....	19

4.2 Förstudie	20
4.2.1 Användarstudier, Produktbeskrivning	20
4.2.2 Ergonomi	21
4.2.4 Semantiska uttryck för elektronik	21
4.3 Produktspecifikation	21
4.3.1 Kravspecifikation	21
4.5.1 Kano-modellen	22
4.3.2 Fiskbensdiagram	22
4.4 Konceptgenerering	24
4.4.1 Koncept 1	24
4.4.2 Koncept 2	25
4.4.3 Koncept 3	26
4.4.4 Koncept 4	26
4.5 Konceptutvärdering	27
4.5.2 Presentationer för utvärdering	27
4.5.2 Beslutsmatris enligt Pugh	28
4.6 Konfigurering & Detaljkonstruktion	28
4.6.1 Design för ergonomi	31
4.6.2 Design för funktion och hållbarhet	31
4.6.3 Låsfunktionen	32
4.6.4 Ytegenskaper och färgval	34
4.6.5 Kraftflöde	34
4.6.6 Principiell tillverkning	36
4.6.7 Materialanalys	36
4.7 Prototyp tillverkning och utvärdering	37
5. Diskussion och Slutsats	39
5.1 Identifierade kundvärden och användarbehov	39
5.2 Designriktlinjer	39
5.3 Konceptets uppfyllnadsgrad	40
5.4 Trovärdighetsanalys	43
5.5 Rekommendationer för vidareutveckling	43
6. Referenser	45

Beteckningar

Nedan följer en nomenklatur, i figur 1 är även olika delar av ett CDC-skåp utmärkta med pilar.

Apparat/modul/servis: Olika namn för elkopplare i elskåpen som kopplas upp mot en ledande skena.

CDC-skåp: Cable Distribution Cabinet; en elskåpserie för kabelkopplingar.

CES Edupack: Ett datorprogram som innehåller en materialdatabas och verktyg för att behandla materialrelaterad information.

Drifttekniker/elmontör: En arbetsposition som innefattar arbete och underhåll av elskåp.

Ekologiskt fotavtryck: Syftar i denna rapport på mängden växthusgaser (översatt till motsvarande massa koldioxid) som släpps ut i atmosfären som konsekvens av ett kilo producerat material.

Fyrkantkoppling: En fyrkantig koppling med standardiserade mått för anslutning av momentnyckel.

Handledsdeviation: Förflyttning av handflata i sidled mot tummen eller lillfingret.

Handledsflexion: Neråtböjning av handled.

Imageboard: En samling bilder vars syfte är att förtydliga vad slutresultatets design skall stämma överens med.

Isolerat verktyg: Ett verktyg gjort av ett ledande material som är delvis eller helt klätt i ett ej strömförande material.

Isolerande verktyg: Ett verktyg som till största del består av ett icke strömförande material men för att öka hållfastheten har ledande delar som isolerats från varandra.

Kabel: Ett annat ord för sladd.

Kabeldon: En del av ABB som arbetar med elektriska förbindningar i kabelsystem.

Konduktivitet: Ett mått på hur väl ett material leder ström.

Lågspänningsarbete: Spänningsnära arbete upp till 1000V AC eller 1500V DC.

Nyckel/mejsel: Enklare ord för ett verktyg som tillför vridmoment.

PNI: En analysmetod som tar upp positiva, negativa och intressanta aspekter.

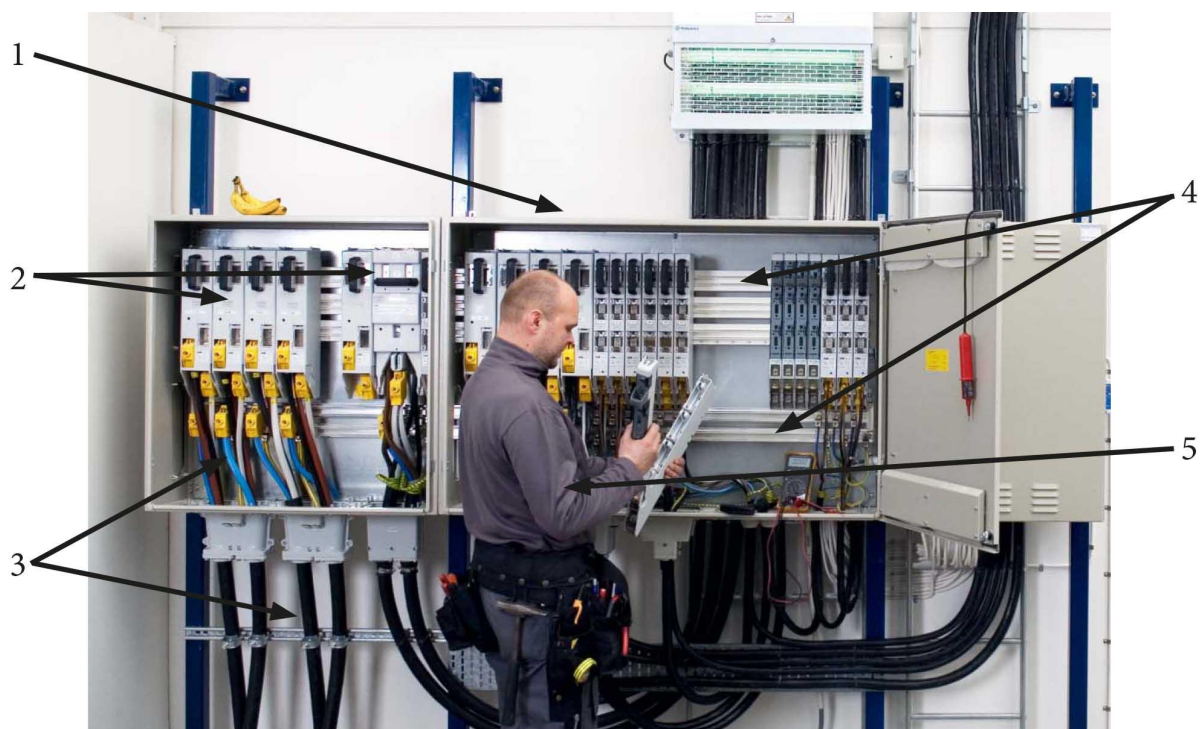
Sexkantsnyckel: Ett verktyg ämnat för åtdragning eller lossning av skruvar som har ett huvud med hexagonal passning. I denna rapport syftar ordet enbart på den sexkantiga metallstaven.

Skena (fasskena): En extruderad aluminiumprofil isolerad med ett polyamidskikt men med ett ledande spår för att koppla upp apparater mot ström.

Skjuvspänning, τ : Skjuvkraftsbelastning per ytenhet, där ytan är tvärsnittet av den belastade kroppen.

T-handtag: Ett handtag i formen av ett T. Vanlig design på handverktyg som används för att åstadkomma höga vridmoment.

Överslagshållfasthet: Det maximala elektriska fält som ett visst material kan motstå utan att brytas ned.

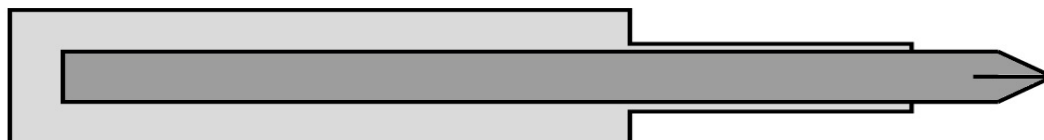


Figur 1. Ett elskåp av typ CDC (ABB, 2015). Återgiven med tillstånd.

1. CDC-skåp
2. Apparat/modul/servis
3. Kabel
4. Skena
5. Drifttekniker/elmontör

1. Inledning

Monteringsarbete vid spänningsförande moment kräver skydd för att eliminera risken att ström når användaren. Vanligt är att använda isolerade eller isolerande handverktyg. Ett isolerat verktyg är gjort av ledande material som är delvis eller helt klätt i ett ej strömförande material (IEC, 2012, s. 9). Huvudprincipen av denna konstruktion illustreras i figur 1.1. Isolering verktyg, exempel i figur 1.2, består till största del av material som inte är strömförande men har flera ledande delar för att öka hållfastheten. Det är viktigt att de konduktiva delarna är isolerade mellan varandra.



Figur 1.1. Exempel på en isolerad skruvmejsel i genomskärning. Ljusgrått parti representerar material som saknar ledningsförmåga. Mörkgrått parti indikerar material med god konduktivitet.



Figur 1.2. Exempel på en isolerande skruvmejsel i genomskärning. Ljusgrått parti representerar material som saknar ledningsförmåga. Mörkgrått parti indikerar material med god konduktivitet.

Vid arbete som inkluderar ABB Kabeldots system använder drifttekniker sig av VHB-68 som är ett isolerande verktyg. Bild på verktyget kan ses i figur 1.3. Samtidigt som **isolerande** verktyg har fördelen att de kan ha flera funktionella ändar och samtidigt bibehålla en god säkerhet finns nackdelen att de ofta inte klarar lika stor mekanisk påfrestning som **isolerade** verktyg. Detta på grund av att det isolerande skiktet mellan de konduktiva delarna blir en svag länk. Det är därför intressant att undersöka hur en ny design kan öka hållfastheten samtidigt som den uppfyller användargruppens behov.



Figur 1.3. VHB-68. Den isolerande staven kan föras in i handtaget från två olika håll beroende på vilken funktionell ände som ska användas.

1.1 Bakgrund

På uppdrag av ABB ska ett monteringsverktyg för moduler i elskåp designas. En ny design önskas eftersom det nuvarande verktyget anses, av ABB, ha nått toppen av sin utvecklingskurva. Verktyget används dagligen av drifttekniker världen över, framför allt i de nordiska länderna. Det beröringsskyddade verktyget ska vara försett med sexkantsnyckel 6 och 8. Verktyget ska även vara kompatibelt med en momentnyckel. Utöver detta välkomnas extrafunktioner. Materialval, dimensionering, ergonomi och formspråk anses vara viktiga delar för utredning.

1.2 Syfte

Syftet är att utveckla ett verktyg som kan tjäna som ett signum för ABB. Produkten ska bygga och öka värdet av varumärket. Variabler som kan tänkas ha en effekt på kundvärdet bör därför identifieras och utvärderas.

Målet är att skapa underlag för en ny verktygsdesign som kan vara användbart för eventuell vidareutveckling. Resultaterande koncept kommer presenteras i skisser, CAD modeller och prototyper av olika färdighetsgrad.

1.3 Avgränsningar

- Arbetet motsvarar 15 högskolepoäng, cirka 400 timmars arbete per gruppmedlem.
- Tidsresurser begränsar möjlighet till att tillverka och utvärdera en funktionsprototyp som uppfyller alla krav.
- Verktyget kommer inte att tillverkas under projektets gång.
- Användargruppen begränsas till personer som är utbildade att genomföra spänningsarbete.
- Utformning av momentnyckel eller komponenter som ingår i elskåp ska inte ändras.
- Kostnadsberäkningar på det nya konceptet kommer inte utföras.

1.4 Precisering av frågeställningen

Projektets huvudfråga är:

- Hur ska ett nytt monteringsverktyg för ABB designas för att få ett högt kundvärde och därmed öka värdet av ABB som varumärke?

Följande frågor anses vara relevanta för arbetet:

- Vilka är användarbehoven?
- Vilka parametrar påverkar kundvärdet?
- Hur kan design för hållbar utveckling implementeras?

Följande fråga anses vara viktig för att åstadkomma ett underlag som är användbart för utvärdering av slutkoncept:

- Hur står sig resulterande koncept mot befintliga lösningar?

För vidareutveckling kan följande frågor vara relevanta:

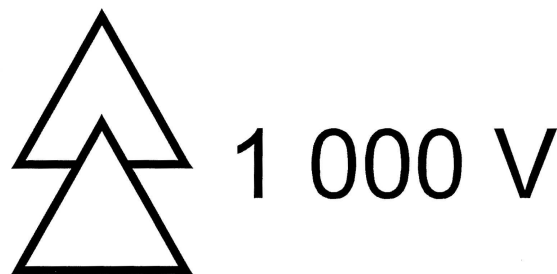
- Vad kan göras bättre?
- Vad behöver undersökas/vidareutvecklas?
- Är alla krav uppfyllda? Vad saknas?

2. Teoretisk referensram

I detta kapitel redovisas teorier och information kring området som hämtats från tidigare arbeten och forskning.

2.1 Internationell standard IEC 60900

Om verktyget uppfyller kraven för standarden IEC 60900 kan det förses med dubbeltriangeln som visas i figur 2.1. Märkningen visar att verktyget är lämpligt för arbete under spänning upp till 1000V AC eller 1500V DC. Nedan presenteras ett urval från standarden som var särskilt relevant för projektets produktutveckling.



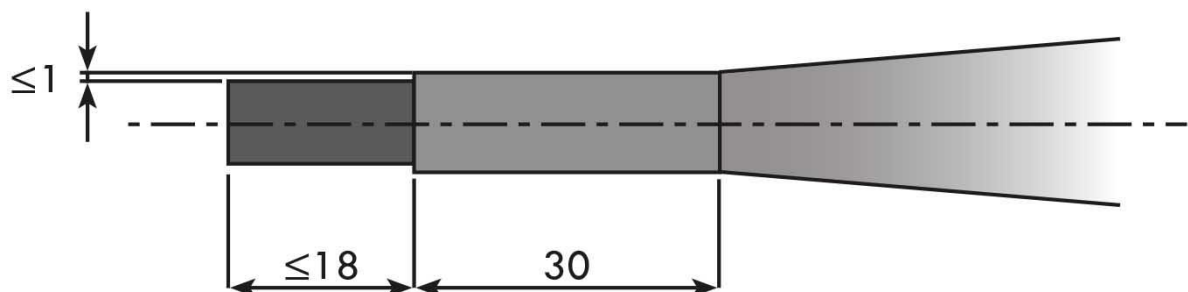
Figur 2.1. Dubbeltriangeln symboliserar att verktyget uppfyller den internationella standarden IEC 60900. (IEC Geneva, 2012, s. 10). Copyright © 2012 IEC Geneva, Switzerland. www.iec.ch. Återgiven med tillstånd.

2.1.1 Generella krav

- Det isolerande materialet skall förutom elektrisk, mekanisk och termisk påfrestning även klara av att åldras och vara flamskyddat.
- Den isolerande beläggningen kan bestå av ett eller fler lager som tillåts att ha olika färger.
- Utformningen av handtagen skall medge ett säkert grepp och förebygga oavsiktlig glidning.
- Verktyget skall klara ett vattenbadstest då den ledande ändan utsätts för 10 kV. Inget överslag från isolerat material får ske.
- Verktyget skall klara av att tappas på ett hårt underlag utan att det går sönder.
- Verktyget skall klara användningstemperaturer från -20°C till +70°C.

2.1.3 Geometriska krav

- Om verktyget kan sättas ihop med olika delar skall dessa sitta ihop med en lämplig kvarhållande lösning för att förhindra oavsiktlig separation.
- Oisolerade områden av verktyget, som själva sexkantsnycklarna, får ha en maximal naken längd på 18 mm (se mörkgrått parti i figur 2.2).
- Det första isolerande skiktet vid verktygets nakna spets får inte överskrida en ytterdiameter på mer än 2 mm än diametern av verktygets spets. Detta krav skall appliceras vid de första 30 isolerande mm längs med axeln. Illustrerande förklaring kan ses i figur 2.2. Vid konstruktioner som innefattar hopsättningar kan en diameter på 2 mm för isolerande material överskridas.



Figur 2.2. Måttsättningskrav, i millimeter, av verktygets isolering vid verktygets spets. Mörkgrått parti representerar ledande material. Ljusgrå representerar isolerande material.

2.2 Ergonomistudier

I *Ergonomics Evaluation, Design and Testing of Hand Tools* skriver ergonomen Biman Das (2007) att verktygets utformning påverkas av flera faktorer relaterade till ergonomi såsom uppgiftens krav på styrka, precision och varaktighet. Andra ergonomiska aspekter som tas upp är arbetsställning, handledsflexion eller deviation, typ av grepp, lokalt yttryck mot handen och skaderisker.

2.2.1 Skaderisker och förebyggande åtgärder

Biman Das räknar upp fyra typer av arbetsskador från handverktyg; användning av för mycket kraft, extrema eller onaturliga ledrörelser, hög grad av repetitiva rörelser och för lite vila från skadade leder (Das, 2007, s. 23). Generellt relaterar smärta i underarmen till muskulär ansträngning, smärta i handleden till höga inre krafter och smärta i handen till lokalt tryck.

Verktyget skall främst vara utformat för att passa uppdraget som det designats för. Utformningen skall passa operatörens kraft och arbetskapacitet och kan komma att variera beroende på användarens ålder, kön och fysiska styrka (Das, 2007, s. 25). Generellt har kvinnor 50-67% av mäns handstyrka. Vidare påverkar arbetsställningen hur mycket vridmoment som kan uppnås, verktyget skall alltså inte uppmana till en onaturlig arbetsställning.

För att minimera belastningen bör verktyget inte vara för tungt. För precisionsverktyg rekommenderas en maximal vikt på 1,75 kg och med en tyngdpunkt som ligger så nära handleden som möjligt (Bohgard et al., 2015, s. 181).

2.2.2 Design för alla

Vid design av verktyg bör det vara utformat för att passa en så stor del av befolkningen som möjligt. Eftersom antropometri dock kan skilja sig stort från person till person väljer man ofta att designa utifrån den 5:e och 95:e percentilen (Bohgard et al., 2015, s. 171), alltså 90 % av normalpopulationen. För handverktyg kan utformningen individanpassas ännu mer för att det ska fungera praktiskt.

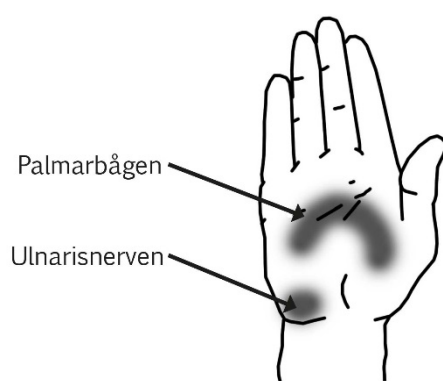
2.2.3 Grepp

Ett dåligt utformat grepp leder till att större handkraft används och till mer extrema handledsdeviationer (Das, 2007, s. 23). Handen är som starkast nära sin naturliga position eftersom olika muskelbukar har bäst möjlighet till kontraktion då (Marieb, 2007, ss. 247-248).

Ett bra utformat handverktyg signalerar vilket slags grepp som ska användas (Bohgard et al., 2015, s. 180) samtidigt kan det vara bra om det tillåter en varierad fattning för att undvika förslitningsskador.

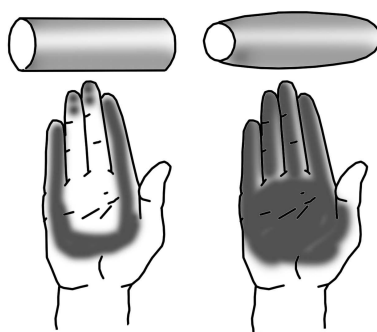
Kraftgreppet är ett vanligt grepp där fyra fingrar håller runt handtaget och tummen löper längs med. Rekommenderad vikt för verktyg som hålls på detta sätt är 1,1kg och inte mer än 2,3 kg (Das, 2007 s. 29). För kraftgreppet rekommenderas en minsta handtagslängd på 10 cm, 12,5 cm är mer bekvämt.

En huvudprincip för komfort är att kraften skall fördelas över en så stor yta som möjligt för att få ett så lågt yttryck som möjligt (Bohgard et al., 2015, s. 180). I Bias Das ergonomistudier (2007, s. 28) beskrivs hur handen har tre olika tryckkänsliga områden, palmarbågen, ulnarnerven vid handens början och handflatans mitt. De första två är markerade i figur 2.3. Artärerna, medianus nerven och senorna till fingrarnas flexormuskler gör tillsammans att handflatan är extra känslig för repetitivt tryck. Därför bör handtag vara bredare vid detta område och dessutom löpa bortom handflatan för att undvika en tryckkoncentration där.



Figur 2.3. Tryckkänsliga områden i handen.

För att fördela trycket bra ska handtaget designas så att det kommer i kontakt med en så stor del av handen som möjligt, alltså med ett cirkulärt tvärsnitt. Prof. Dr.-Ing. Habil. Helmut Strasser (2007, s. 9) menar dock att flera experimentella studier pekar på att ett rundat hexagonalt tvärsnitt är mer kompatibelt med handen och därför ger den bästa arbetseffektiviteten. Figur 2.4 visar hur yttrycket på handen fördelas olika beroende på handtagets utformning.



Figur 2.4. Yttrycket på handen fördelas bättre i handtag med en varierande tjocklek.

Handtagets diameter har alltså en stor ergonomisk betydelse, är det för tjockt appliceras kraften med fingerspetsarna vilket ökar kraften på senorna samtidigt som nettokraften är mindre jämfört med om kraften skulle komma från muskler längre ner i fingrarna (Das, 2007, s. 30). Om handtaget istället är för smalt kontraheras fingrarna så mycket att de inte längre är i en stark position. Dessutom utsätts handflatan för ett mer koncentrerat tryck. Den bästa kraften fås i handtag med en cirkulär diameter på cirka 3 till drygt 4 cm. Ett kantigt tvärsnitt bidrar även till en taktill feedback om hur mycket det vridits. För att undvika att handen glider på handtaget kan tvärsnittet även variera utefter handtagets längd.

Då ett moment skall överföras genom ett handtag är friktion mellan hand och handtag av stor betydelse (Bohgard et al., 2015, s.181). Friktionen påverkas av material, utformning och eventuell smuts. En låg profil på mikrostrukturen, såsom hos polerade blanka ytor, ger ett högt friktionstal (Bohgard et al., 2015, s.181). Det är dock inte alltid eftersträvaransvärt med en hög friktion mellan verktyg och hand, speciellt inte om byte av grepp sker ofta (Das, 2007, s. 26)

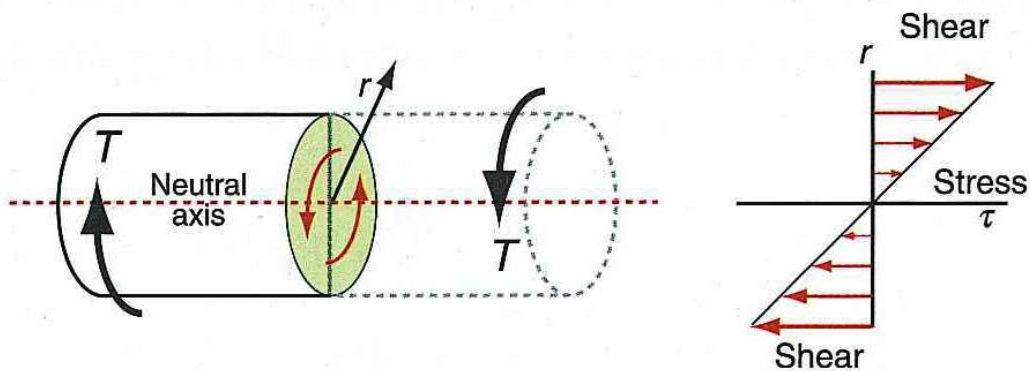
Hårdheten på handtagets material är också av betydelse. Eftersom kraften fördelas över en större yta vid mjuka material får de en fördel med avseende på komfort vid användartester. De mjuka handtagen för dock även med sig att användaren greppar med en större kraft jämfört med hårda handtag (Bohgard et al., 2015, s. 181).

