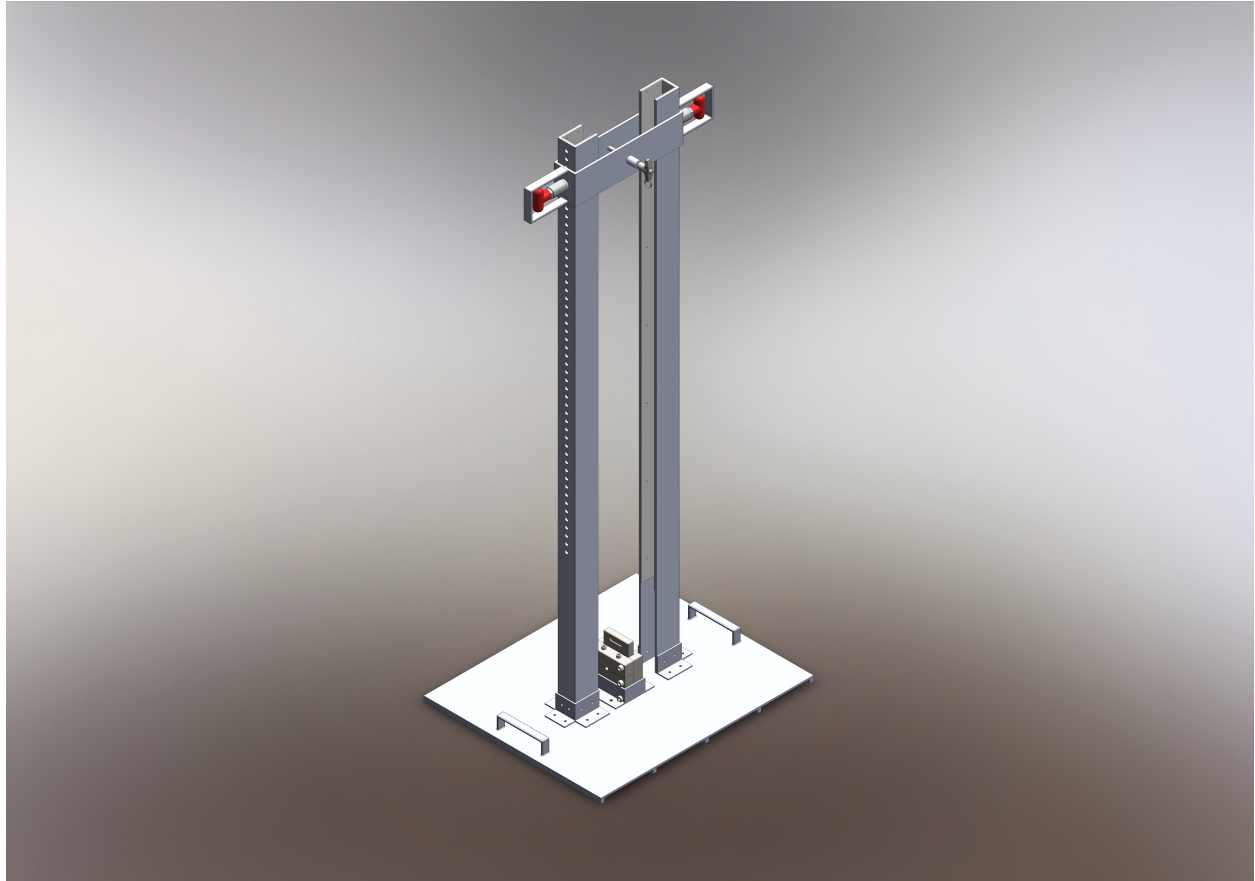




CHALMERS



Utveckling av en stötprovningsanordning och testmetod för utvärdering av fästement under snabba skjuvförlopp

Examensarbete inom högskoleprogrammet Maskinteknik

FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2025

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2025

**Utveckling av en stötprovningsanordning och
testmetod för utvärdering av fästelement under
snabba skjuvförlopp**

FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG



CHALMERS

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025

Utveckling av en stötprovningsanordning och testmetod för utvärdering av fästelement under snabba skjuvförlopp
FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG

© FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG 2025.

Handledare: Emmy Pavlovic, Bulten Fasteners AB
Examinator: Peter Hammersberg, Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Examensarbete 2025
Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Slutdesign av stötprovningsanordning

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2025

Utveckling av en stötprovningsanordning och testmetod för utvärdering av fästelement under snabba skjuvförlopp

FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Detta examensarbete syftade till att ta fram en testmetod för att analysera snabba skjuvförlopp samt att designa en stötprovningsanordning för att testa skjuvhållfastheten hos skruvar och bultar. Projektet genomfördes i samarbete med, och på begäran av, Bulten Fasteners AB (BFAB). Begäran grundar sig på att skjuvningsbrott av bultar har blivit ett vanligare problem som inträffar, speciellt i kollisioner med elbilar, som har tunga batteripack monterade.