Vid en ergonomisk utvärdering bör följande områden undersökas; statisk muskelkraft, onaturlig handledsposition, kön, hållning, repetitiv fingerrörelse och kompression av mjukdelar såsom muskler, fett, hud och senor (Das, 2007, s. 25).

2.3 Mekaniska påfrestningar

Vid användning av en sexkantsnyckel uppkommer axiella krafter och framförallt momentkrafter från rotationen (Das, 2007, s. 26). För att utvärdera vilka huvudprinciper som påverkar verktygets hållfasthet har enklare fall undersökts.

Då ett vridmoment T appliceras på en isotropisk stång med en likformigt tvärsnitt uppkommer en skjuvspänning τ (Ashby, Shercliff och Cebon, 2013, s. 97). Som kan ses i figur 2.5 är skjuvspänningen som störst i tvärsnittets ytterlägen, alltså där radien, r , är som störst.



Figur 2.5. Skjuvspänningen τ ökar radiellt från stångens symmetriaxel (Ashby et al., 2013, s. 97). Återgiven med tillstånd.

För cirkulära tvärsnitt varierar skjuvspänningen med radiellt avstånd, r , från symmetriaxeln och är beroende av K , ett mått på snittets motstånd att vridas (Ashby et al., 2013, s. 102). Sambandet kan ses i ekvation 1.

$$\tau/r = T/K \quad [1]$$

K är beroende av tvärsnittets utformning och kan för cirkulära tvärsnitt räknas ut enligt ekvation 2.

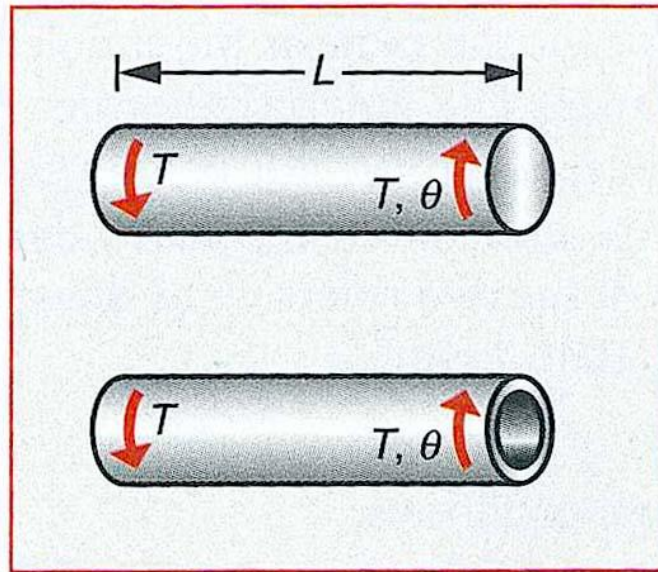
$$K = \int_{\text{section}} 2\pi r^3 dr \quad [2]$$

Om tvärsnittet inte är cirkulärt kommer K att vara mindre vilket kommer resultera i en större skjuvspänning för samma vridmoment (Ashby et al., 2013, s. 102).

Längden, L , från punkten där momentkraften appliceras av användaren till punkten då kraften överförs till skruven påverkas av en vridningsvinkel. Detta illustreras i figur 2.6 och sker på grund av att skjuvspänningen verkar vinkelrätt mot stångens axel (Ashby et al., 2013, s.102). Vridningen per längdenhet beror på skjuvspänningen och vridmomentet genom sambandet i ekvation 3.

$$\tau/r = T/K = G\theta/L \quad [3]$$

Där G är skjuvmodulen (materialberoende). Förhållandet mellan vridmomentet att vrida, T , per längdenhet är lika med GK , alltså vridstyvheten (Ashby et al., 2013, s. 103). För att minska vinkeln ska verktyget vara stumt.

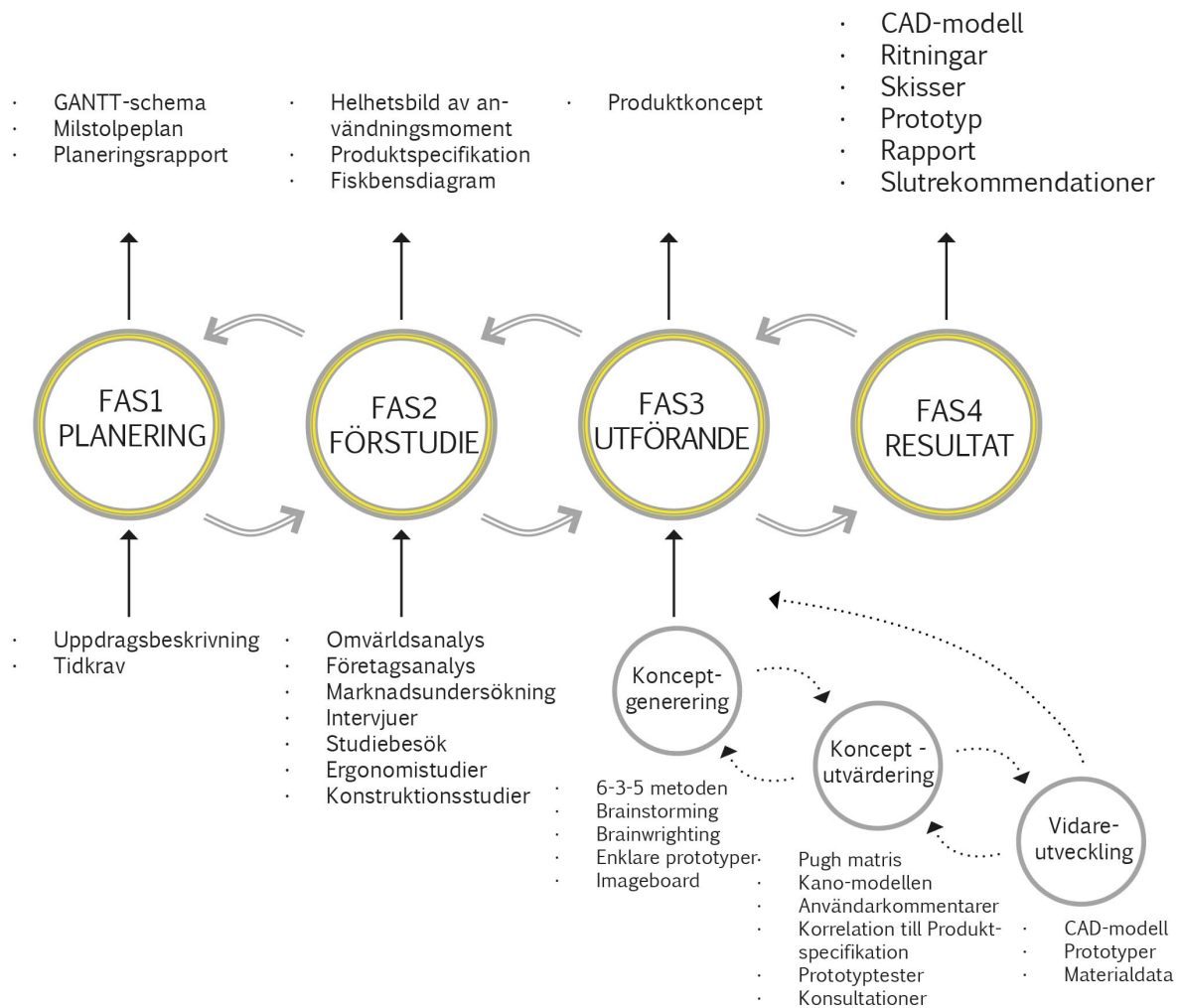


Figur 2.6. Skjuvspänningen från vridmomentet orsakar en stång med längden L att vridas vinkeln θ (Ashby et al., 2013, s. 102). Återgiven med tillstånd.

3. Metod

I följande kapitel presenteras de olika metoderna som utförts under projektet. Resultaten som metoderna gav beskrivs i nästa kapitel. Som illustrerat i figur 3.1 nedan är projektet indelat i fyra faser; planering, förstudie, utförande och resultat. Metoder som använts under respektive fas beskrivs under fasens rubrik.

Processen har karaktäriseras av I^3 , Iteration, Integration och Innovation. Iteration är en viktig del av designprocessen då det ger möjlighet att reflektera över resultat, omvärdera samt göra om en eller flera faser för ett bättre resultat (Johannesson, 2004, ss. 55-60). Gällande Integration syftar detta på både teknisk integration av olika teknikområden såsom material och tillverkning samt organisatorisk integration med olika kunskapsområden såsom Industridesign och Produktion. Det tredje "I"et står för Innovation, för att skapa nya kreativa lösningar genom en planerad utvecklingsprocess.



Figur 3.1. Projektet delades in i 4 faser där olika metoder gav olika utfall. Inspiration hämtad från Ehnborg & Parmstig (2015, s. 3). Modifierad och återgiven med tillstånd.

3.1 Planering

Utefter uppdragsbeskrivningen strukturerades en plan för projektets fortlöpning.

3.1.1 GANTT-schema & Milstolpar

I ett GANTT-schema listas olika aktiviteter i ett projekt. Aktiviteternas tid illustreras genom markeringar i en horisontell tidslinje. Detta användes för att få en överskådlig bild av projektets struktur (Johannesson, 2004, s. 578).

Milstolpar fungerar som checkpoints för att verifiera och uppmärksamma arbetets progress. En milstolpe kan till exempel vara att välja ett koncept. Denna metod användes för att kommunicera vilka faser som var i fokus genom projektets gång.

Både GANTT-schema och milstolpar finns bifogade som bilaga 1.

3.1.2 Planeringsrapport

För att organisera projektet skapades en vägledning i form av en planeringsrapport. Den beskriver projektets bakgrund, syfte, begränsningar, upplägg samt metoder som ansågs vara relevanta för att kunna nå målet.

3.2 Förstudier

För att få en holistisk problembild och en god kunskap inom ämnet samt angränsande områden genomfördes flera olika förstudier.

3.2.1 Situationsanalys

För att öka förståelsen av den uppfattning som ABB:s ledning har av företagets eftersträlvade position i marknadssystemet har en analys av företagets strategier och visioner gjorts. Syftet med företagsanalysen har varit att undvika ett slutkoncept som inte stämmer överens med företagets riktlinjer.

För att minska risken att leverera ett koncept som inte uppnår de krav som omvärlden ställer med avseende på anpassning och förändring har en omvärldsanalys genomförts där tekniska, demografiska och miljöinriktade faktorer undersökts.

Även en marknadsundersökning har gjorts för att få en bild av till vilka och i vilken omfattning verktyget säljs idag. Marknadsundersökningen har också syftat till att ta reda på var ABB och dess produkter står i förhållande till andra aktörer.

3.2.2 Litteraturstudier

Data från tidigare använt verktyg har samlats in tillsammans med statistik rörande hur många som säljs och till vilka länder.

Eftersom det är viktigt att verktyget uppnår kraven för den internationella standarden IEC 60900 har den undersökts grundligt.

För att determinera vilka designval som påverkar ergonomin positivt har litteraturstudier inom området genomförts. Även litteratur angående mekaniska påfrestningar och material har studerats för att få en ökad förståelse av konstruktionsmässiga fördelar samt vad som påverkar kostnad och miljö.

3.2.3 Observationer & Intervjuer

En etnografisk analys har genomförts där användare och användningsmoment observerats i sina naturliga miljöer. Detta var för att få en djupare förståelse för användningen och för att få en mer komplex problembild (Blomberg, 1993). Många gånger skiljer sig vad en person beskriver i ord vad hen gör från handlingarna hen verkligen utför. Delar av momentet som inte kommer fram i en intervju kan bli synliga och därmed leda till en bättre kravbild. Under observationerna har film, ljudinspelning och anteckningar använts som hjälpmedel för

dokumentation. För att underlätta processen att analysera materialet har transkribering av ljud och videokällor genomförts. Transkribering finns i bilaga 2.

Under projektets gång har en blandning av strukturerade och ostrukturerade intervjuer använts. Frågor som har formulerats i förhand har kombinerats med mer öppna samtal där olika områden snarare än specifika frågor har tagits upp. Detta för att få både kvantitativa svar och mer djupgående kvalitativa svar.

Även kvantitativ data har samlats in via ett frågeformulär. Enkäten tillämpades i samband med Kano-modellen och beskrivs mer ingående i avsnitt 3.3.2.

3.2.4 Kravspecifikation

De krav som tolkades utifrån förstudierna sammanställdes i en kravspecifikation. Detta dokument editerades löpande under projektets gång på grund av tillskott av information och iterativa loopar.

3.2.5 Fiskbensdiagram

För att vidare undersöka vad som påverkar verktygets design och kapacitet i ett holistiskt perspektiv gjordes ett fiskbensdiagram, eller Ishikawadiagram. Diagrammet består av sju områden representerade av 7M; management, människa, metod, mätning, maskin som här motsvarar själva verktyget, material och miljö (Bergman och Klefsjö, 2007). Genom att analysera de olika områdena var för sig kunde en mer rättvis bild av vad som påverkar produktens prestanda ges.

3.2.6 Verktygsstudie

Besök hos återförsäljare av verktyg har gjorts för att studera design hos befintliga verktyg. En särskilt intressant fråga att undersöka var: Vad gör att ett verktyg utstrålar kvalitet respektive dålig kvalitet? Granskning av olika verktygs design har även skett via sökningar på internet.

3.3 Utförande

Utförandefasen, som skulle kunna kallas för konceptfasen, delades in i konceptgenerering, konceptutvärdering och vidareutveckling.

3.3.1 Konceptgenerering

Vid konceptgenereringen är det viktigt att förhålla sig positiv och mottaglig till alla idéer, speciellt i början då man strävar efter en stor lösningsrymd (Hanington och Martin, 2012, s. 22). De bästa lösningarna kan sedan identifieras och kombineras för att senare finslipas.

Inledningsvis användes brainstorming och brain writing för konceptgenerering. Olika förslag illustrerades och skrevs ned på papper för vidare diskussion. En annan metod som gav flera idéer var en variant av 635-metoden. Metoden innefattar att sex personer skriver ner och/eller illustrerar tre olika idéer som sedan utvecklas av övriga deltagare fem gånger. Varje omgång

av tre idéer pågår under fem minuter. I detta fall medverkade endast två personer. Fördelen med metoden är att utövare kan hitta inspiration från varandra och utveckla varandras idéer.

För att skapa en gemensam föreställning om vilket uttryck och estetisk riktning slutresultatet skall ha skapades en imageboard. På grund av copyright finns inte denna med i rapporten.

Rapid prototyping har flera gånger tillämpats för att få en bättre uppfattning om dimensioner, ergonomi och estetik. Material som använts är cellplast, lera, balsaträ och sexkantnycklar. Genom att omvandla en idé till en fysisk prototyp kunde modellerna utvärderas bättre.

Förutom handskisser användes hjälpmedel som CAD och fotoredigeringsprogram för att snabbt illustrera olika koncept.

För att undersöka hur ett spärrhandtag fungerar monterades ett sådant isär. Även en nyckel med snabbkoppling plockades isär för att undersöka fjäder och kulors placering.

3.3.2 Konceptutvärdering

Presentationer för utvärdering

Fyra olika konceptlösningar presenterades för handledare på ABB och Chalmers samt för drifttekniker. Som presentationsunderlag användes skisser, enkla CAD-modeller och beskrivande texter. Kontakt skedde dels via personliga möten men även via mail och telefon.

För att inte något koncept skulle dra fördel av tydligare illustrationer var presentationen av respektive koncept ungefär lika utförligt.

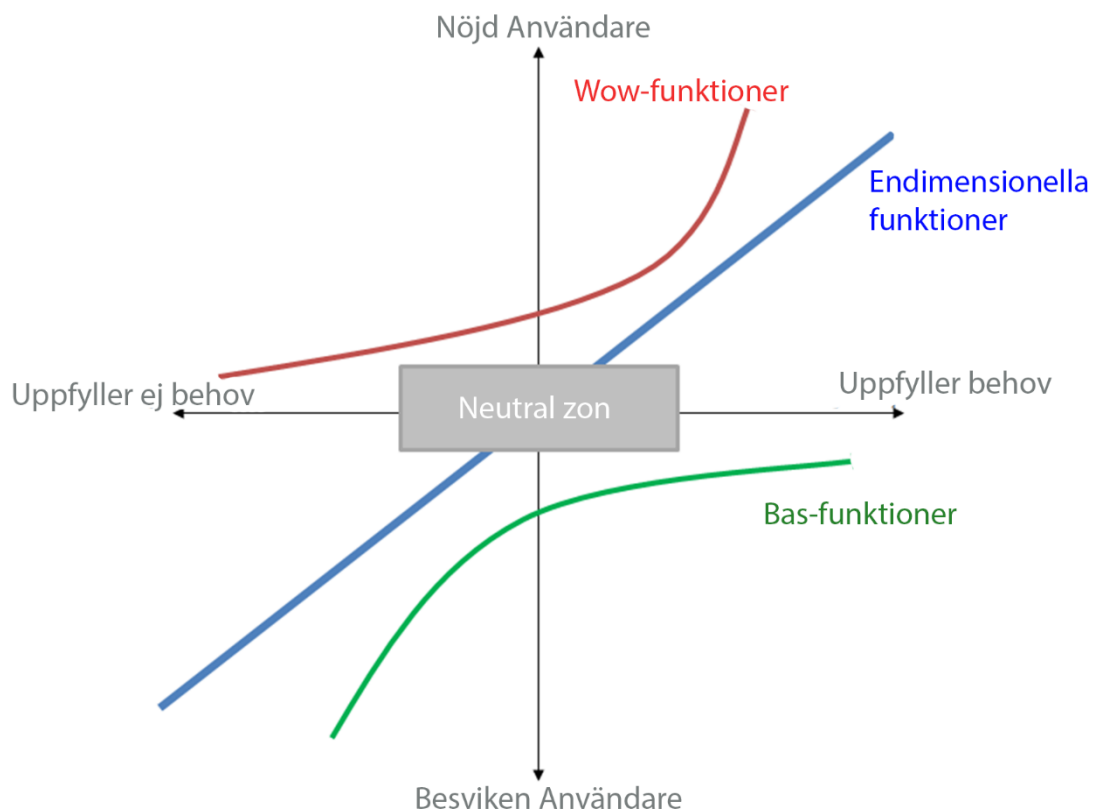
Beslutsmatris enligt Pugh

För att utvärdera hur bra lösningarna uppfyller kraven i produktspecifikationen i jämförelse med referenslösningen ställdes de upp i en Pugh matris (Johannesson, 2004, ss.132-137). Olika krav viktades från 1-5 beroende på om de var mindre viktiga 1, eller mycket viktiga 5. Därefter fick koncepten kravets poäng om de uppfylldes bättre än referenslösningen, minus kravets poäng om det inte uppfylldes lika bra som referenslösningen eller 0 poäng om det inte var någon skillnad. Poängsumman för vardera koncept kunde sedan användas som underlag för konceptutvärdering. Eftersom två koncept eliminerats tidigare gjordes analysen på de två bestående lösningarna.

Kano-modellen

För att undvika en partisk utvärdering av koncepten användes Kano-modellen. Modellen ger en bra bild av vad användare ser som viktiga och mindre viktiga funktioner (Hanington och Martin, 2012, s.106,107). Betydande funktioner delas in i "basfunktioner" som måste inkluderas, "endimensionella funktioner" som ökar värdet linjärt desto mer funktionen uppfylls och "wow-funktioner" som överskrider användarens förväntningar. För att eliminera funktioner som inte bidrar till ett ökat kundvärde och för att identifiera funktioner som varken gör till eller från finns även klassificeringarna "omvända funktioner" och "likgiltiga

funktioner”. I figur 3.2 är de olika grupperingarna illustrerade i ett koordinatsystem med behovsuppfyllnad på x-axeln och kundtillfredsställelse på y-axeln.



Figur 3.2. Beskrivning av Kano-modellens axlar och attribut. (Brown, 2012). CC-BY-SA 3.0.

Ett frågeformulär konstruerades och skickades med mail till ett trettiotal elbolag i Sverige. 47 elmontörer svarade på nio frågor samt nio motfrågor, exempelvis ”Vad tycker du om att verktyget skulle kunna få plats i fickan?” och ”Vad tycker du om att verktyget inte får plats i fickan?”. Svaren översattes till kundvärden och de olika funktionerna kunde placeras i ett koordinatsystem utefter uppnått värde och funktionsuppfyllnad. Frågeformuläret finns bifogat som bilaga 3.

3.3.3 Vidareutveckling

Konsultationer

Vid flera tillfällen har expertis från personer med kunskapsområden relevanta till projektet utnyttjats. Inblandade hade speciell kunskap inom bland annat produktutveckling, materiallära, konstruktionselement och ellära. Rådgivning med drifttekniker har använts för kontinuerlig utvärdering.

Materialutvärdering

Enligt föreläsning vid Chalmers tekniska högskola är en viktig öppnande fråga vid val av material: ”Om vi kan ändra formen kan vi då använda ett annat material?”. Att undersöka samverkan mellan ett materials styvhet och tvärsnitt är mycket användbart. I den teoretiska

referensramen har mekaniska påfrestningar som tvärsnittets inverkan på vridmotstånd undersökts.

Nivå 3 i materialdatabasen CES Edupack har använts för att undersöka alternativ till det isolerande material som används i VHB-68. Parametrar som ansågs vara särskilt viktiga vid selektering av material har ingått i följande kategorier: pris, mekaniska egenskaper, termiska egenskaper, elektriska egenskaper, bearbetningsmöjligheter, materialets miljöpåverkan samt omgivningens påverkan på materialet. Vid evaluering av sållade material användes en variant av PNI för att komma fram till en rekommendation.

Iterativ utvärdering och realisering av konstruktionsförslag

I samband med ergonomistudier har grundläggande former och storlekar snabbt kunnat kommuniceras och provats genom modellering i lera.

Under processen av att ta fram en detaljkonstruktion har dimensionering utforskats med hjälp av CAD. Måttställning har skett i programvaran Catia V5 för att undersöka vilka geometriska utrymmen som fanns eller behövdes för att implementera olika lösningsförslag. CAD har också använts för att på kort tid kunna verifiera och justera mekaniska element.

Konstruktioner som ansågs vara funktionsdugliga skrevs sedan ut i 3D för analog utvärdering. Områden som skulle verifieras med prototypen var komfort och ergonomi, storlek, mekaniska element samt estetik. Gällande de estetiska elementen var det form snarare än färg som utvärderades i det här momentet, reflektion av färgval gjordes istället med CAD. Prototypen var inte avsedd att fungera för användning.

4. Resultat och Analys

Resultatkapitlet redovisar de resultat som framkommit under projektets fortlöpning och bedömning av dessa. Avslutningsvis presenteras ett slutkoncept.

4.1 Situationsanalys

I detta avsnitt presenteras resultatet av en övergripande analys av ABB samt faktorer i omvärlden som kan vara intressanta att ta hänsyn till. En undersökning av verktygets marknadsområde ingår också i detta kapitel.

4.1.1 Företagsanalys

En säljande punkt som ABB trycker på gällande deras kabeltillbehör är deras tillförlitliga kunskaper baserade på över hundra år av erfarenhet. Sammanfattningsvis ska tillbehören utstråla enkelhet, trygghet och innovation (ABB, 2017a).

På ABBs hemsida beskrivs hur “ABB anstränger sig för att minimera företagets miljöpåverkan och säkerställa hälsa, säkerhet och personskydd för alla som kommer i kontakt med våra produkter och verksamheter” (ABB, 2017b). Detta sker genom att inkludera ett

hållbarhetstänk redan i produkternas konstruktionsfas. Konkreta tillämpningar kan vara att använda förnybara energikällor, miljövänliga material och minska materialvolymen samt utsläpp från tillverkningsprocesser. En annan aspekt är att optimera transporter och förpackningar (ABB, 2017c).

Vid ett personligt möte med säljare på ABB framkom det att färg är en viktig aspekt inom branschen. Framför allt för att signalera funktioner. Exempel är färgkodningen av kablar. Ett genomgående färgtema på kabeldons moduler är en mörk och en ljus nyans av grå samt en gul kulör, vilket kan ses i figur 4.1. Vad gäller Kabeldons monteringsverktyg fyller färgen däremot ingen funktion idag.



Figur 4.1. En apparat med representativa färger för Kabeldons moduler (ABB, 2015). Återgiven med tillstånd.

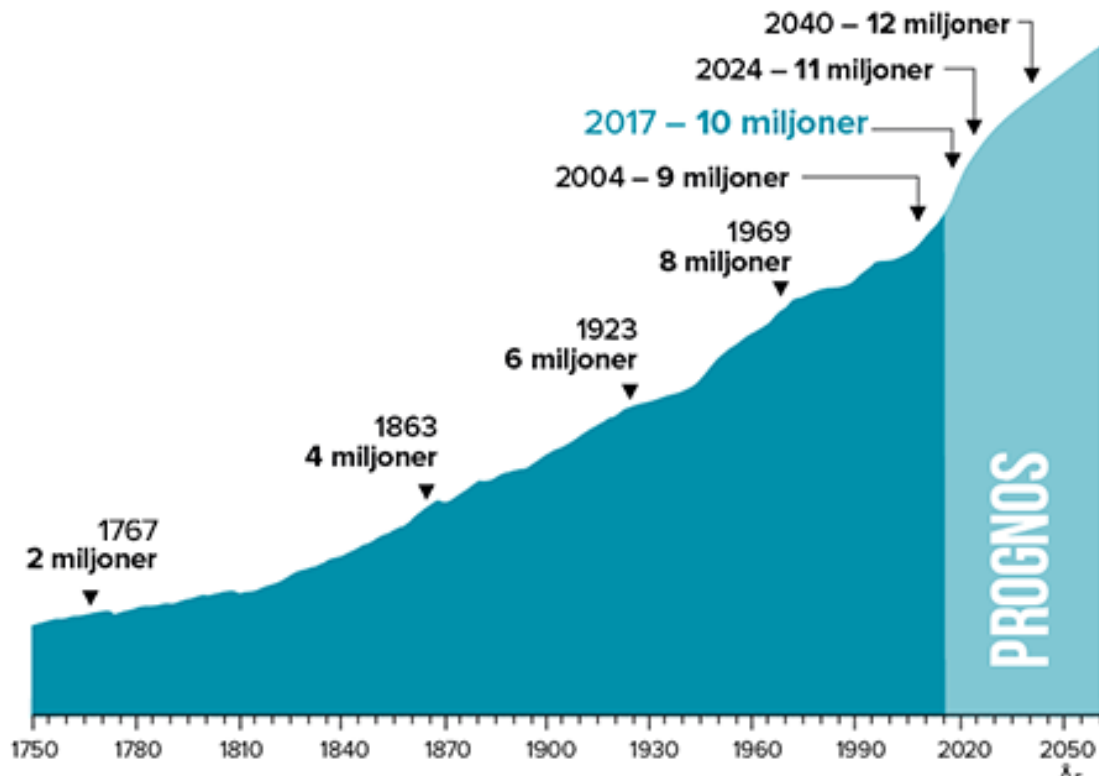
4.1.2 Omvärldsanalys

Tekniska faktorer

En tydlig uppåtgående trend inom bilindustrin är försäljningen av elbilar (Sveriges television, 2017). Även större transportmedel som fartyg i linjetrafik går över till att använda el som energikälla. Detta är något som ABB utvecklar för Öresundsfärjorna där en övergång sker från dieselgeneratorer till batterier som laddas vid dockning (Scandlines, 2016). Detta skulle kunna innebära att mängden CDC-skåp i omvärlden ökar. Betydelsen av funktionaliteten hos verktyg som används för att utföra spänningsarbete kan därför bli större i framtiden än vad den är idag.

Demografiska faktorer

Befolkningsmängden i Sverige ökar (Statistiska centralbyrån, 2017). Även detta är en faktor som indikerar på att verktyg för monteringsarbete relaterade till spänning kommer att bli viktigare i takt med att omfattningen av elnätet eventuellt behöver utökas. En folkmängdskurva kan ses i figur 4.2.



Figur 4.2. Befolkningsstatistik samt en prognos av folkbokförda i Sverige fram till 2050 (Statistiska centralbyrån, 2017).

Legala faktorer

Elavbrott får enligt lagen inte pågå längre än 24 timmar. Efter 12 timmars avbrott har kunden rätt till ersättning (Lindholm, 2017). Detta är ett exempel på en stressfaktor som kan upplevas av drifttekniker då de kan behöva arbeta under tidspress.

4.1.2 Marknadsundersökning

Både Alingsås energi och en säljare på ABB, menar att VHB-68 är det enda verktyget av sitt slag, att det inte finns någon alternativ produkt på marknaden idag. År 2016 såldes 5576 verktyg enligt information från säljaren. De säljs via grossister och bruttopriset är 948 kr.

Säljaren på ABB säger också att verktyget levereras framförallt till länder i Norden. Sverige står för 70% av marknadsandelarna, Finland för 15%, Norge för 6% och övriga länder för 9%. Varför VHB-68 säljs till dessa länder är på grund av att länderna använder sig av ABB:s system.

ABB har nyligen sålt ett stort paket till Zambia, både elnät och elskåp. Därför kan även varma klimat vara aktuella (ABB, 2017d).

4.2 Förstudie

Under förstudien samlades ett underlag för att klargöra krav på verktyget, inte minst från användarna. Dessa kompletterades med riktlinjer från ergonomistudier och annan viktig information från standarden IEC 60900 samt riktlinjer för mekaniska påfrestningar.

4.2.1 Användarstudier, Produktbeskrivning

I CDC skåpen är apparater eller serviser upphängda på strömförande skenor. Skenorna är belagda med ett isolerande polyamidskikt så att endast det inre spåret i skenan blir strömförande. Apparaterna eller säkringsfrånskiljarna kopplas på skenan med hjälp av VHB-68. Eftersom detta arbete i särskilda fall utförs även när ström är på vill driftteknikerna kunna utföra momentet på ett avstånd som upplevs säkert. Verktuget används i princip dagligen, från två till åtta timmar beroende på vad för slags arbete som utförs.

Vid montering sätter man alla moduler i skåpet på plats med ett relativt lågt moment, sedan spänner man åt med momentnyckel. Vid användning av momentnyckel hålls vanligtvis en tvåhandskoppling som syns i figur 4.3. Ett vanligt grepp vid användning av T-handtaget kan ses i figur 4.4. Olika apparater skall spännas med olika vridmoment. Maxmoment för 6:ans nyckel är 20Nm och max för 8:ans nyckel är 45Nm. Dock används verktuget även för andra system än ABB:s där dragningar på 50Nm utförs. Vid lossning kan ännu högre moment förekomma.



Figur 4.3. Exempel på tvåhandsfattning vid användning av momentnyckel i kombination med VHB-68



Figur 4.4. Ett vanligt grepp vid användning av T-handtaget på VHB-68.

4.2.2 Ergonomi

Verktygets ergonomiska egenskaper har en betydelse för hur den kommer att skattas av användaren. Att förbättra ergonomin kan bli en utmaning då det kan försämrade det som användarna upplever smidigt och funktionellt med dagens verktyg. Samtidigt kan en god ergonomi leda till en förbättrad arbetsupplevelse, speciellt i ett längre perspektiv.

Vid intervjuer med Alingsås Energi framkom att flera drifttekniker har smärtor i leder som axlar och handleder. Om det beror på momentet med sexkantsnyckeln är inte verifierat. Känt är att vanliga arbetspositioner för driftteknikerna ofta innefattar att sitta på huk eller på knä med böjd och vriden rygg.

I kravspecifikationen, bilaga 4, listas de olika ergonomiska kraven som har identifierats.

4.2.4 Semantiska uttryck för elektronik

Verktyget skall signalera att det är ämnat för arbete nära spänning. De semantiska uttrycken skall representera säkerhet och funktion. Efter en marknadsanalys av olika isolerade verktyg kunde det konstateras att de flesta hade runda och mjuka former, vilket både kan vara en indikation på grepp och ergonomi men även ett resultat efter valet av isolerande material. Merparten av verktygen är röda, gula eller orange, färger som ofta används för att dra till sig uppmärksamhet (Sherin, 2012, s. 90).

4.3 Produktspecifikation

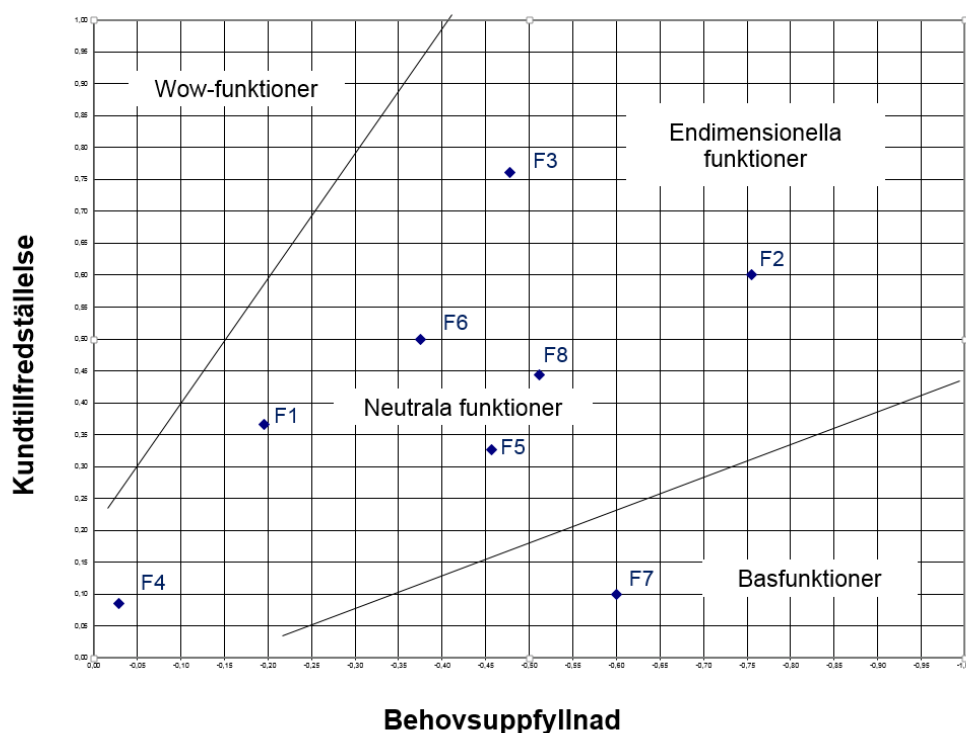
Produktspecifikationen klargjorde vilka krav verktyget behövde uppfylla samt vilka önskvärda funktioner som skulle kunna integreras i designen.

4.3.1 Kravspecifikation

Den fullständiga kravspecifikationen finns i bilaga 4. Förutom målvärde/kommentar på respektive krav viktades även hur viktigt kravet ansågs vara på en skala 1-5.

4.5.1 Kano-modellen

Kano-modellen visade att flera funktioner var “endimensionella”. Särskilt viktigt var att 6:ans och 8:ans nyckel var integrerade i samma verktyg och att handtaget var T-format. Andra funktioner som ansågs öka värdet men inte lika starkt var att verktyget skulle vara kompatibelt med en skruvdragare, att det skulle vara lättare än 0,4 kg och att det skulle gå snabbt att byta mellan 6:ans och 8:ans nyckel. Att verktyget är lika långt som dagens verktyg eller kortare ansågs vara ett måste. Andra indikationer som undersökningen gav var att elmontörerna hade likgiltig inställning till färgval samt möjlighet att få plats med verktyget i ficka. Svar angående handtags tjocklek varierade från önskan om ett smalare till önskan om ett tjockare handtag vilket resulterade i att Kano-modellen valdes att inte appliceras vidare på denna funktion. Funktionernas placering i ett kundtillfredställelsediagram kan ses i figur 4.5. Tillvägagångssättet för beräknat kundtillfredställe- och behovuppfyllnadsindex har skett enligt Matzlers & Hinterhubers (1998, ss. 25-38) guide som nämns i referenslistan.

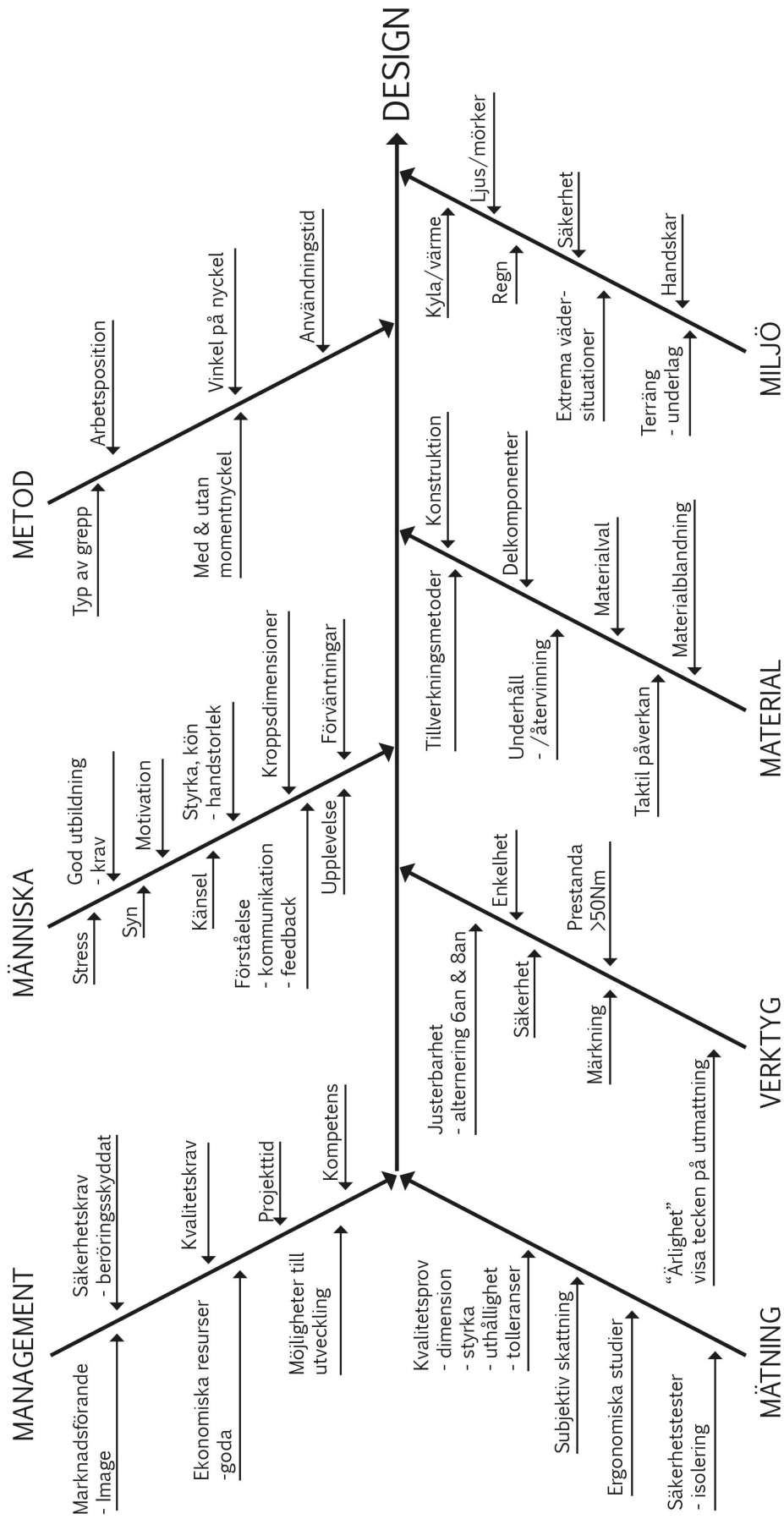


F1	Betydelse av att verktyget får plats i en ficka	F5	Betydelse av ett lättare verktyg än VHB-68
F2	Betydelse av att ha 6:an och 8:an i samma verktyg	F6	Betydelse av kombabilitet för skruvdragare
F3	Betydelsen av ett T-handtag	F7	Betydelse av att verktyget är kortare än VHB-68
F4	Betydelse av nytt färgval	F8	Betydelse av snabbare eller likvärdig alternering mellan 6 och 8

Figur 4.5. Resultatet av undersökningen, utförd enligt Kano-modellen, sammanställt i ett kundtillfredställelsediagram.

4.3.2 Fiskbensdiagram

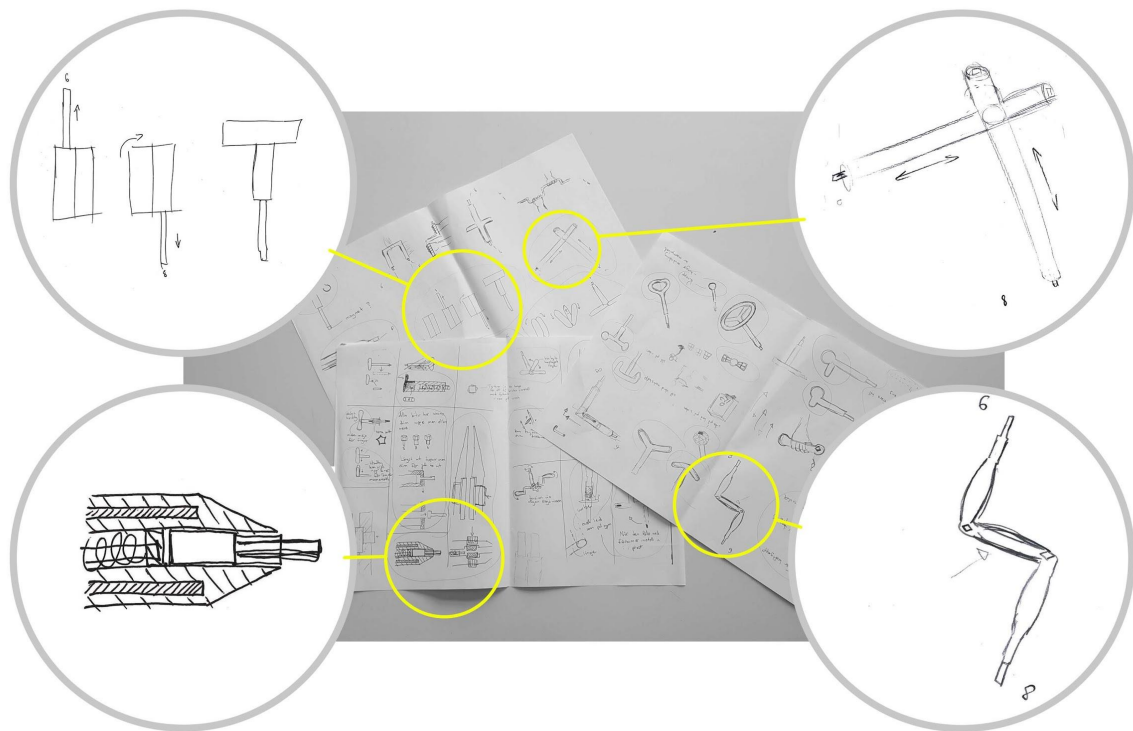
Fiskbensdiagrammet i figur 4.6 hjälpte till att bena ut olika faktorer som kan påverka produktens prestanda.



Figur 4.6. Fiskbensdiagram med faktorer som kan påverka produktens prestanda.

4.4 Konceptgenerering

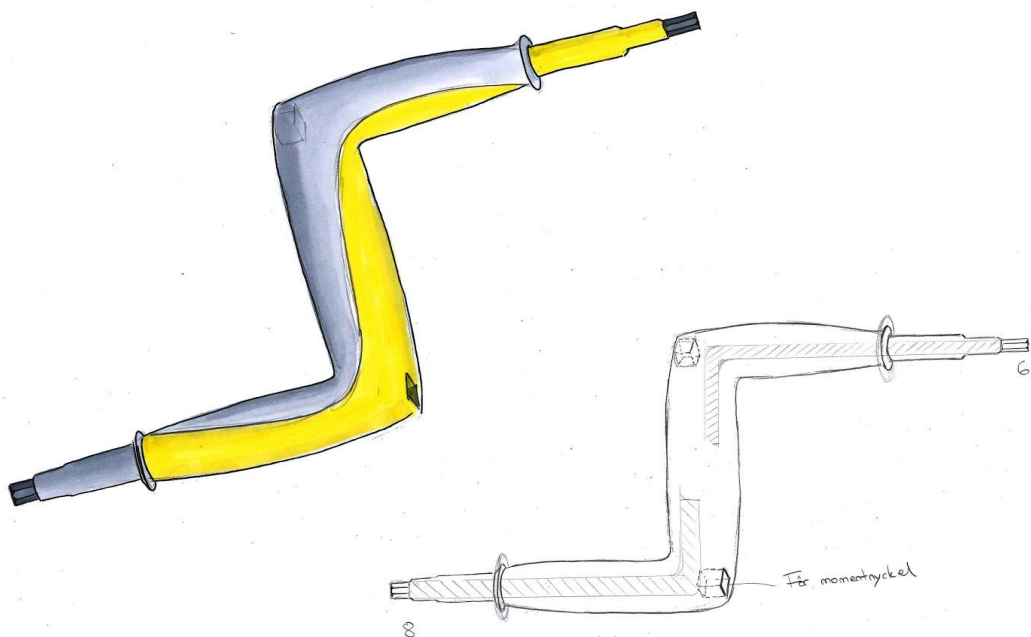
Vid den tidiga konceptgenereringen kunde lösningsförslagen delas in i två olika typer av lösningar; olika slags handtag och olika alternanser av storlek på sexkantsnyckel. Fyra koncept valdes ut för vidare illustration och beskrivning. I figur 4.7 syns koncepten i sin idéfas.



Figur 4.7. De fyra markerade lösningarna vidareutvecklades efter den tidiga konceptgenereringen.

4.4.1 Koncept 1

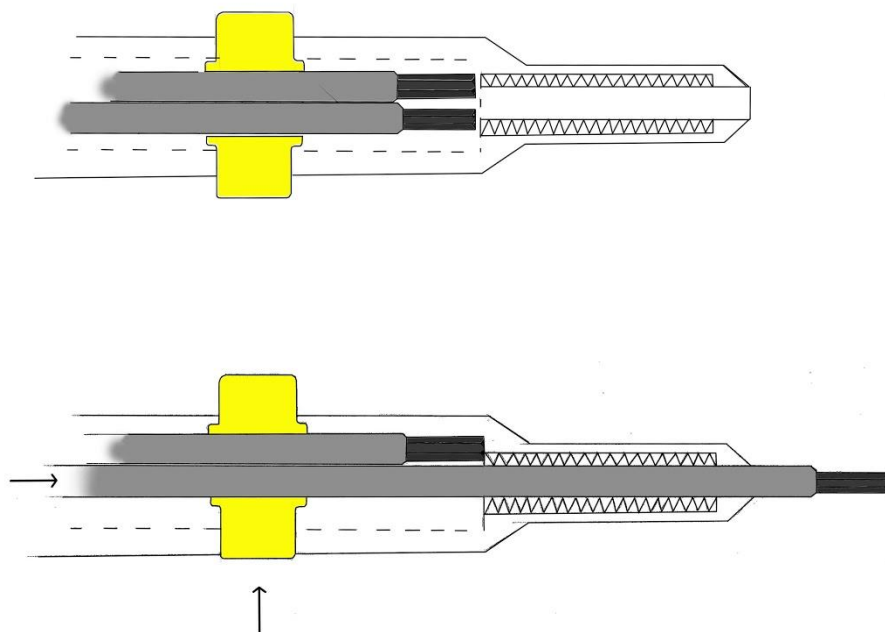
Konceptet, skissat i figur 4.8, är ett blyxtformat fast verktyg med två sexkantsnycklar, en 6:a respektive 8:a placerade i vardera ände. Tanken är att använda den ena nyckeln som ett handtag för den andra, nästan som en vinsch. Vid toppen av respektive handtag finns infästning för momentnyckel. Mittendelen av verktyget kan också användas som ett handtag. För att verktyget skall synas väl är det ljust grått och gult. Att färgerna även stämmer överens med kabeldots temafärger indikerar att det är avsett för dess produkter. Användning av två olika färger kan även underlätta för snabb identifiering av storleken på sexkantsnyckeln. I konceptet är 8:an grå och 6:an gul.



Figur 4.8 Koncept 1 liknar en vev med olika dimension på sexkantnycklar i respektive ände.

4.4.2 Koncept 2

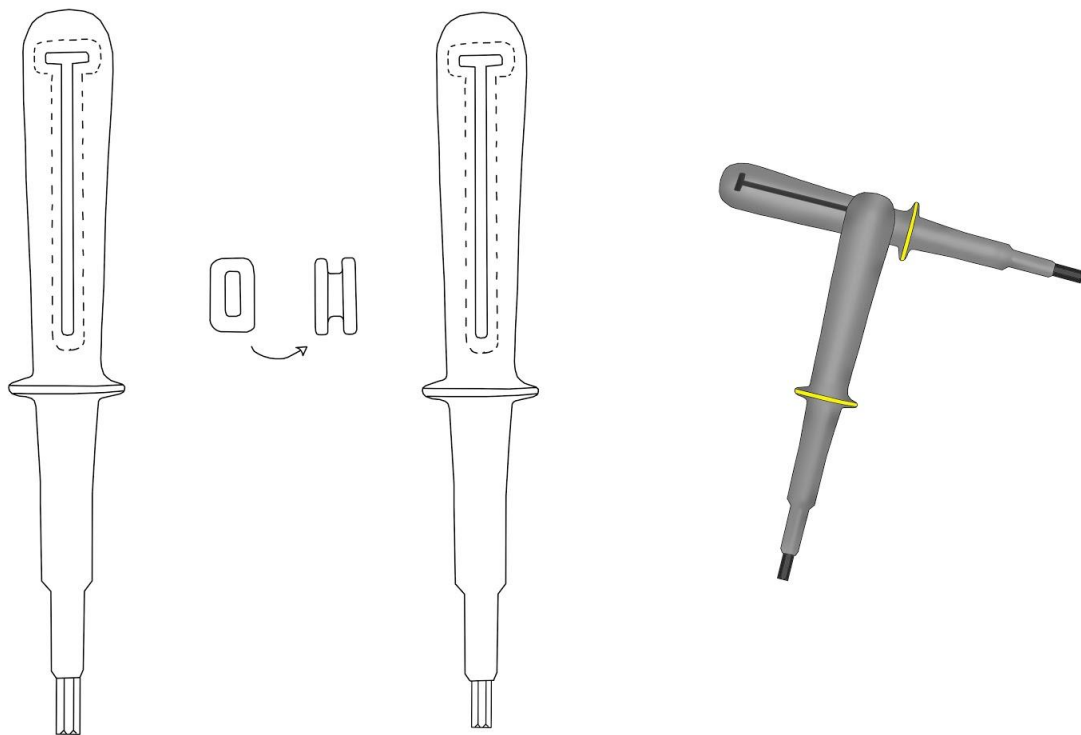
Verktyget har en hylsa som är laddad med 6:ans och 8:ans sexkantnycklar. Val av nyckel kan alterneras genom en knapp som förflyttar nycklarna i sidled. Detta är illustrerat i figur 4.9 nedan. Beroende på förskjutningen är en av nycklarna centrerad över munstycket och kan då tryckas ut för användning. Därefter låses den fast med en spärr (ej illustrerad i figuren). Vid lossning av spärren skjuter en fjäder tillbaka nyckeln in i hylsan. Funktionen kan liknas med en vanlig bläckpenna. Konceptet behöver vidareutvecklas mekaniskt.



Figur 4.9. Koncept 2 fungerar likt en kulspetspenna och möjliggör alternering mellan nyckeldimensionerna med en knapptryckning.

4.4.3 Koncept 3

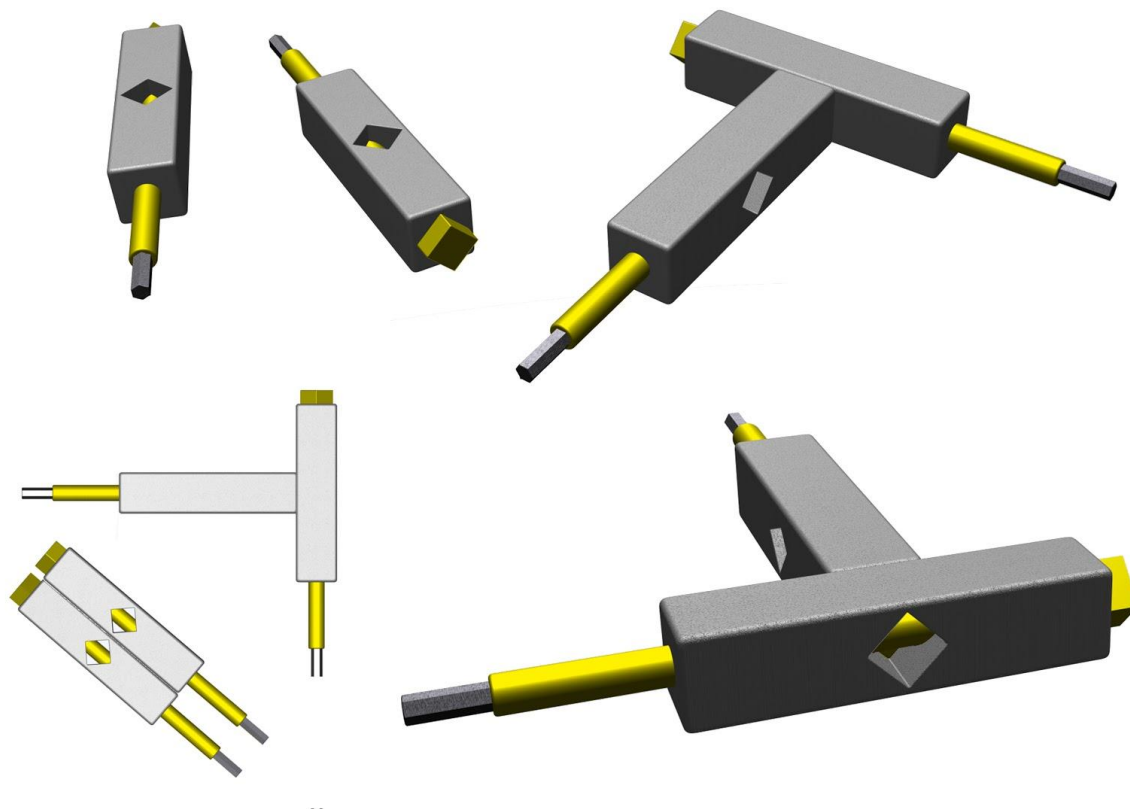
Verktyget består av två sammankopplade nycklar, en 6:a och en 8:a som illustreras i figur 4.10. De sitter ihop med en led som genom en skena löper längs med och innanför respektive handtag. Detta möjliggör alternering av vilken nyckel som tjänar som handtag respektive vilken sexkantsnyckel som används. Längst upp på respektive mejsel finns en koppling för momentnyckel.



Figur 4.10. Koncept 3 bygger på två ihopkopplade nycklar som genom en skena kan alternera vilken sexkantsnyckel som ska användas.

4.4.4 Koncept 4

Lösningen består huvudsakligen av två mejslar med sexkantsnyckel 6 respektive 8. Dessa kan antingen användas var för sig eller kopplas ihop till en T-konstruktion för att åstadkomma högre moment. I mitten på vardera mejsel finns utrymme för sammankoppling av mejslarna samt momentnyckel. Formen på mejslarna är endast funktionsbaserad och behöver utvecklas till en mer ergonomisk form. Konceptet visas i figur 4.11.



Figur 4.11. Koncept 4 består av två nycklar som kan kopplas samman för ett T-handtag.

4.5 Konceptutvärdering

Kombinationen av olika metoder för att utvärdera koncepten gav en allsidig bedömning.

4.5.2 Presentationer för utvärdering

Flera användbara kommentarer framkom från presentationer av de fyra tidiga lösningarna. Nedan presenteras feedback för respektive koncept. Efter utvärderingen kunde två koncept elimineras, koncept 2 och 3 medan 1 och 4 valdes att vidareutvecklas.

Koncept 1

Det generella intrycket av lösningen var att det var ett robust verktyg med tydlig funktion. Oro fanns dock för att det skulle bli för otympligt, att det skulle ta för mycket plats i sidled under användning.

Ett förslag var att utveckla konceptet med en spärranordning så att man endast behöver svänga handtaget i en kortare båge. Vid närmare undersökning visade sig detta dock inte vara kompatibelt med momentnyckel.

Koncept 2

Många ansåg konceptet vara intressant och ha en "rolig funktion". Konstruktionen ansågs dock vara komplex och inte anpassad för en utomhusmiljö. Smuts och fukt skulle kunna komma in i hylsan vilket i sin tur skulle kunna förstöra mekaniken.

Koncept 3

Det övergripande intrycket var att det var en intressant idé med utvecklingsbehov.

För att göra verktyget mer hållbart kan skenan vara i metall, även länken som håller ihop de båda nycklarna skulle kunna vara i metall. Flera ställde sig tveksamma till huruvida själva T:et skulle vara bekvämt att hålla i då de båda nycklarna ligger i olika plan. Den ena nyckeln skulle kanske pressas in mot handen.

Koncept 4

Lösningen som fick mest positiv feedback var koncept 4 som ansågs vara smidigt och enkelt. Formen såg dock obekväm ut och då nycklarna kopplas ihop för att skapa ett T-handtag finns risk att det upplevs för långt. Fördelen är möjlighet att använda verktygen en och en. Momentnyckel skulle kunna kopplas antingen i slutet av respektive nyckel alternativt i mitten där de kopplas samman. För att vid höga moment motverka glidning mellan sexkantsnyckel och det isolerande materialet skulle den kunna förankras med ett större avslut alternativt med hullingar.

4.5.2 Beslutsmatris enligt Pugh

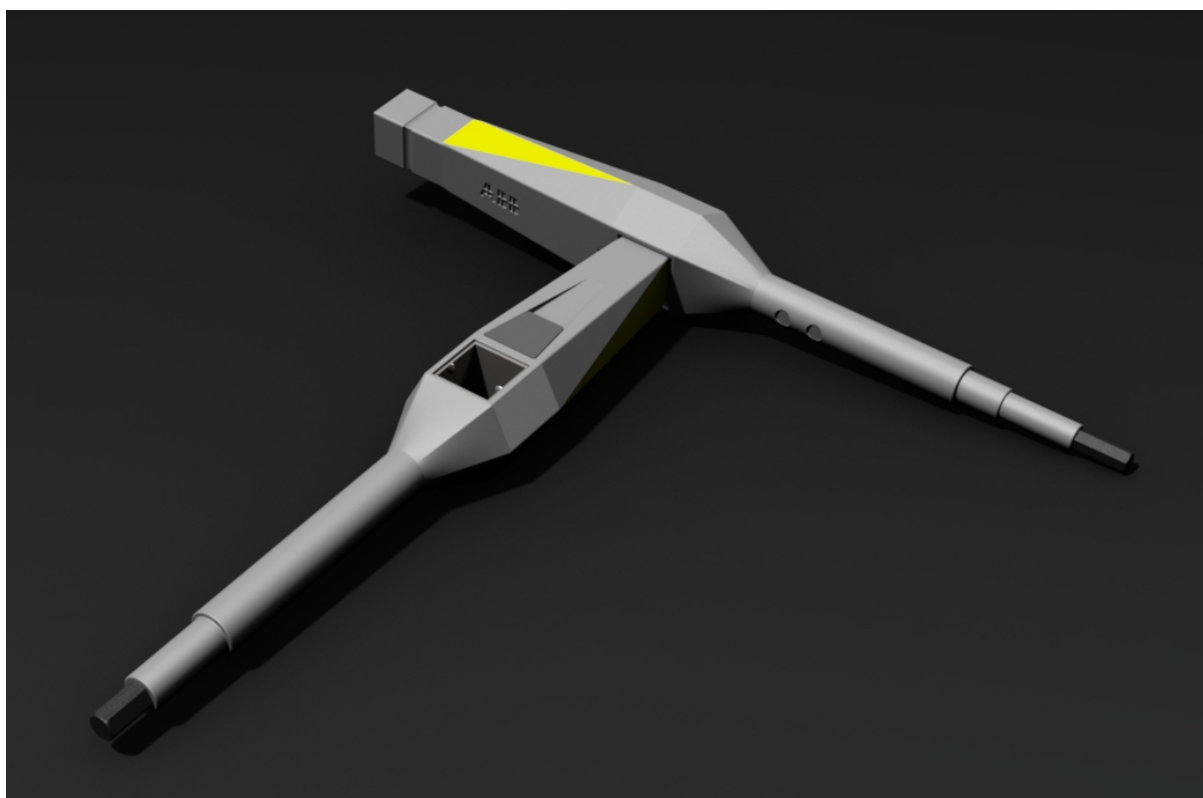
Pugh matrisen som utvärderade koncept 1 och 4 gav en tydlig vinnare. koncept 4 fick 53 poäng jämfört med Koncept 1 som fick 37. Framförallt fick koncept 4 högre poäng då det möjliggör fler grepp med en god handfattning och flexibilitet gällande arbete med nycklarna sammankopplade alternativt en och en. Andra krav som gav lösningen en högre poäng var att det är lätt att ta med sig och att det tar lite plats att förvara i en verktygslåda. Koncept 1 fick goda poäng tack vare dess enkelhet och uteslutande av klämrisk.

4.6 Konfigurering & Detaljkonstruktion

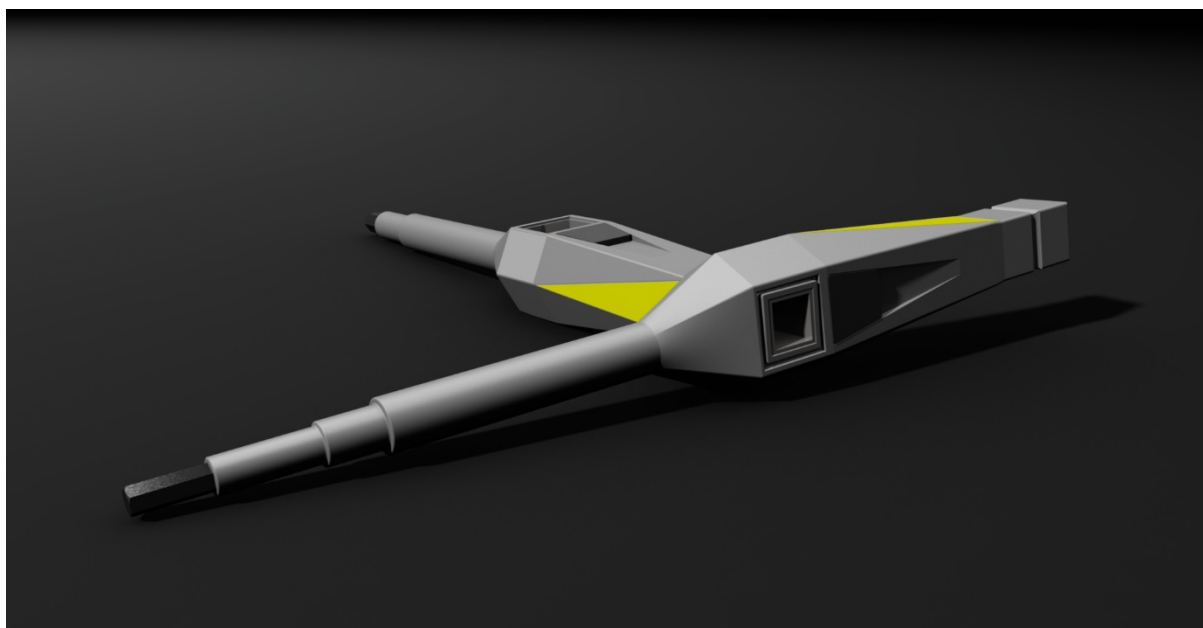
Vidareutvecklingen av Koncept 4 var framförallt fokuserad på att göra lösningen ergonomisk och funktionellt hållbar. Materialval presenteras även i det här avsnittet. I figur 4.12 syns några av de många modellerna som gjordes för att vidareutveckla konceptet. Figur 4.13a - 4.13d visar den slutgiltiga designen. Konceptuella ritningar finns i bilaga 6.



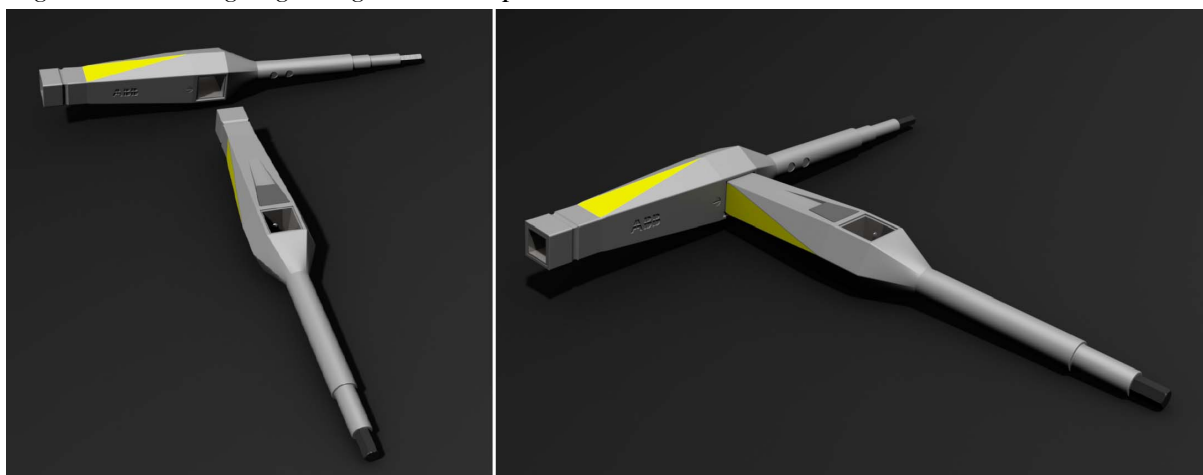
Figur 4.12. Modeller i lera och skumplast.



Figur 4.13a. Slutgiltig design av koncept 4.



Figur 4.13b. Slutgiltig design av koncept 4.



Figur 4.13c. Slutgiltig design av koncept 4.



Figur 4.13d. Slutgiltig design av koncept 4.

4.6.1 Design för ergonomi

Som tidigare framkommit ur ergonomistudier är en bra längd för ett handtag runt 12 cm. Koncept 4 har ett handtag på 15 cm då det inte är kopplat som ett T och 12 cm när det är sammankopplat. För att fördela trycket mot handen över en stor yta varierar handtaget i tjocklek med ett maximalt tvärsnitt på 4 cm vilket också ligger inom den rekommenderade diametern för bäst kraft. Detta nämns i den teoretiska referensramen.

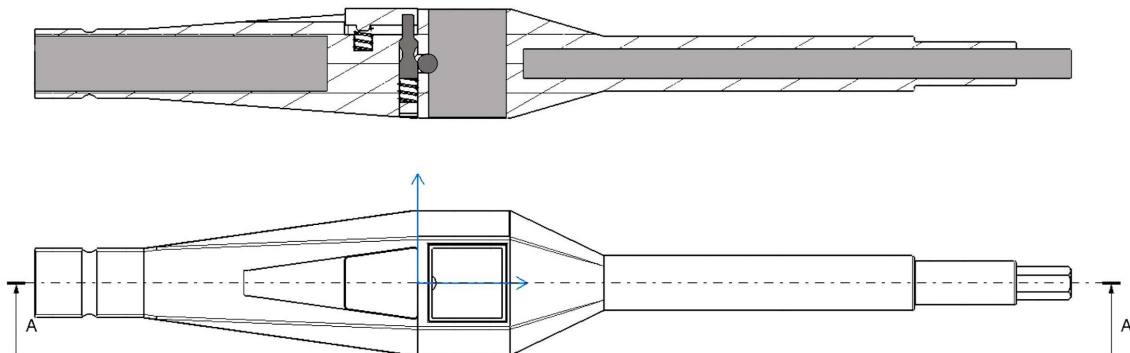
Valet av ett hexagonalt tvärsnitt på handtaget är dels för att ge en taktill och visuell feedback på hur mycket verktyget vridits och dels för att det anses vara mer kompatibelt med handens utformning jämfört med ett cirkulärt tvärsnitt. Alla kanter är avrundade för att verktyget skall vara skönt att greppa.

I toppen av mejslarna finns en fyrkantsskoppling för momentnyckel. Genom att låta hålet för sammankoppling av mejslarna vara genomgående kan momentnyckel användas både vid ihopkopplat läge och med en ensam mejsel. Eftersom toppen även blir själva skaftet i T-handtaget då det kopplas samman får det inte vara för tjockt. Det skulle innebära att fingrarna skulle behöva sära på sig för mycket. Den kvadratiske formen har därför valts att behållas genom ett 2 mm tjockt isolerande lager utanpå fyrkantsskopplingen. En plan yta jämfört med en rund visade sig dessutom vara mer bekvämt att hålla då krafterna fördelas på en större yta mot fingrarna.

Handtaget vinklas in mot mitten strax nedanför hålet (mot sexkantsnyckeln). Den vinklade ytan är förutom estetiska och konstruktionsmässiga skäl även vald för att ge ett bra tumgrepp. Olika bilder som visar greppmöjligheter visas senare figur 4.22.

4.6.2 Design för funktion och hållbarhet

För att göra verktyget starkare valdes att integrera metalldelar som kan ses i figur 4.14. Momentnyckelns koppling i metall sträcker sig en lång bit in i verktyget för att öka hållfastheten. På samma sätt sträcker sig själva sexkantsnyckeln in mot en tjockare del av handtaget. Även kopplingshålet på mitten är förstärkt med metall. Detta inte enbart för att förstärka konstruktionen utan även för att motverka slitage och för att kopplingens låsfunktion skall fungera. Låsfunktionens kula och stav som beskrivs under nästa punkt är även de i metall.



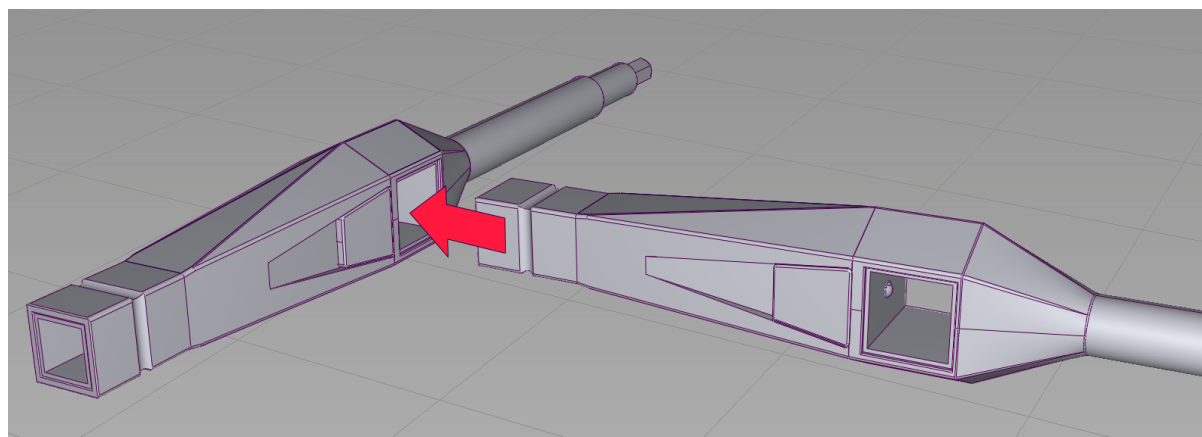
Figur 4.14. Verktygets metalldelar är i den snittade bilden markerade i grått.

Att verktygets tvärsnitt är tjockare över hålet för kopplingen är viktigt för att mejseln ska klara det pålagda momentet. Dels för att det är ett hål där och för att det är ett område utan axiell förstärkning av metall.

Ändan av respektive sexkantsnyckel är klädd i ett isolerande material med en stegvis ökande tjocklek. Anledningen till den varierande tjockleken är för att de ska vara kompatibla med ABB:s moduler. De ska alltså komma åt att skruva i olika apparater. Dessa mått inklusive längden på respektive steg är hämtade från verktyget som används idag. Den totala längden på nyckeln är även till för att kunna arbeta på ett bekvämt avstånd från skruven.

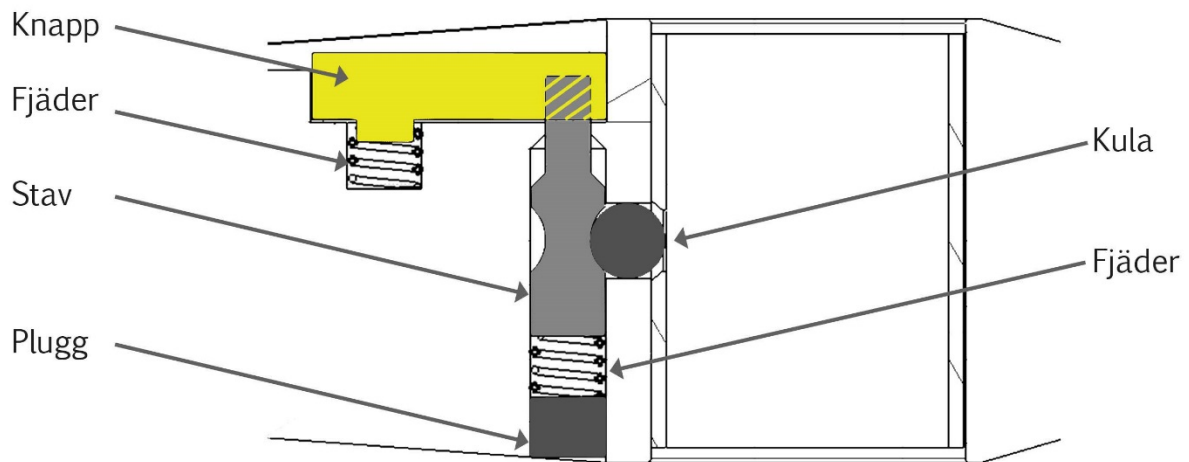
4.6.3 Låsfunktionen

Som illustreras i figur 4.15 kopplas verktygen samman genom att trycka in den ena mejseln topp i den andras hål. För att kopplingen skall ske så enkelt som möjligt är mejslarna designade för att kunna kopplas ihop från både hålets ovansida som undersida. Det kvadratiske tvärsnittet möjliggör även att de kan sammankopplas från fyra olika vinklar på respektive sida av hålet. Sammanlagt ger det åtta olika möjligheter att koppla ihop mejslarna.

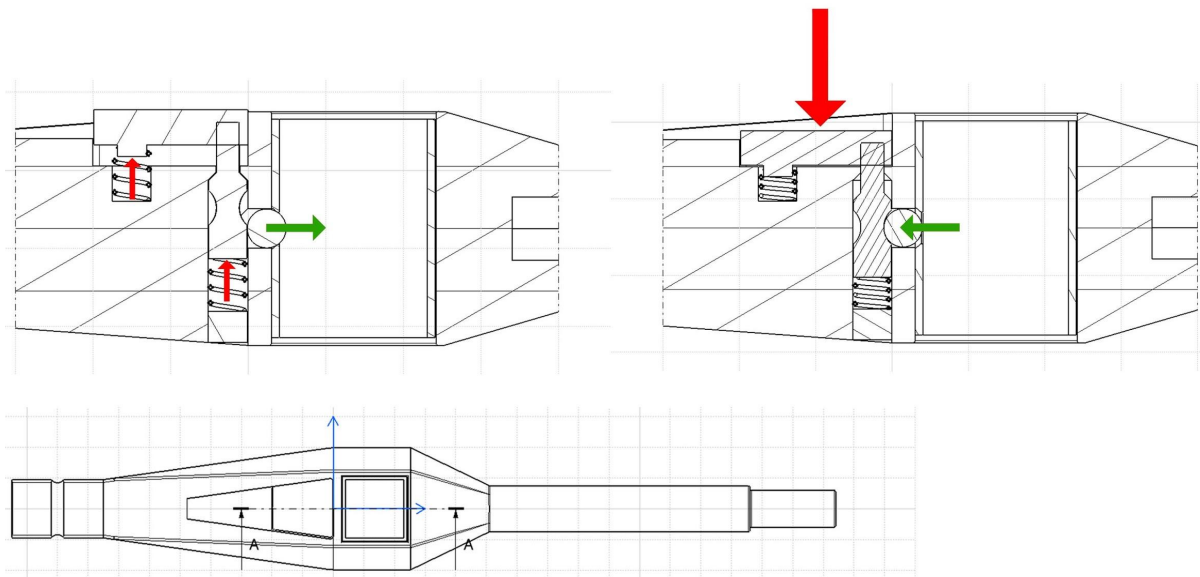


Figur 4.15. Sammankoppling av mejslar.

Då ett krav för att uppfylla standarden IEC 60900 (2015) är att mejslarna ska sitta ihop med en lämplig kvarhållande lösning som förhindrar separation vid användning har en låsfunktion konstruerats. En ritning på låsningens komponenter finns i figur 4.16. Vidare illustreras dess funktion i figur 4.17. Låsningen består av en kula som skjuts i sidled genom en stav. Mejseln har hålrum som tillåter kula och stav att förflyttas. En fjäder trycker staven konstant uppåt. Stavens ovansida är fastskruvad i en knapp. En gängad plugg förhindrar stav och fjäder att åka ut nedåt. För att staven inte ska åka ut uppåt har både staven och hålrummet som den förflyttas i en mindre dimension i toppen jämfört med botten. Mitt på staven finns en midja som kulan passar in i. På samma vis har toppen av mejslarna ett runtgående spår. Då verktyget är ihopkopplat tvingar fjädrarna ut kulan i spåret, då staven skjuts upp, och låser på så vis fast nycklarna i varandra. För att lossa dem trycks knappen ned vilket ställer kula och stavens rundgående spår på samma nivå. Det ger kulan utrymme att förflyttas in mot staven och därmed lämna fritt utrymme för att dra ut toppen av den kopplade mejseln.

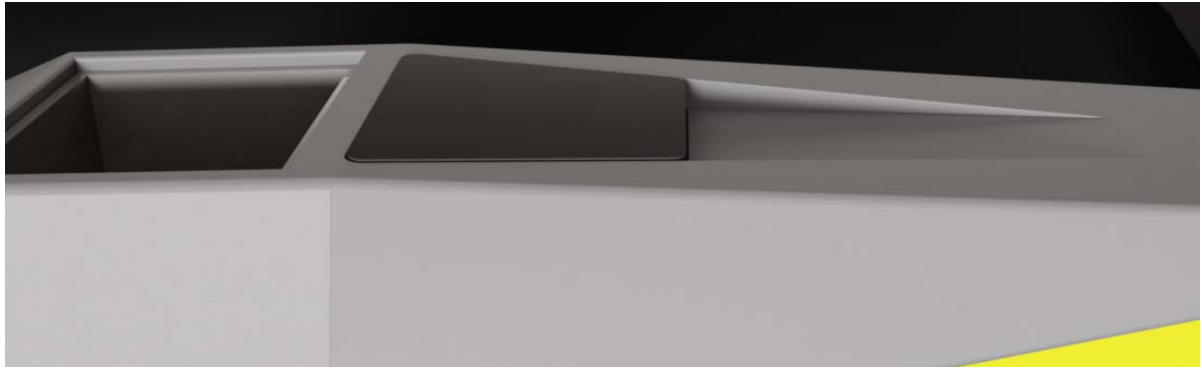


Figur 4.16. Låsningens olika komponenter illustrerade i ett tvärsnitt.



Figur 4.17. Låsningens funktionen illustreras i ett tvärsnitt A-A. De axiella krafterna i rött får kulan att förflyttas i sidled. Ritningen till höger visar knappen nedtryckt.

Knappen som låser upp kopplingen är placerad intill kopplingshålet. Storleken är avsedd att passa en tumme. För att komma åt att trycka på knappen även vid användning av handskar finns en utfasning, visad i figur 4.18, ner mot knappen. Utfasningen har samma lutning inåt som knappens sidor för att smälta in estetiskt.



Figur 4.18. Förstoring av verktygets knapp och utfasning i förbindelse med knappen.

För att vid tillverkning sätta ihop låsningen krävs att de olika delarna sätts på plats i rätt ordning. Den ena fjädern är monterad på knappens undersida. Där finns även ett gängat hål som passar staven. Innan staven förs in behöver kulan komma på plats, därefter kan staven skruvas in i knappen. Efter staven stoppas den andra fjädern in följt av en gängad plugg som skruvas in i hålet som ett stopp. Fördelen med att både pluggen och staven är gängade istället för limmade är att låsfunktionen nu kan öppnas och underhållas vid behov.

4.6.4 Ytegenskaper och färgval

Eftersom friktion är en nyckelfaktor för att överföra moment mellan hand och handtag har en fin ytstruktur valts att appliceras på greppytan. Då byte av grepp sker ofta önskas dock en yta som inte medför alltför hög friktion. Meningen är att materialet i sig har relativt låg friktionskoefficient för att tillåta glidning vid svaga grepp. Vid kraftigare grepp skall ytan däremot erbjuda tillräckligt hög friktion för att förhindra glidning. Detta kriterium bör uppfyllas även om handen är svettig. En annan fördel med valet av en fin yta är att undvika höga tryckkoncentrationer mot handens kopplingsyta.

Eftersom smuts har större benägenhet att fastna på ytor med gropig mikrostruktur har gulfärgade detaljer valts att göra blanka. Vid intervju framkom att det ibland kunde vara svårt att hitta vart man lagt VHB-68. Framförallt vid nattarbete eftersom plasten är svart. Den gula färgen drar till sig uppmärksamhet (kapitel 4.2.4) och att dessutom göra den reflekterande skulle underlätta lokalisering av verktyget vid mörka miljöer.

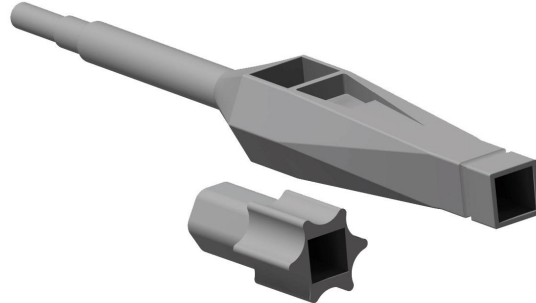
Vid möten med drifttekniker visade det sig att det är lätt att skilja på sexkantsnyckel 6 och 8. Att underlätta igenkänning av storlekarna med hjälp av färgkodning anses därför inte ha någon större betydelse.

Merparten av verktyget är ljust grått med gul kontrastfärg för att passa in i ABB kabeldons sortiment. Knappen är mörkt grå för att synas mot den ljusare färgen.

4.6.5 Kraftflöde

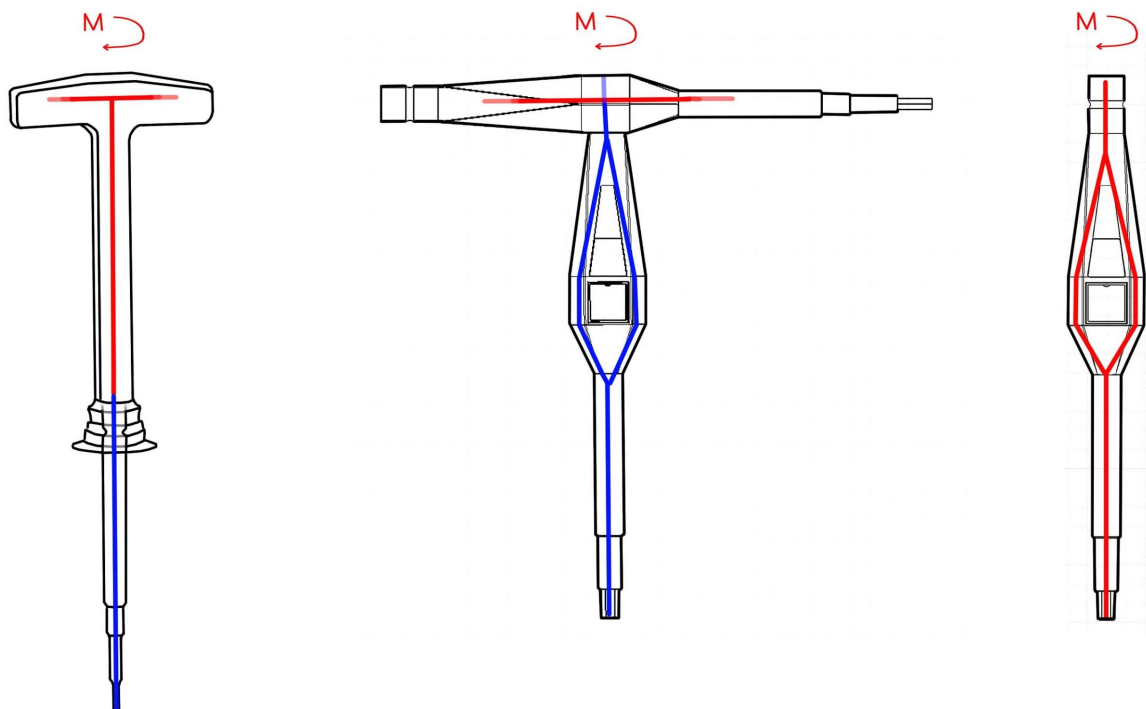
För att undvika att nycklarna fastnar i varandra i själva sammankopplingen undersöktes om kopplingen kunde vara i form av en torx istället för kvadratisk. Detta illustreras i figur 4.19.

En torx fördelar krafterna från ett vridmoment på en större yta jämfört med en kvadrat eller en hexagon enligt föreläsning vid Chalmers Tekniska Högskola. Tvärsnittet av en torx skulle dock innebära att toppen av verktyget behöver vara bredare. Detta eftersom en koppling för momentnyckel måste få plats. En bredare topp skulle innebära ett mindre ergonomiskt grepp då det används som ett T-handtag.



Figur 4.19. Under vidareutvecklingen undersöktes möjligheten att byta ut den kvadratiska kopplingen mot en koppling formad som en torx.

Eftersom momentnyckeln är kopplad i toppen av respektive nyckel kommer dock inte de största momenten påverka sammankopplingen. Momenten som belastar förbindelsen i T-kopplingen är de som alstras av handkraft och därav inte lika höga. Kraftflödet är utritat i figur 4.20. Figuren visar hur kraften, utritad i rött, från ett pålagt moment går genom verktygen och byter färg till blått då kraften byter kropp. I det nya konceptet syns hur kraften fördelas på sidorna om hålet. Fallet i mitten representerar hur momentet skapat från handkraft skulle gå. Om en momentnyckel skulle använts hade kraftflödet sett ut som det till höger i figuren, alltså utan något byte av kropp.



Figur 4.20. Kraftflödet från ett pålagt moment illustreras i rött. Den blå färgen visar kraftflödet då det gått över i en ny kropp.

4.6.6 Principiell tillverkning

Då ABB har en fungerande tillverkning för dagens verktyg vore det användbart om liknande processer och samarbeten även kan tillämpas på det nya konceptet. Likt dagens verktyg gjuts de förstärkande metalldelarna och sexkantsnycklarna in i det isolerande materialet.

4.6.7 Materialanalys

Efter att ha använt mjukvaran CES Edupack och dess materialdatabas som hjälpmedel för att finna isolerande material med liknande egenskaper som i VHB-68 ansågs sju stycken vara särskilt intressanta att jämföra. Som referensmaterial valdes PPA-45-GF (Polyphthalamide med 45 % glasfiber) eftersom dess egenskaper är mycket lika det material som används idag. För att jämföra materialen användes en variant av PNI som kan ses i Tabell 4.1.

Tabell 4.1. Material uppställa i en jämförelsematris. Graden av grön nyans indikerar bättre egenskaper än referensmaterial där intensivare färg är bättre. Graden av röd färg indikerar sämre egenskaper än referensmaterial där intensivare färg är sämre. Gul nyans indikerar likvärdiga egenskaper jämfört med PPA-GF45. Vid blanka rutor saknas materialdata.

	PPA-GF45 (ref.)	PARA-GF50	PARA-GF60	PARA-CF30	PEEK-CF40	PA66-LCF40	PA66-LCF30
Sträckgräns [MPa]	205 - 256	231 - 289	223 - 278	188 - 235	241 - 269	276 - 310	276 - 330
Brottgräns [MPa]	207 - 253	234 - 286	225 - 275	197 - 241	241 - 316	297 - 320	286 - 350
Brottseghet [MPa* M ^{1/2}]	5,44 - 6,02	5,6 - 6,19	5,76 - 6,37	5,88 - 6,49	8,32 - 12	11,7 - 14,2	14,6 - 17,7
E-modul [GPa]	15,4 - 19,3	17,8 - 22,2	20,5 - 25,5	22,5 - 28,1	33,4 - 40	29 - 38	23 - 24
Pris [SEK/kg]	50,5 - 56,1	41,1 - 50,9	34,9 - 42,7	96,1 - 125	570 - 627	103 - 128	89,3 - 110
Eco footprint (production)	7,42 - 8,18	4,7 - 5,18	3,9 - 4,3	11,4 - 12,6	17,7 - 19,5	13,6 - 15	12,4 - 13,7
Flammskydd	Långsamt brinnande	Långsamt brinnande	Långsamt brinnande	Långsamt brinnande	Själv- släckande	Långsamt brinnande	Långsamt brinnande
Formsprutning	OK	Begränsat	Begränsat	Begränsat	Begränsat	Begränsat	Begränsat
UV-rad	OK	Bra	Bra	Bra	Mycket bra	Dåligt	Dåligt
min service temp	- 49 till -29					-81 till -71	-81 till -71
max service temp	220 - 240	193 - 207	188 - 207	188 - 207	235 - 250	107 - 127	107 - 127
Elektrisk res. [μohm*cm]	1,37*10 ¹⁸	2*10 ²⁰	2*10 ²⁰	2*10 ²⁰	1*10 ¹¹	2*10 ⁹	2*10 ⁹
Dielectric strength [MV/m]	24,7 - 421	22 - 37,4	17,6 - 30	15,7 - 17,3			
Omgivning		känsligt mot syror	känsligt mot syror	känsligt mot syror		känsligt mot syror	känsligt mot syror

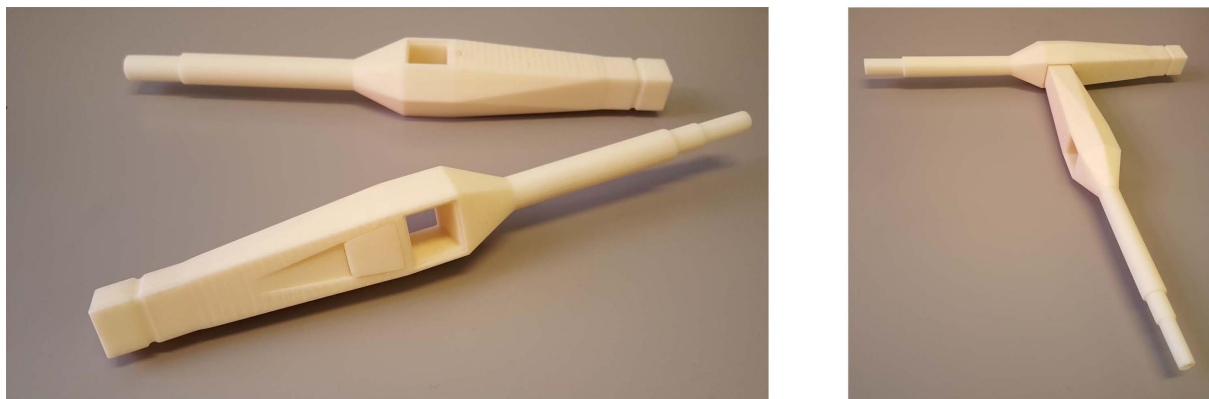
Fyra material (PARA-CF30, PEEK-CF40, PA66-LCF40, PA66-LCF30) kunde därefter strykas på grund av dess relativt höga pris och ekologiska fotavtryck (Granta Design Limited, 2016). Dessutom visade det sig att ett par av materialen (PA-66) påverkas mycket negativt av UV-exponering.

PARA-GF50 och PARA-GF60 ansågs vara intressanta material för konceptet. Deras mekaniska egenskaper med avseende på brottgräns, brottseghet, sträckgräns, och E-modul överträffar referensmaterialet. Pris och ekologiskt fotavtryck är lägre än referensmaterialet och de klarar UV exponering bra. Däremot är materialen svårare att forma och därför behövs en undersökning göras om det är möjligt att anpassa formsprutning vid tillverkning av verktygets former. Materialens överslagshållfasthet (dielectric strength) var lägre än PPA-GF45.

Vid ett personligt möte med drifttekniker framgick det att stålkomponenter i VHB har klarat sig mycket bra från slitage. Därför vore det rimligt att använda samma stål i det nya konceptet.

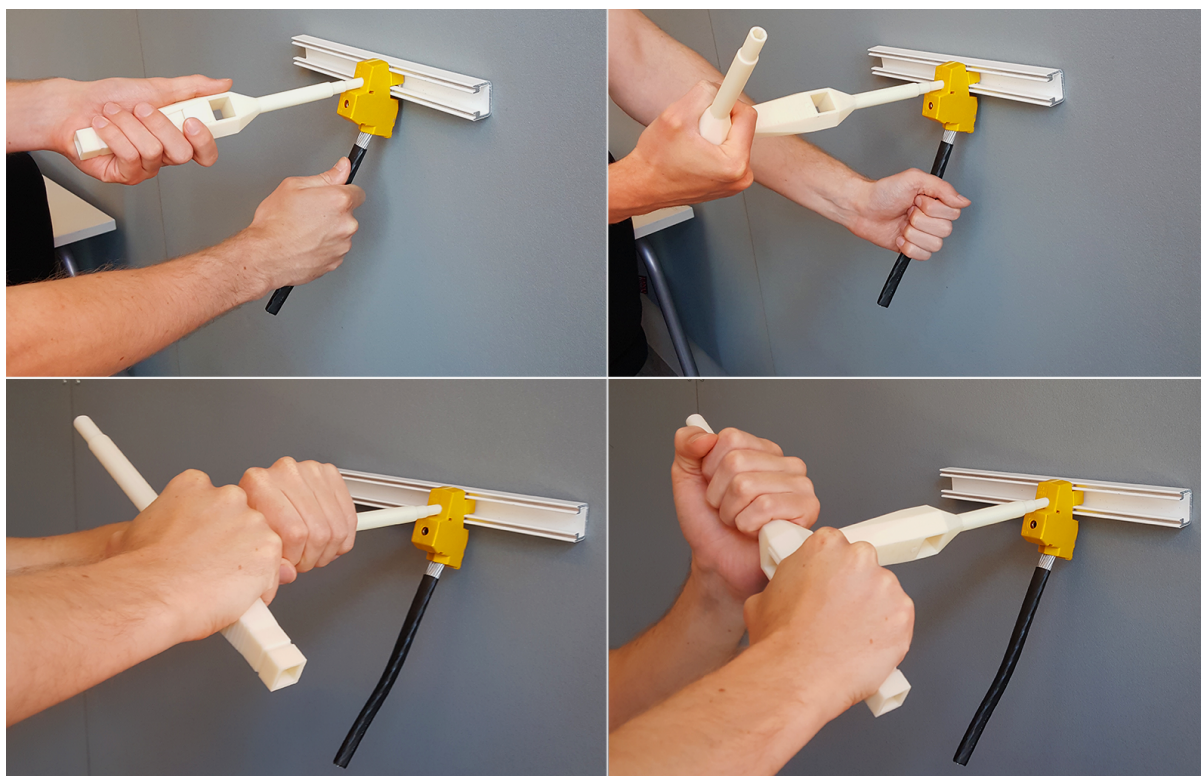
4.7 Prototyp tillverkning och utvärdering

Prototypen skrevs i huvudsak ut i plast, även tänkta metallförstärkningar och staven i låsfunktionen. Kulor och fjädrar plockades ur från ett kullager samt kulspetspennor. Prototypens ytfinish, som färg och ytfinhet, behandlades ej. I figur 4.21 visas den färdiga prototypen. Sexkantsnycklar har inte byggts in.



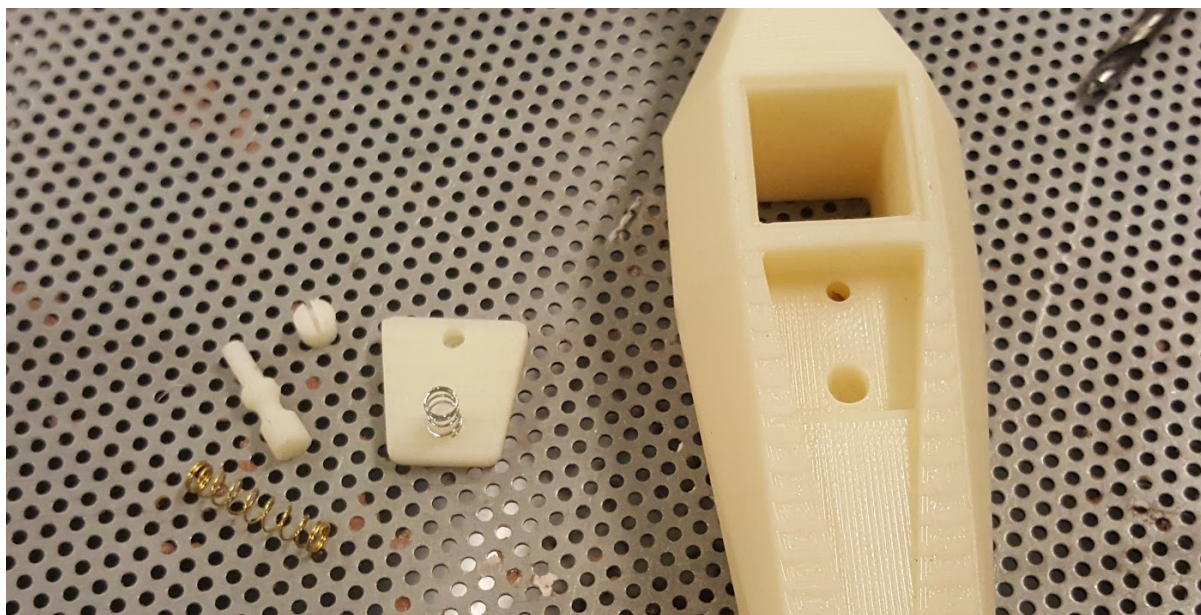
Figur 4.21. På bilderna syns det 3D utskrivna verktyget.

Dimensionerna upplevdes ge en bra form både för estetik och framförallt ergonomi. Handtagets längd och bredd gav en god kraft både då mejslarna var sammankopplade och en och en. Olika greppmöjligheter presenteras i figur 4.22. När mejseln används själv utan T-handtag passar det bra att arbeta cirka 90° från skåpet för att undvika stora handledsdeviationer. Det fungerar även bra att arbeta med större vinkel från skåpet då man skruvar lågt, vilket är en vanlig position för elskåpen. Då mejslarna är sammankopplade kan de med god kraft användas från flera vinklar. Det går bra att alternera mellan enhandsgrepp alternativt två olika tvåhandsgrepp.



Figur 4.22. Demonstration av olika greppmöjligheter med Koncept 4.

Verktygets låsfunktion fungerade bra och gav ett verifierande klick då kulan låstes i spåret. För att knappen skulle få en känsla av kvalitet var både ljud och taktil feedback viktigt. Till en början gav den övre fjädern ifrån sig ett ljud då den komprimerades. Problemet löstes genom att förkorta dess infästning, alltså pinnen på knappen, vars kanter även fasades av för att ge en mjukare övergång för fjädern. Figur 4.23 visar låsfunktionens delar innan montering.



Figur 4.23. Låsfunktionens olika delar innan montering (minus kula).

5. Diskussion och Slutsats

I detta kapitel redogörs slutsatser, erfarenheter och rekommendationer för vidareutveckling.

5.1 Identifierade kundvärden och användarbehov

Då syftet med arbetet var att utveckla ett verktyg som ökar värdet av ABB som varumärke identifierades kundvärden och användarbehov. Det visade sig att det fanns en stark koppling till verktygets multifunktionalitet och ökat kundvärde. Samtidigt behövde verktyget ha en enkel design för att vara funktionell.

Många funktioner från referensnyckeln såsom T-handtaget ansågs av flera användare vara essentiella. En kombination av att tillgodogöra användarnas önskemål med att experimentera med nya funktioner som kan ersätta dessa på ett bättre sätt har använts. Ett exempel är den nya funktionen då mejslarna kopplas samman för att skapa T-handtaget.

Om det under användning skulle visa sig att längden på det nya T-handtaget är ett problem kan det finnas möjlighet till att göra det kortare genom att minska längden på mejslarna. Driftteknikerna vill dock utföra moment på ett avstånd som upplevs säkert från spänningsförande delar. Baserat på svar från frågeformuläret som användes i samband med Kano-modellen ansågs avståndet som uppnås med VHB-68 ha en bra längd men det fanns viss acceptans att göra den kortare.

Det nya konceptet har potential att öka kundvärdet men för verifiering behöver det tillverkas en funktionsduglig prototyp som kan utvärderas av användare.

5.2 Designriktlinjer

Förutom de uttalade kraven och önskemålen från användare användes också olika studier såsom ergonomi och hållbarhet för att ge produkten ett högre kundvärde.

Verktyget har fått ett mer kantigt tvärsnitt för en bättre handergonomi. De kantiga formerna stämmer bra överens med modulernas produktdesign. Däremot ger de ett hårdare uttryck jämfört med andra isolerade verktyg som ofta har mjuka former. Eftersom verktyget skiljer sig från normerna skulle det kunna finnas ett motstånd till att acceptera dess formspråk.

En utmaning för designen har varit att kombinera funktionalitet med estetik, generellt har hållbarhet och funktion prioriterats före estetiska aspekter. Undersökningar visade även att användarna inte värderade verktygets utseende särskilt högt.

Det har inte varit lätt att designa verktyget för att främja en hållbar utveckling. Detta på grund av verktygets isolerande krav i kombination med att det ska klara av stora krafter. För att ändå implementera ett miljötank har låsningen konstruerats för att kunna underhållas. Tanken är att livslängden ska vara så lång så som möjligt.

5.3 Konceptets uppfyllnadsgrad

En utvärdering av hur väl konceptet möter de krav, önskemål och behov som framkommit genom projektets iterativa process kan ses i Pugh-matrisen i tabell 5.1. I tabellen presenteras endast de parametrar som skiljer sig från VHB-68 eller som behöver testas. Önskemål och krav som verktygen ansågs uppfylla likvärdigt kan ses i fullständig jämförelsematris i bilaga 5. I figur 5.1 är de båda nycklarna presenterade bredvid varandra för att visa övergripande skillnader och likheter gällande dimensioner.



Figur 5.1 Prototypen bredvid referensnyckeln.

Efter att ha jämfört verktygen ansågs det att koncept 4 har 14 stycken fördelar och en nackdel jämfört med referensnyckeln. Nackdelen jämfört med referensnyckel var att halkstopp saknas. De viktigaste fördelarna ansågs vara:

- Mer material vid områden känsliga för torsion.
- Förbättrat kraftflöde.
- Längre hävarm minskar risken för arbetsskada vid lossning av klämförband eftersom ett ryck undviks då förbandet släpper.
- Bättre former och fler greppmöjligheter med avseende på ergonomi

Andra tänkbara nackdelar som inte är redovisade i Pugh-matrisen kan vara att längden på T-handtaget sticker ut för mycket i sidled och därmed kommer i vägen vid vissa arbetsmoment. Detta behövs verifieras med drifttekniker. Det finns även en risk att en mejsel tappas bort då i de fall de ej är sammansatta.

Ett nytt belastningsfall förekommer då T-handtagets längd kan utnyttjas som hävarm. Ett tänkbart problem är att böjmomentet kommer att vara för stort på den svaga länk vid slutet av sexkantsnyckeln där metallförstärkning saknas. Det nya belastningsfallet skulle kunna motverkas genom att låta ändan av sexkantsnycklarna som gjuts in i plasten förses med

utstickande vingar. På så vis skulle böjmomentet genom sexkantsnyckeln verka över en större yta av plasten.

Tabell 5.1. Jämförelsematris baserad på kravspecifikationen. Plustecken står för förbättring medan minus innebär försämring.

Koncept 4 jämfört med Referensnyckel		
Prestanda	+/-	Motivering
Effektiv användning	+	Tillåter snabb rotation av mejsel då form möjliggör snabbt greppbyte. Sammankoppling av mejslarna går snabbt då det finns många passningsmöjligheter.
Erbjuda högt moment utan momentnyckel	+	När mejslarna är kopplade i T-formation erbjuds en längre hävarm, samt tvåhandsfattning på T-koppling.
Tillföra precision	+	Mejseln kan användas ensam och då kan ett diagonalt helhandsgrepp kan användas utan att T-handtaget utgör ett hinder.
Miljö		
Erbjuda enkel underhållning/ reparationsmöjligheter	+	Kan köpa separat mejsel om en går sönder. kan skruva ut plugg för att reparera mekanik.
Livslängd		
Lång livslängd		Kräver test
Distributionssätt		
Medge platseffektiv transporter	+	Mejslarna tar mindre plats på höjden och i sidled i demonterat läge.
Estetik & Ytfinish		
God visibilitet	+	Verktygets färger är ljusare än referensnyckeln. Dessutom har verktygets gula detaljer reflekterande egenskaper.
Material		
Motstå skjuvspänning	+	Bättre kraftflöde samt mer material vid kritiska lägen.
Standarder & lagkrav		
Uppfylla IEC märkning 60900		Kräver test
Uppfylla CE märkning		Kräver test
Ergonomi		
Erbjuda flera greppmöjligheter	+	Möjlighet till fyra grepp jämfört två.
Erbjuda god handfattning	+	Bekvämare T-koppling.
Medge god kraft	+	Handtagets diameter på 4 cm är optimerat för kraftgrepp.
Främja ett lågt yttryck i handen	+	Verktygets kantiga och välvda form möjliggör större kontaktytor med hand.
Erbjuda tydliga funktioner	+	Kontrastfärg på låsknapp.
Kundkrav		
Begränsa kraftansträngning	+	Längre hävarm minskar kraftansträngning då verktyget används i sitt T-läge.
Kvalitet & tillförlitlighet		
Kontinuerlig kvalitet		Kräver test
Säkerhet		
Skydd för hand i händelse av halkning	-	En tydlig definierad kant för att stoppa eventuell halkning saknas.
Tydliga instruktioner för avsedd användning	+	Valdefinierad låsknapp.

5.4 Trovärdighetsanalys

Frågeformuläret som användes i KANO-modellen skickades ut med mail till flertalet olika elbolag som därefter skickade vidare det till sina drifttekniker. Eftersom länken till formuläret var öppen finns ingen säkerhet på att alla som svarade verkligen var drifttekniker. Det finns även en risk att samma person svarat flera gånger.

Om verktyget verkligen kommer att hålla kan ifrågasättas då inga funktionsdugliga tester eller FEM-analyser gjorts.

Vid presentation av de fyra koncept som skapades vid konceptgenereringen kan det ifrågasättas ifall koncepten presenterades på ett opartiskt sätt trots att så var strävan. En risk finns att något av koncepten presenterades med mer entusiasm.

5.5 Rekommendationer för vidareutveckling

För att verifiera att konceptet håller för kraven på moment behöver en fungerande prototyp med rätt material tillverkas och testas. Uthållighetstester och tester av krav för att märkas med standarden IEC 60900 bör även undersökas. Vidare behöver konceptet mer utvärdering från användare som testat produkten under en längre tid.

Eftersom andra typer av elskåp använder sig av en sexkantsnyckel på 5mm skulle även en motsvarande nyckel med dimensioneringen kunna inkluderas i lösningen.

En funktion för att koppla ihop de olika mejslarna som dessutom är platseffektivt kan vara en bra vidareutveckling. Då skulle det vara svårare att tappa bort verktyg som inte används.

Den tidiga versionen av knappen var en variant som förskjuts i sidled. Detta för att undvika att komma åt knappen av misstag vid greppning. Eftersom skjutknappen krävde en mer komplicerad infästning än tryckknappen valdes den bort. När tryckknappen testades i prototypen visade det sig att det var svårt att trycka in den utan ett avsiktligt tryck med finger. I en vidareutveckling av konceptet skulle dock en knapp som förskjuts i sidled kunna utforskas ytterligare. Vidare skulle det kunna undersökas om en större kula i låsfunktionen kan göra låset starkare. Beräkningar för att optimera fjäderdimensioner vore också lämpligt att genomföra.

Eventuellt kan knappen behöva kapslas in i ett skyddande gummihölje för att stänga ute fukt och smuts. I konceptets lösning kan dock både plugg och stav skruvas ut för rengöring av låsmekaniken vid händelse av föroreningar.

Ytterligare undersökningar om handtagets grepp kan genomföras. Eventuellt kan handtaget löpa lite längre efter hålet på sidan mot sexkantsnyckeln. Detta för att ge ett skönt grepp åt båda håll då det används som ett T-handtag. Det skulle även vara intressant att utvärdera olika radier på rundningarna som handtagets kanter har.

Gränssnittet kan undersökas med avseende på om form och semantiska drag kommunicerar funktionalitet och användning på ett bra sätt bland marknader där kulturen skiljer sig från den västerländska. Detta är särskilt intressant då ABB nyligen sålt flera elsystem till Zambia.

För vidareutveckling av konceptet rekommenderas att personer med maskinteknisk bakgrund involveras eftersom detaljerade beräkningar, dimensionering samt förberedelser för tillverkning behöver utföras.

6. Referenser

- ABB. (2015). *Kabeldon lågspänningsfördelningar, Produktkatalog 2015*. [elektronisk bild]
Hämtad från:
<https://library.e.abb.com/public/5606dcbb561b422dbe82ac82b5e5fb57/2015%20-%20Katalog%20-%20Kabeldon%20lagspänningsfordelningar-REV%20A%201%20-%20svensk.pdf>
- ABB. (2017a). *Kabeltillbehör: Gör elnätet komplett med kabeltillbehör från ABB*. Hämtad från: <http://new.abb.com/cables/sv/kabeltillbehor>
- ABB. (2017b). *Bättre genom design: bygga in hållbarhet i produkterna*. Hämtad från: <http://new.abb.com/se/om-abb/hallbar-utveckling/miljo1/resurseffektivitet/material-och-utsl%C3%A4pp>
- ABB. (2017c). *Sänk energianvändningen och minska effekterna på klimatet*. Hämtad från: <http://new.abb.com/se/om-abb/hallbar-utveckling/energi-och-klimat>
- ABB. (2017d). *ABB ensures reliable power in Zambia: ABB is playing a lead role in a series of major rehabilitation projects designed to strengthen Zambia's electrical infrastructure*. Hämtad från: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/a3403ab06f6620aec1256eae0028884a.aspx>
- Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2013). *Materials: engineering, science, processing and design*. Butterworth-Heinemann.
- Bergman, B., & Klefsjö, B. (2007) *Kvalitet från behov till användning*. Studentlitteratur, Lund ISBN 9789144044163
- Bohgard, M., Karlsson, S., Lovén, E., Mikaelsson, L. Å., Mårtensson, L., Osvalder, A. L., ... & Ulfvengren, P. (2015). *Arbete och teknik på människans villkor*. Prevent.
- Brown, CW. (2012). *Description of the axes and attributes of the Kano Model* [Elektronisk bild]. Hämtad från: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kano_Model.png#metadata
- Das, B. (2007). Ergonomics Evaluation, Design and Testing of Hand Tools. In *Assessment of the Ergonomic Quality of Hand-held Tools and Computer Input Devices* (pp. 23-39). IOS Press Lancaster, UK.
- Ehnborg, R., Parmstig, A. (2015). *Utveckling av ett verktyg för att underlätta vid lyft och montering av en pump* (TMT 2015:42). Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:827104/FULLTEXT01.pdf>
- Granta Design Limited, (2016). CES Edupack (Version 16.1.22) [Computer software] Cambridge

Hanington, B., Martin, B. (2012). *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions*. Rockport Publishers.

IEC. 2012. 60900. International Standard: Live Working - Hand Tool for use up to 1000 V a.c and 1500 V d.c. Geneva. IEC. Hämtad från: <https://webstore.iec.ch/home>

Lindholm K, (2017). *Elnätet - distribution*. Hämtad från: <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/el/distribution/>

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2007). *Human anatomy & physiology*. Pearson Education.

Matzler, K., & Hinterhuber, H. H. (1998). How to make product development projects more successful by integrating kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. *Technovation*, 18(1), 25-38. doi:10.1016/S0166-4972(97)00072-2

Scandlines. (2016). *Vi laddar upp för batteridrivna färjor mellan Helsingborg-Helsingör*. Hämtad från: <https://www.scandlines.se/om-scandlines/batteridrivna-farjor.aspx>

Sherin, A. (2012). *Design Elements, Color Fundamentals*. Osceola: Rockport Publishers.

Sveriges television. (2017). *Försäljningen av elbilar har ökat kraftigt*. Hämtad från: <http://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasterbotten/forsaljningen-av-elbilar-har-okat-kraftigt>

Statistiska centralbyrån, (2017). *Nu är vi 10 miljoner invånare i Sverige*. Hämtad från: http://www.scb.se/sv/_/Om-SCB/Nyheter-och-pressmeddelanden/Sveriges-befolkning-tickar-pa-mot-10-miljoner/

Strasser, H. (Red). (2007). *Assessment of the Ergonomic Quality of Hand-Held Tools and Computer Input Devices*. IOS Press. Hämtad från: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=320327>

GANTSHEMA

nr	Aktivitet	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	v21	v22	v23
1	Planering & Organisation									T				P								
2	Förstudie								E					A								
3	Produktspecifikation								N				S									
4	Konceptgenerering								T				K									
5	Utvärdering/Konceptval								A													
6	Konfigurering & Detaljkonstruktion								M													
7	Prototyp & Prototypprovning								E													
8	Utvärdering prototyp								N													
9	Visualisering																					
10	Presentation																					
11	Rapportskrivning																					

MILSTOLPAR

Milstolpe	Tidpunkt
1. Projektplan godkänd	170130
2. Produktspecifikation färdigställd	170327
3. Koncept valt	170417
4. Prototyp provad	170509
5. Koncept verifierat/utvärderat	170520

TRANSKRIBERING: FÄLTSTUDIE ALINGSÅS

Driftekniker anmärker på släppet som uppstår vid lossning av serviser som sitter åt:

“Det smäller i armbågen då... Egentligen så ska jag ju använda momentnyckeln... men det behövs ju inte för jag kan ju vrida med så mycket kraft jag orkar.. Det kan man ju fundera på om det är en fördel eller en nackdel.”

Driftekniker visar funktionaliteten hos T-nyckeln med att kunna passa med servisens koppling över ledaren:

“När vi lägger på en kabel, så lägger vi den oftast i här. Sen använder vi ju oftast T-nyckeln för att passa ner. Om det är riktigt tjocka kablar så får man ju lirka lite grann och så för att passa ner den. Man har ju ingen kraft med fingrarna egentligen så då blir det oftast att man tar T-nyckeln.”

Är det bra längd på T-nyckeln?

“Ja längden är ju sällan problem. Problemet uppstår i specialfall där skenan sitter väldigt långt ner. Då är den för lång (Driftekniker demonstrerar hur nyckeln inte får plats mellan skena och skåp) och då kunde jag inte använda den.”

Det är aldrig att T-et är för långt?

“Nej det är hela nyckeln isåfall”

Känns skillnaden i kraft stor skillnad på 35 och 45 Nm?

“Oja, Det är stor skillnad. Speciellt om ledaren inte består av aluminium. (Driftekniker demonstrerar en åtdragning av 45 Nm med momentnyckel. Det syns att det ska till mycket kraft.)”

“Det är just vid lossningsmomentet man låter bli att använda momentnyckel.”

Hade det varit någon nytta att göra T:et längre om man ska behålla T-kopplingen, eller kanske till och med kortare?

“Ja, alltså. Jag tänkte säga att en del kommer säkert bli vansinniga. Men med våran arbetsmiljö, armbågar och axlar så hade det nästan varit bättre.”

Driftekniker visar än en gång hur de använder T-nyckeln för att rikta in servisen i skenan efter att ledaren fixerats i servisen.

Driftekniker visar hur de använder nyckeln till att lossa listerna (förväxla inte med skenorna). Även här använder han nyckeln till att vricka loss listen från skenorna och styra den ut från skåpet.

Senast pratade vi om att ni använde den (runda kanten vid slutet av handtaget) som ett stopp.

“Jag tror att det mer är ett tänk från ABBs sida. Vi tänker aldrig någonsin på den. Det är snarare att den blir lite hög när den ligger i lådan kanske. Det hade inte gjort nått om ni tog bort den, men sen vet jag inte om det är säkerhetstänk just för att det är ett arbete där man jobbar med hög spänning så kan det vara avstånd och så som spelar in, det kanske är därför den finns där, men för vår del kan ni lika väl ta bort den.”

Jag ser att du har två nycklar med dig. Du hade kanske lika gärna haft två nycklar, en med 6:an och en med 8:an?

“Ja jo, ofta är det ju så. Ibland så kärvar de ju så att man inte får ur dem (läs axlarna) och ibland så låser de inte.”

Du så att de kan börja rulla i fästet?

“Jo, när den bli sliten efter ett tag och du drar hårt, då går den över lite längre och då blir det att den nyper lite. Den blir sliten och glappig. All belastning ligger ju egentligen på fästet.”

Drifttekniker demonstrerar montering i ett till skåp. Han påpekar återigen hur mycket nyckeln används som en förlängning av armen genom att lyfta och styra serviser.

Vart har du nyckeln nu när du inte använder den, stoppar du den i fickan eller?

”De är ju lite otympliga så de ligger ofta lite här och var (Drifttekniker pekar på marken runt om skåpet). Annars ligger de i sin låda i bilen.”

Så de kan bli ganska smutsiga eller?

”Ja, dels det.”

Intervju med en kollega till Drifttekniker:

När går nycklarna isönder?

”De (läs VHB) gillar inte när det är kallt. Den går i sönder oftare när man skruvar med den stora nyckeln. Man drar ju den med 45 Nm. Om man gör det när det är 5-10 grader kallt så, det gillar dem inte. Det är därför man får ta med sig en reserv.”

Men använder du båda två för att slippa bytesmomentet (byta sida på axlen).

”Jaa, det brukar jag ju göra. Det är enklare.”

Finns det något annat verktyg man skulle kunna koppla ihop med det här?

”Just för att jobba i skåpen med? Det ska ju vara enkelt.. Det är ju kabelskåp, finns ju inte mycket annat att använda här. Inte i dagens skåp. Det är ju isåfall när man kommer in i de där gamla skåpen.”

Vad har man då?

”11:an är det som används i dem. (Montören tar fram ett verktyg som han tror är från 60-talet.)”

Den har också ett stopp?

”Ja, det är ju för att man inte ska komma för nära spänningen ”

Skulle man kunna integrera det där röda verktyget?

”Njaa aeee, verktyget får ju inte bli så mycket större egentligen. Den ska ju vara lagom så att man får ett bra grepp. Man vill ju ha kraft i näven.”

När man använder momentnyckel, känner man inte det där knäcket som kommer om man lossar med endast T-nyckel?

”Nää, inte på samma sätt.”

Skulle det vara till hjälp om man kan göra T:et längre?

”Även om man gör hävarmarna längre kommer man att behöva en momentnyckel för att kontrollera. Om man kan integrera momentnyckeln i T-nyckeln - då kan vi börja snacka!”

TRANSKRIBERING: STUDIEBESÖK MÖLNDAL

Drifttekniker demonstrerar åtvridningen av en servis.

”Det är rätt mycket. Man drar inte det utan en momentnyckel. 45 N.”

När man Lossar då? Då händer det kanske att man fuskar och kör med handen?

”Jaaa, när man tar loss dem ja! Ah”

Men om man skulle ta bort T:et på nyckeln för att uppmuntra användning av momentnyckel mer. Vad tror det hade fått för effekt?

”Nä, den är nog inte så bra att ta bort. Den är ju bra som den är.”

Intervjun avbröts för ett akut jobbrelaterat ärende.

Frågeformulär isolerat sexkantverktyg

Tack för att du tar dig tid att svara på några frågor. Alla frågor har 5 olika svarsalternativ, kryssa i det som du upplever passar bäst. Om du vill lägga till en kommentar får du gärna göra det under respektive fråga.

1. Vad tycker du om att både 6ans och 8ans nyckel är **integrerade** i samma verktyg?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

2. Vad tycker du ifall verktyget vore **längre** än idag?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

3. Jämfört med dagens lösning, hur ser du på att det skulle ta **längre** tid att alternera mellan 6ans och 8ans nyckel?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

4. Hur ser du på att verktyget **är** svart?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

5. Vad tycker du om att verktyget **inte** får plats i fickan?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

6. Vad tycker du om att verktyget **skulle** kunna få plats i fickan?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

7. Vad tycker du om att handtaget **är** T-format?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

8. Vad tycker du om att verktygets handtag skulle vara **smalare** än idag?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

9. Jämfört med dagens lösning, hur ser du på att det skulle ta **kortare** tid att alternera mellan 6ans och 8ans nyckel?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

10. Hur ser du på att handtaget **inte** vore T-format?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

11. Vad tycker du om att 6ans och 8ans nyckel skulle vara **separerade** till två olika verktyg?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

12. Vad tycker du om att verktyget vore **en annan** färg än svart?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

13. Vad tycker du om att verktyget **skulle** vara kompatibelt med en skruvdragare?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

14. Vad tycker du ifall verktyget vore **tyngre** än idag?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

15. Vad tycker du om att verktyget **inte** är kompatibelt med en skruvdragare?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

16. Vad tycker du ifall verktyget vore **lättare** än idag?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

17. Vad tycker du ifall verktyget vore **kortare** än idag?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

18. Vad tycker du om att verktygets handtag skulle vara **tjockare** än idag?

- Jag tycker om det så
- Det måste vara så
- Det spelar ingen roll
- Jag kan stå ut med det
- Jag tycker inte om det

Övriga kommentarer:

.....

.....

.....

.....

.....

Tack för dina synpunkter! / Annika & Hannes

KRAVSPECIFIKATION OCH PUGH

	Dokumenttyp	Kravspecifikation	HF= huvud- funktion			
	Projekt	Isolerad sexkantsnyckel	K= krav			
	Utgiven av: Hannes Bodin Löfgren, Annika Lindqvist	Skapad: 2017-03-13	Ö= önskvärt			
		Modifierad: 2017-05-22	I= intressant	Pugh		
	Kriterier	Målvärde/ kommentarer	K/Ö/I	Vikt (1-5)	konce pt 1	konce pt 4
	Funktioner					
HF	Rotera skruv	genom sexkantsnyckel 6 och 8	K	5	0	0
HF	Tillföra vridmoment	under arbete 20 Nm på 6:an och 50 Nm på 8:an. Med marginal 35Nm på 6:an och 60Nm på 8:an	K	5	0	0
1	Prestanda					
1.1	Erbjuda alternering mellan 6ans & 8ans sexkantsnyckel	enkelt byte av sexkantsnyckel	Ö	4	4	0
1.2	Erbjuda kompatibilitet med momentnyckel	smidig fyrkantskoppling till momentnyckel	K	5	0	0
1.3	Erbjuda högt moment utan momentnyckel	>20 Nm	Ö	3	0	0
1.4	Klara utomhusmiljöer	klara fukt, smuts och regn	K	5	5	0
		enligt IEC60900 klara användningstemperat ur -20°C till +70°C	K	5	0	0

BILAGA 4. Sida 2(4)

		för att uppnå kategori C enligt IEC 60900 klara användningstemperatur på -40°C	Ö	3	0	0
1.5	Klara stötar	verktyget skall kunna slängas på marken	K	5	5	0
1.6	Tillföra precision	verktyget skall fungera som en "andra hand"	K	4	0	4
1.7	Enkel funktion	skall kunna opereras under stress	K	4	4	4
1.8	Effektiv användning		Ö	4	4	4
2	Miljö					
2.1	Märkas med miljömärkning	uppfylla krav för någon slags miljömärkning	Ö	2	0	0
2.2	Erbjuda enkel underhållning/reparation smöjligheter	ej tvingas kassera trasig produkt	Ö	2	0	0
2.3	Stämma överens med ABBs hållbarhetsvisioner	inkludera ett hållbarhetstänk redan i produktens designfas	Ö	4	0	0
2.4	Erbjuda separering av olika material	för återanvändning	Ö	3	0	0
2.5	Undvika kompositmaterial	för god återvinning	Ö	3	0	0
2.6	Uppbyggd i moduler	för enkel reparation	Ö	2	-2	2
2.7	Ej utsöndra farliga ämnen	under användningsfasen	K	5	0	0
3	Livslängd					
3.1	Lång livslängd	>5 år	K	5	0	0
4	Underhåll					
4.1	Datummärkning på produkt	"klockmärkning" år och månad	K	5	0	0
5	Tillverkningskostnad					
5.1	Minimera antal tillverkningsmetoder		Ö	3	3	0
5.2	Vid eventuell formsprutning, medge släppvinkel		K	5	0	0
7	Distributionssätt					

BILAGA 4. Sida 3(4)

7.1	Medge platseffektiv transportering		Ö	3	0	3
8	Paketering					
8.1	Ej skadas vid paketering & transport		K	4	0	0
9	Kvantitet					
9.1	Produktionsvolym	ca:5000/år	K	4	0	0
10	Tillverkningsanläggning					
10.1	Miljöcertifierade fabriker		Ö	4	0	0
11	Storlek					
11.1	Lätt att ta med sig	ej otymplig men behöver ej få plats i ficka	K	4	0	4
11.2	Kunna förvaras i verktygslåda	ej överskrida 40 cm * 20 cm * 5 cm	K	4	0	4
12	Vikt					
12.1	Totalvikt	under 2,3 kg	K	5	0	0
13	Estetik & Ytfinish					
13.1	Märkas med kabeldots och ABBs loggor		K	5	0	0
13.2	Upplevas len mot hand	erbjuda enkelt greppbyte	Ö	4	0	0
13.3	God visibilitet	ej försvinna mot underlag i mörker	Ö	4	4	4
13.4	Utstråla enkelhet	tidlös, tydlig funktion	Ö	3	3	3
14	Material					
14.1	Erbjuda isolering mot ström		K	5		
14.2	Motstå skjuvspänning		K	5		
15	Standarder & lagkrav					
15.1	Uppfylla krav för IEC märkning 60900	krav för användning av handverktyg vid 1000 V a.c. & 1500 V DC.	K	5	0	0
15.2	Märkas med IEC 60900 symbol	två trianglar	K	5	0	0
15.3	Uppfylla krav för CE märkning	grundläggande krav i EU-direktiv	K	5	0	0

BILAGA 4. Sida 4(4)

16	Ergonomi					
16.1	Erbjuda flera greppmöjligheter		K	4	0	4
16.2	Erbjuda vänster- & högerhandsfattning		K	5	0	0
16.3	Erbjuda god handfattning	handtaget bör vara mellan 10-13cm långt vid kraftgrepp	K	5	0	5
16.4	Medge god kraft	grepp nära handens naturliga position	K	4	4	4
16.5	Främja ett lågt yttryck i handen	fördela yttrycket på en stor del av handen, cirkulärt kraftgrepp ca 4cm	K	4	4	4
16.7	Tyngdpunkt nära hand		K	4	0	0
16.8	Uppmuntra en god arbetsställning	möjliggöra naturliga arbetspositioner	K	4	-4	0
16.9	Erbjuda tvåhansfattning för ökad precision	plats för två händer	K	5	0	0
16.10	Erbjuda tydliga funktioner	tydlig funktionalitet, tydlig greppsemantik				
17	Kundkrav					
17.1	Begränsa kraftansträngning	undvika "rycket" vid släpp	I	4	0	4
17.2	Erbjuda T-handtag					
17.3	Erbjuda sexan och åtta i samma verktyg					
18	Kvalitet & tillförlitlighet					
18.1	Kontinuerlig kvalitet	från tillverkning	K	4	0	0
19	Tillverkningskapacitet					
19.1	Erbjuda stor tillverkningsvolym	>5000/år	K	5	0	0
20	Säkerhet					
20.1	Erbjuda arbete på säkert avstånd från ledare	avstånd ska upplevas säkert	K	5		
20.2	Eliminera risk för skärsår	undvika skägg från gjutning & vassa konstruktioner	K	5	0	0

BILAGA 4. Sida 5(4)

20. 3	Skydd för hand i händelse av halkning	önskemål men får ej kompromissa form och platsupptagning	Ö	2	0	0
20. 4	Eliminera klämrisk		K	3	3	0
20. 5	Lätt att identifiera kritiska skador på verktyg	för att undvika personskador	K	5	0	0
20. 6	Tydliga instruktioner för avsedd användning		Ö	3	0	0
			SUMMA:		37	53

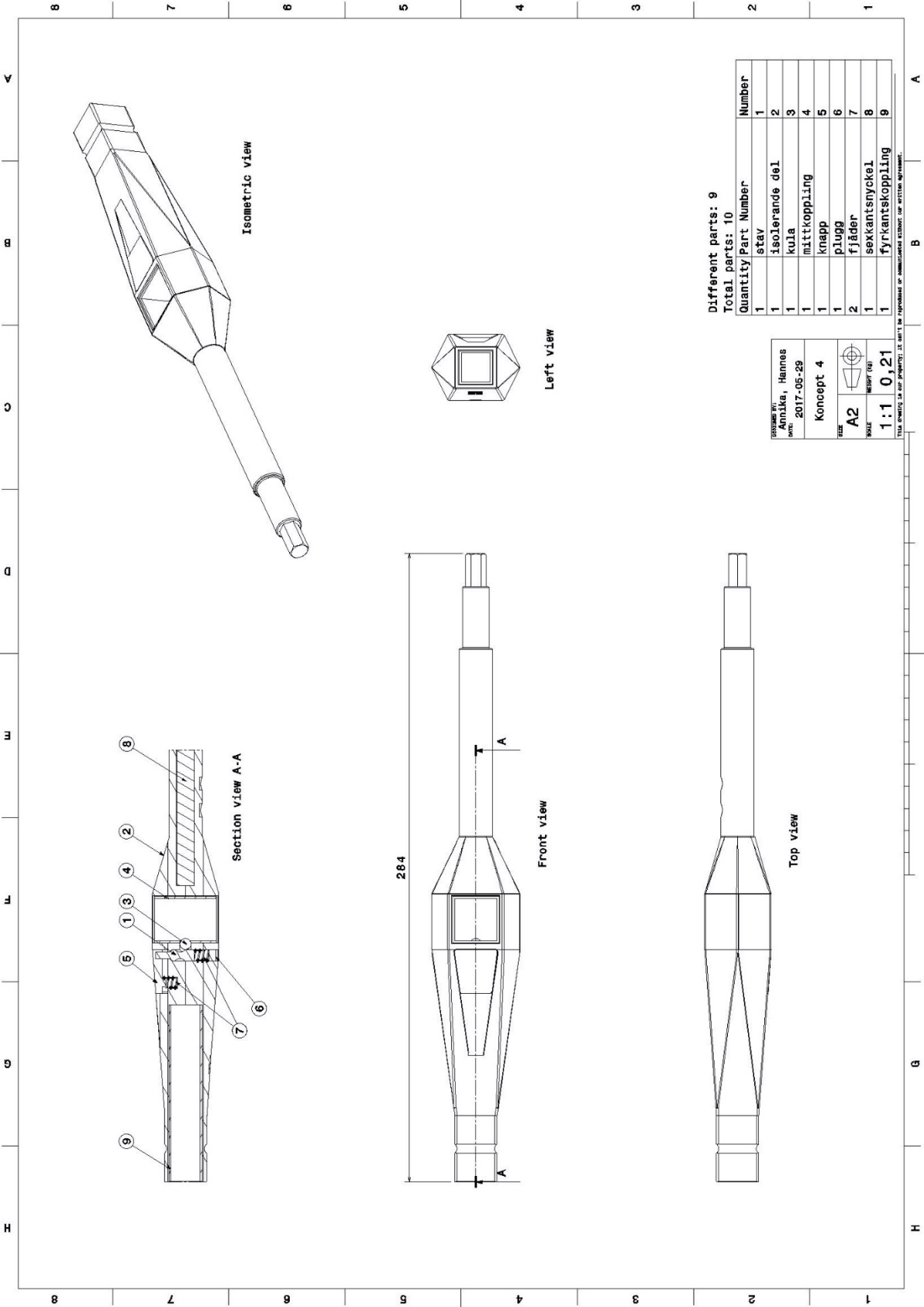
PUGH – SLUTKONCEPT JÄMFÖRT MED REFERENSNYCKEL

Koncept 4 jämfört med Referensnyckel		
Funktioner		
Rotera skruv	0	
Insexnyckel 6 & 8	0	
Tillföra vridmoment	0	
Prestanda		
Effektiv användning	+	Tillåter snabb rotation av mejsel då form möjliggör snabbt greppbyte. Sammankoppling av mejslarna går snabbt då det finns många passningsmöjligheter.
Erbjuda alternering mellan 6ans & 8ans sexkantsnyckel	0	
Erbjuda kompatibilitet med momentnyckel	0	
Erbjuda högt moment utan momentnyckel	+	När mejslarna är kopplade i T-formation erbjuds en längre hävarm, samt tvåhandsfattning på T-koppling.
Klara utomhusmiljöer	0	
Klara stötar	0	
Tillföra precision	+	Mejseln kan användas ensam och då kan ett diagonalt helhandsgrepp kan användas utan att T-handtaget utgör ett hinder.
Enkel funktion	0	
Miljö		
Märkas med miljömärkning	0	
Erbjuda enkel underhållning/reparationsmöjligheter	+	Kan köpa separat om en går sönder. kan skruva ut plugg för att reparera mekanik.
Stämma överens med ABBs hållbarhetsvisioner	0	
Erbjuda separering av olika material	0	
Undvika kompositmaterial	0	
Uppbyggd i moduler	0	
Ej utsöndra farliga ämnen	0	
Livslängd		
Lång livslängd	Kräver test	
Underhåll		
Datummärkning på produkt	0	

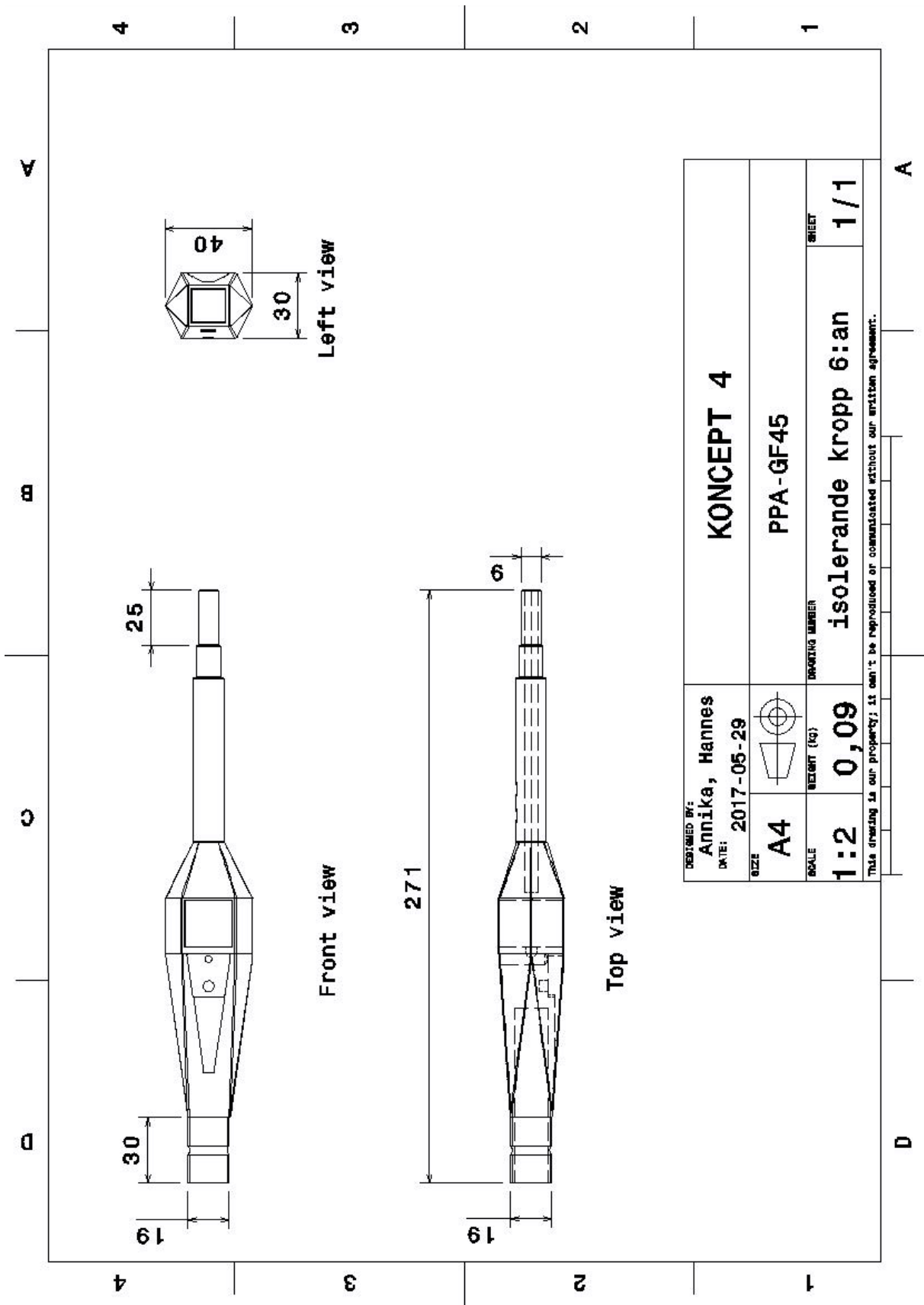
BILAGA 5. Sida 2(3)

Tillverkningskostnad		
Minimera antal tillverkningsmetoder	0	
Vid eventuell formsprutning, medge släppvinkel	0	
Distributionssätt		
Medge platseffektiv transporter	+	Mejslarna tar mindre plats på höjden och i sidled i demonterat läge.
Paketering		
Ej skadas vid paketering & transport	0	
Kvantitet		
Produktionsvolym	0	
Tillverkningsanläggning		
Miljöcertifierade fabriker	0	
Storlek		
Lätt att ta med sig	0	
Kunna förvaras i verktygslåda	0	
Vikt		
Totalvikt	0	
Estetik & Ytfinish		
Märkas med kabeldots och ABBs loggor	0	
Upplevas len mot hand	0	
God visibilitet	+	Verktygets färger är ljusare än referensnyckeln. Dessutom har verktygets gula detaljer reflekterande egenskaper.
Utstråla enkelhet	0	
Material		
Erbjuda isolering mot ström	0	
Motstå skjuvspänning	+	Bättre kraftflöde samt mer material vid kritiska lägen.
Standarder & lagkrav		
Uppfylla krav för IEC märkning 60900	Kräver test	
Märkas med IEC 60900 symbol	?	
Uppfylla krav för CE märkning	?	
Ergonomi		
Erbjuda flera greppmöjligheter	+	Möjlighet till tre grepp kontra två.

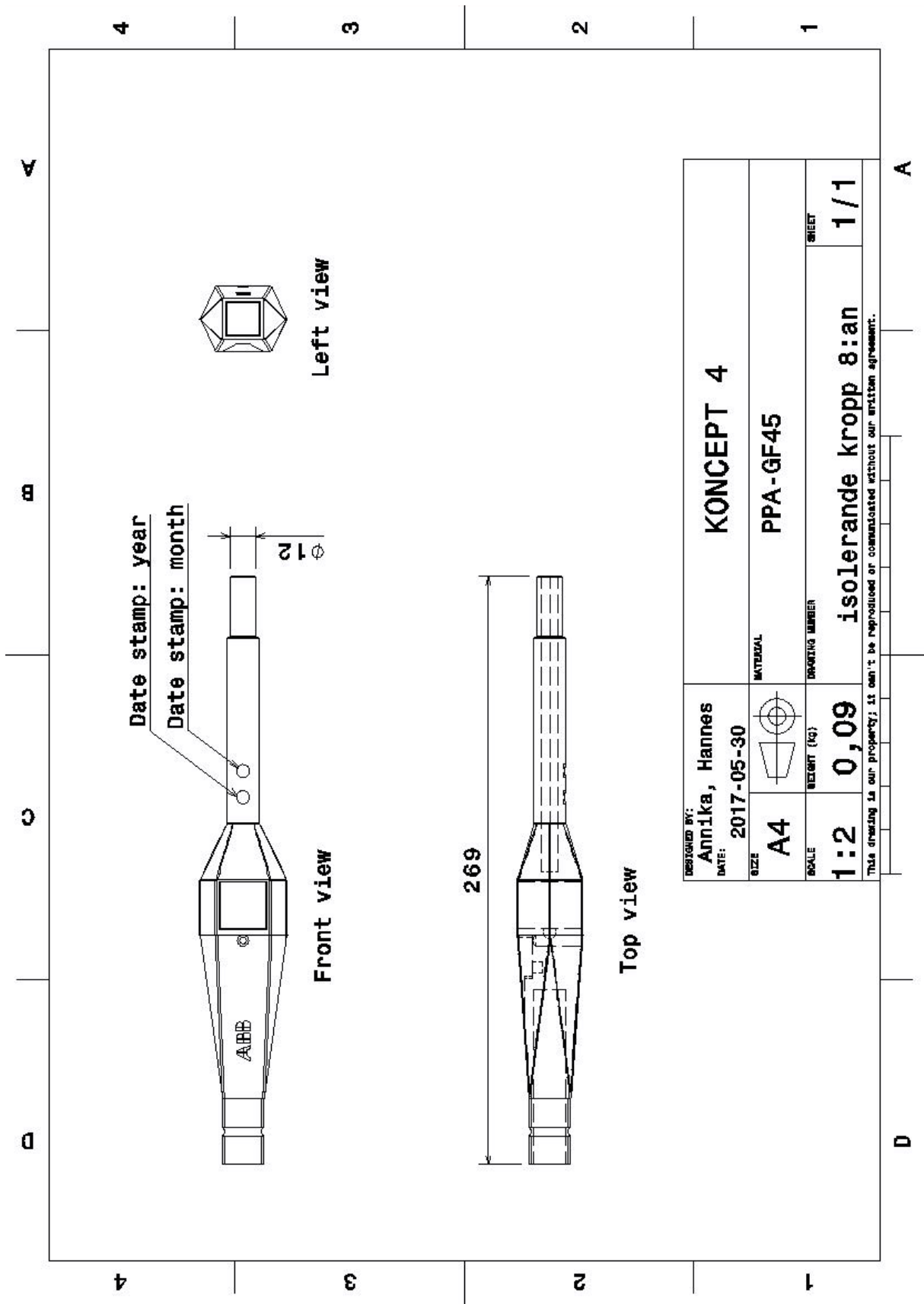
Erbjuda vänster- & högerhandsfattning	0	
Erbjuda god handfattning	+	Bekvämare T-koppling.
Medge god kraft	+	Handtagets diameter på 4 cm är optimerat för kraftgrepp.
Främja ett lågt ytryck i handen	+	Verktygets kantiga och välvda form möjliggör större kontaktytor med hand.
Tyngdpunkt nära hand	0	
Uppmuntra en god arbetsställning	0	
Erbjuda tvåhansfattning för ökad precision	0	
Erbjuda tydliga funktioner	+	Kontrastfärg på låsknapp.
Kundkrav		
Begränsa kraftansträngning	+	Längre hävarm minskar kraftansträngning då verktyget används i sitt T-läge.
Erbjuda T-handtag	0	
Erbjuda sexan och åttan i samma verktyg	0	
Kvalitet & tillförlitlighet		
Kontinuerlig kvalitet	Kräver test	
Tillverkningskapacitet		
Erbjuda stor tillverkningsvolym	0	
Säkerhet		
Erbjuda arbete på säkert avstånd från ledare	0	
Eliminera risk för skärsår	0	
Skydd för hand i händelse av halkning	-	En tydlig definerad kant för att stoppa eventuell halkning saknas.
Eliminera klämrisk	0	
Lätt att identifiera kritiska skador på verktyg	0	
Tydliga instruktioner för avsedd användning	+	Väldefinerad låsknapp.



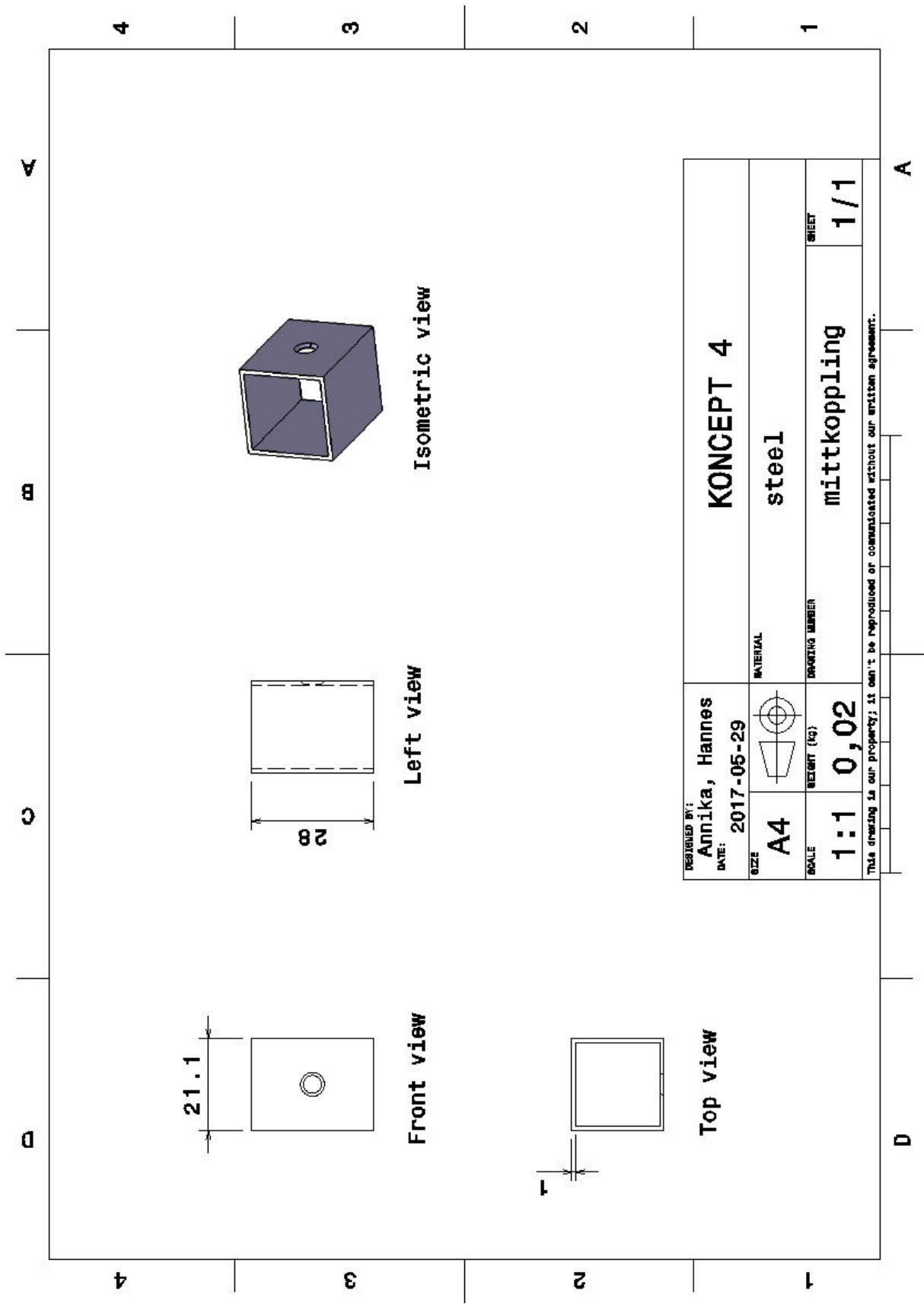
Ritningen är ej i skala.



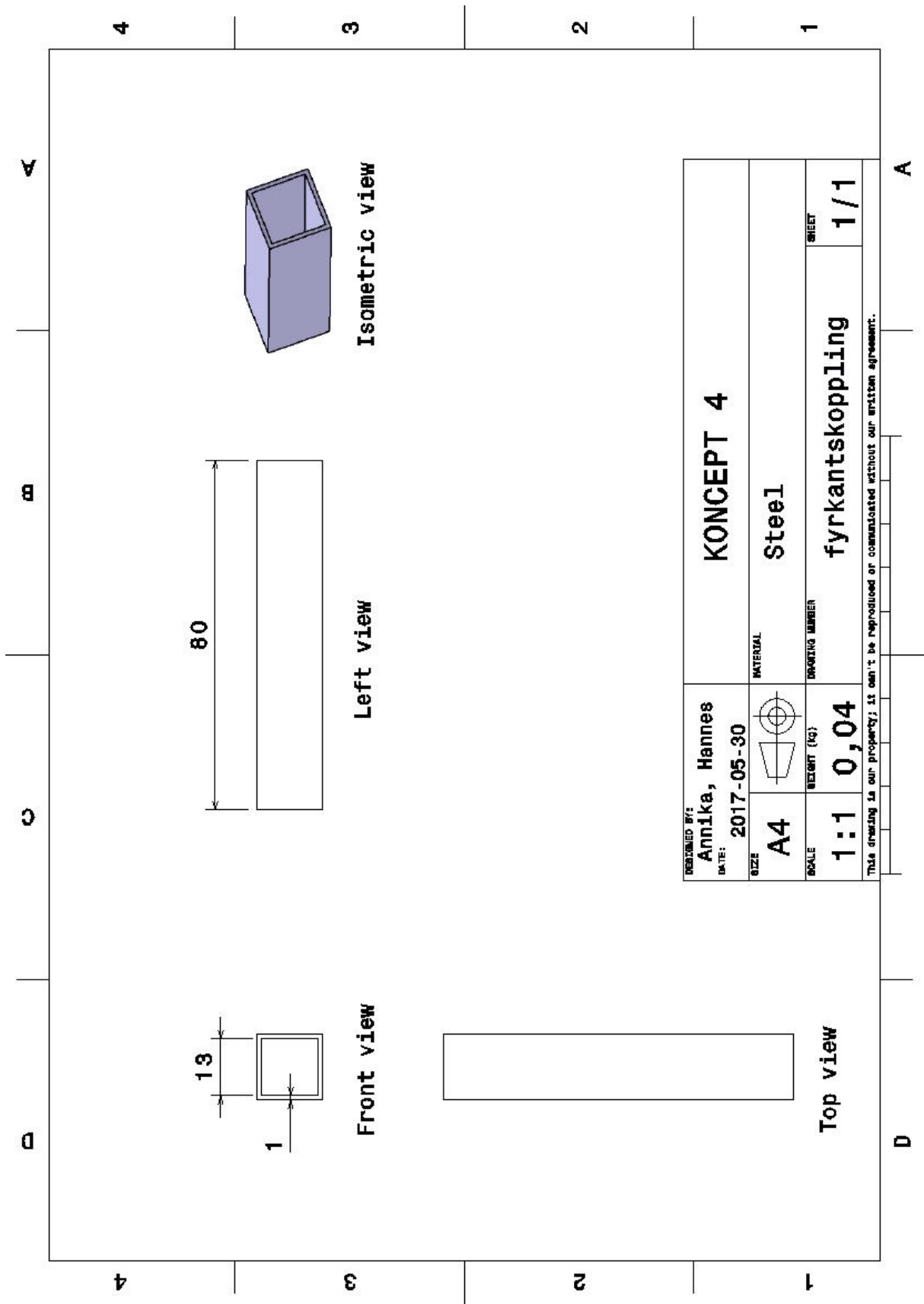
Ritningen är ej i skala.



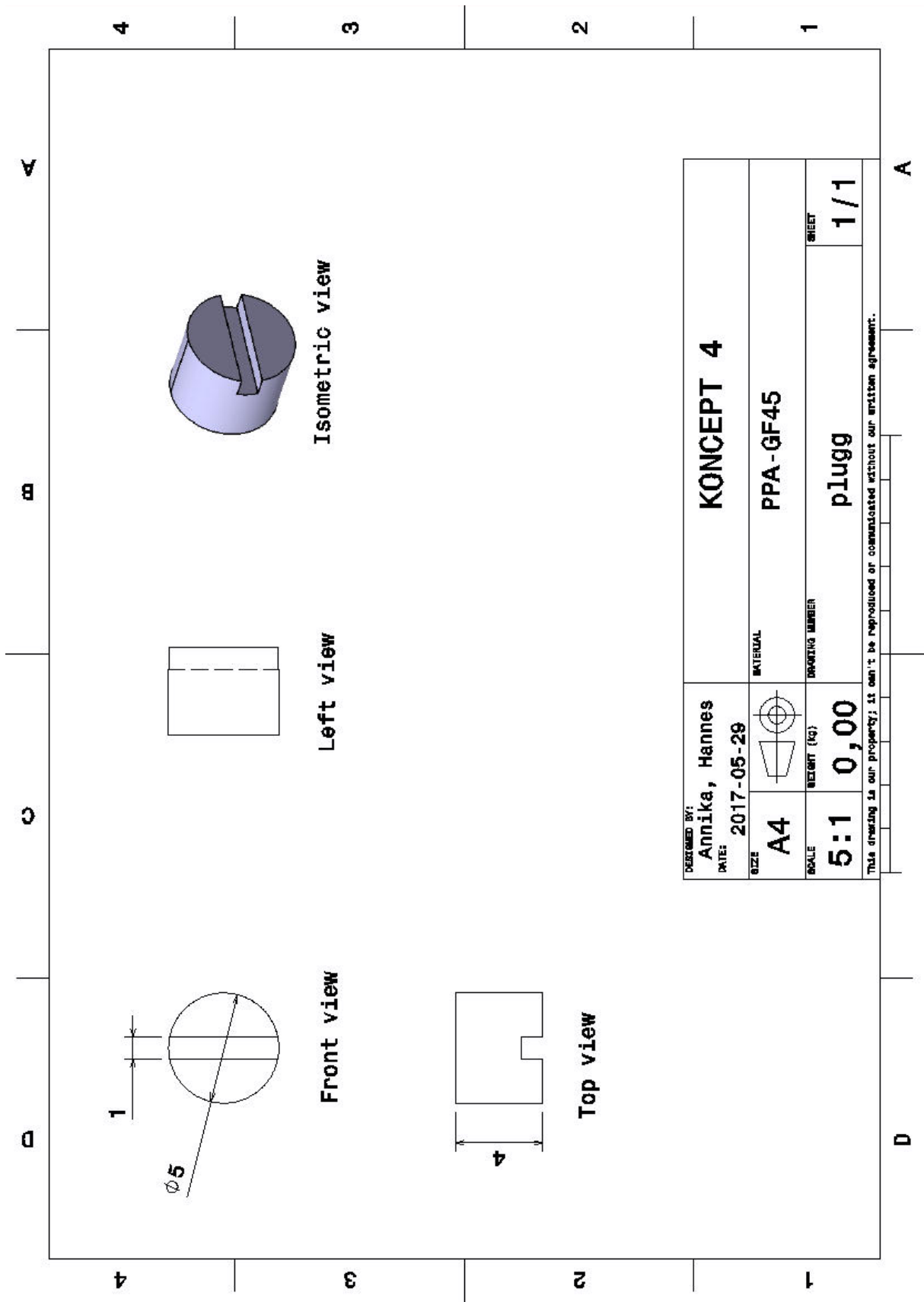
Ritningen är ej i skala.



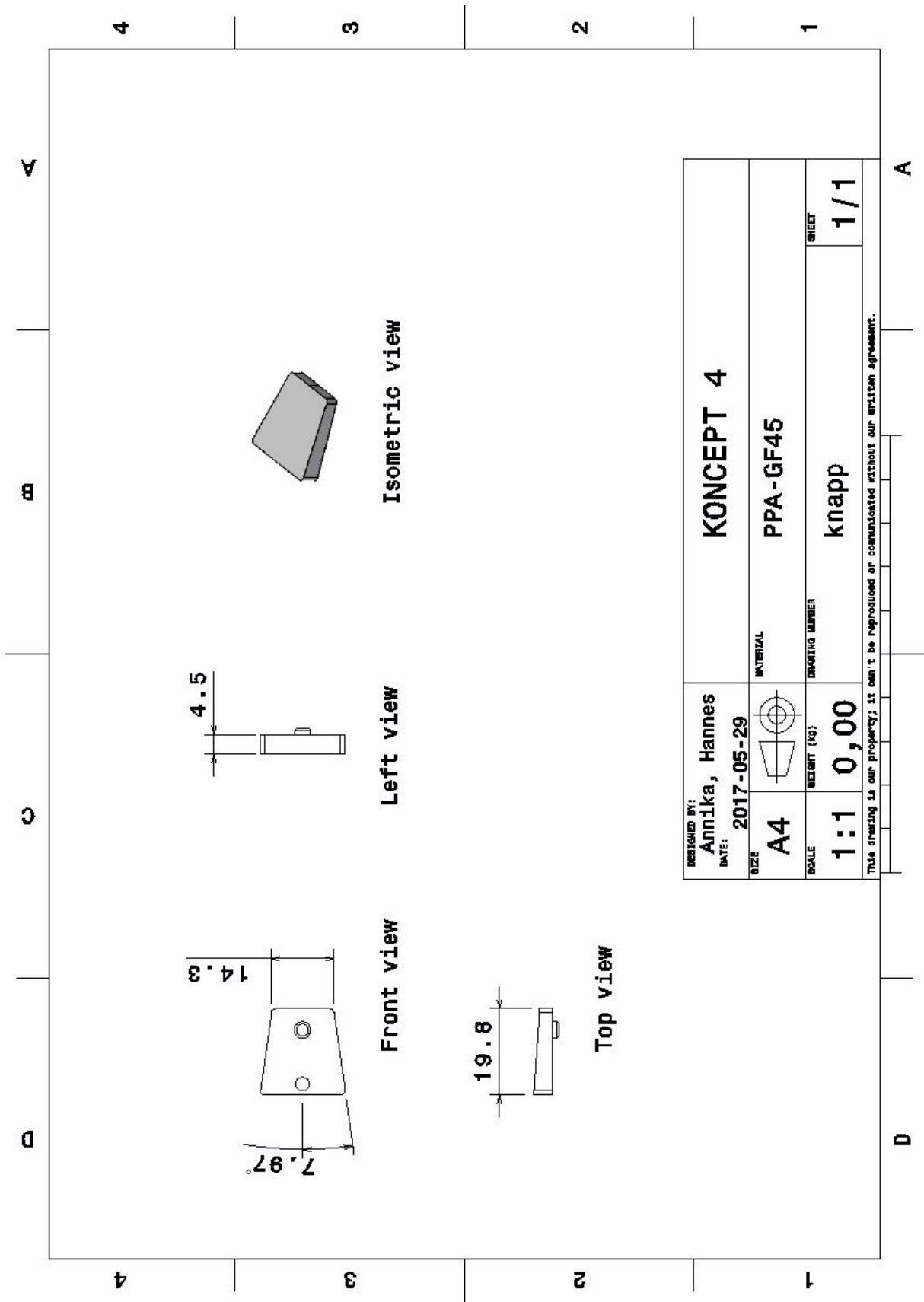
Ritningen är ej i skala.



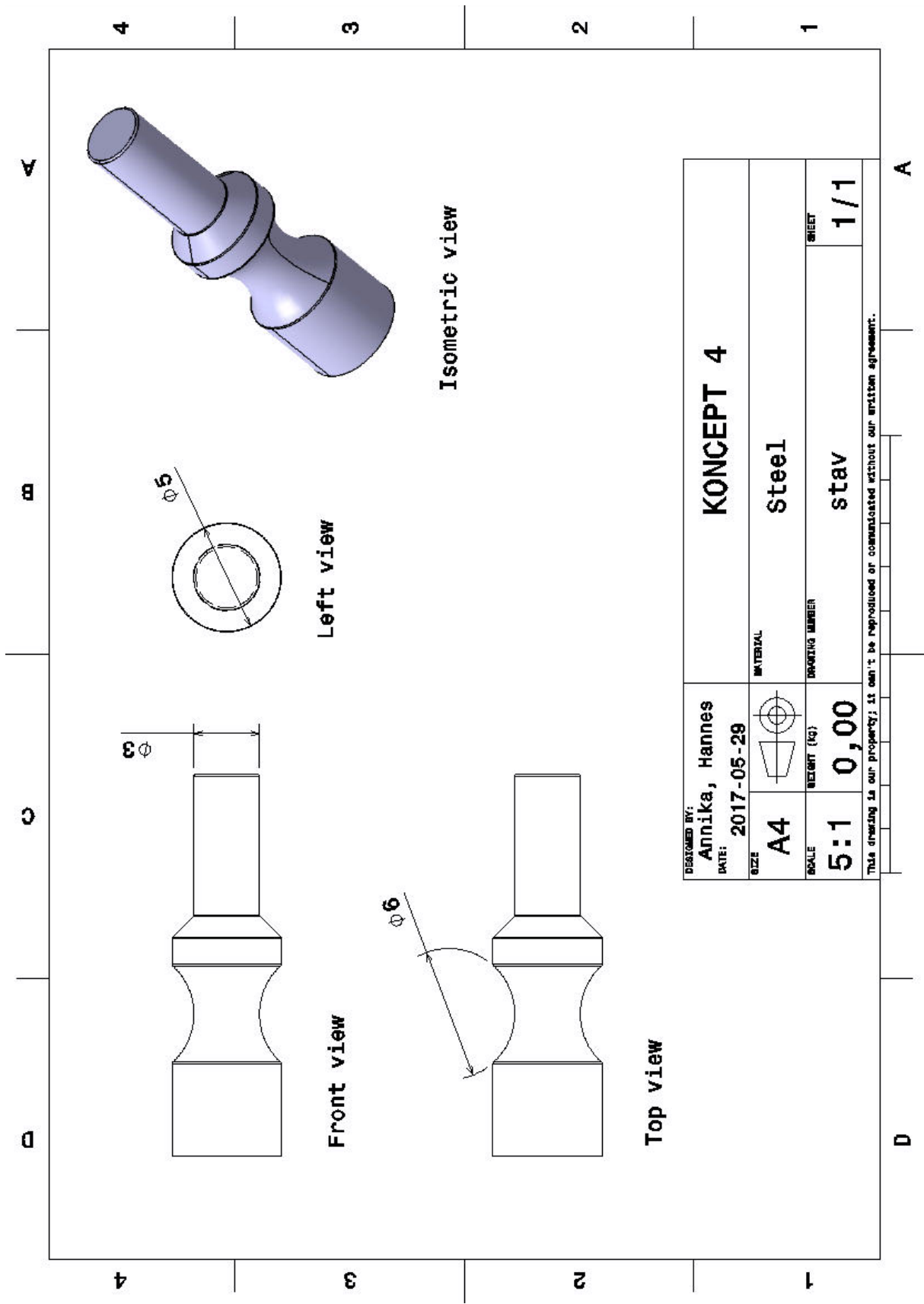
Ritningen är ej i skala.



Ritningen är ej i skala.



Ritningen är ej i skala.



Ritningen är ej i skala.