Arbetet inleddes med en undersökning av befintliga testmetoder samt standarder, där Charpy-slagprov och fallviktsprov granskades. För att identifiera hur stor en kollision som orsakade skjuvning hos en bult behövde vara, behövde de kritiska faktorerna vikt, fallhöjd och skruvklassning bestämmas. Dessa var okända vid projektets start. Därför konstruerades en grovtestrigg med avsikt att fastställa dessa. Tester visade att en fallhöjd på cirka 100 cm tillsammans med en vikt på 10 kg var tillräcklig för att skjuva av de bultar och skruvar som var av intresse. Resultaten från prototypfasen låg till grund för den slutliga designen av testtriggen, som inkluderar förbättrad skruvhållare, justerbar fallhöjd och ökad stabilitet.

Den framtagna testtriggen är kompakt, demonterbar och anpassad för laboratoriemiljö. För att säkerställa tillförlitliga resultat utvecklades en testmetod baserad på standarden ASTM D2444-21, anpassad för skjuvningstester av bultar. Genom att ha en standardiserad testmetod som ger repeterbara resultat kommer det bli mycket lättare att få godkännande av kunder att använda produkten samt acceptera testresultaten. Det är även en förutsättning för långsiktig affärsutveckling. Testmetoden är lätt att använda samt ökar tillförlitligheten på mätvärdena.

Nyckelord: skjuvning, design, stötprovning, testmetod, bultar, skruvar, materialhållfasthet.

Development of an Impact Testing Device and Test Method for Evaluating Fasteners under Rapid Shear Loading
FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG
Department of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

This thesis aimed to develop a testing method to analyze fast shear deformations and to design an impact testing device to assess the shear strength of screws and bolts. The project was carried out in collaboration with and at the request of Bulten Fasteners AB (BFAB). The request arose from the increasing issues of shear failure of bolts, particularly in collisions with electric vehicles with heavy battery packs installed.

The work was done in three phases: mapping of existing methods, preliminary screening tests and final design of the test rig. The first phase began with mapping of existing testing methods and standards, where Charpy impact testing and drop weight tests were reviewed. A rough test rig was then constructed for screening of critical factors such as weight, relevant testing ranges, screw grade and how large an impact would need to be to cause shear failure in a bolt. Tests showed that a drop height of approximately 100 cm was sufficient to shear bolts and screws of interest with a 10 kg weight. The results from the prototype phase formed the basis for the final design of the test rig, which includes an improved screw holder, adjustable drop height, and increased stability.

The developed test rig is compact, detachable, and adapted for laboratory environments. To ensure reliable results, a testing method was developed based on the ASTM D2444-21 standard, tailored for shear tests of bolts. By having a legitimate testing method that follows a standard, it will be much easier to gain customer approval for using the product and accepting the test results. The testing method is easy to use and enhances the reproducibility of the measurement values. The project has provided valuable insights into engineering product development and the practical application of testing methods for fasteners.

Keywords: shear strength, design, impact testing, test method, bolts, screws, material durability.

Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och är skrivet av Filip Johansson och Philip Gunterberg vid Chalmers Tekniska högskola på Maskintekniksprogrammet. Arbetet påbörjades i oktober månad 2024 vid institutionen för Industri- och Materialvetenskap och avslutades i februari 2025. Arbetet har varit väldigt lärorikt och vi har breddat våra kunskaper kring hur det är att arbeta som ingenjörer.

Idén kring att ta fram en testtrigg för slagprovning hade sedan en tid tillbaka funnits hos Bulten Fasteners AB (BFAB) och vi känner oss tacksamma för att vi fick förtroendet att genomföra projektet.

Vi vill tacka vår examinator och handledare från Chalmers, Peter Hammersberg, som har gett oss värdefulla tankar och vetenskapliga påpekanden, samt vår handledare från BFAB, Emmy Pavlovic, som med sin erfarenhet och expertis inom området bidragit med nyttiga idéer och bra återkoppling under projektets gång.

Ett stort tack ska även riktas till hela Teknik- och Innovationsavdelningen på BFAB, som kontinuerligt har hjälpt oss nå vårt mål genom att bidra med sina kunskaper.

FILIP JOHANSSON, PHILIP GUNTERBERG, Göteborg, Februari 2025

Akronymer

Nedan följer en lista över förkortningar som används i denna rapport, ordnade i alfabetisk ordning:

BFAB	Bulten Fasteners AB
C&E	Cause and Effect
DOE	Design Of Experiment
FMEA	Failure Modes And Effects Analysis
P-map	Process Map

Nomenklatur

Nedan följer en förklaring av de symboler och beteckningar som förekommer i rapporten:

E	Potentiell energi
m	Massa
g	Tyngdaccelerationen
h	Höjd
τ	Skjuvspänning
T	Tvärkraft
A	Snittarea
θ	Vinkel
G	Skjuvmodul
γ	Skjuvtöjning
σ_b	Brottgräns
σ_s	Sträckgräns
N	Newton
M	Mega
Pa	Pascal

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål	1
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Precisering av frågeställning	2
2	Teori	3
2.1	Vad är skjuvning	3
2.2	Metallens mikrostruktur	4
2.3	Klassning av skruvars hållfasthet	5
2.4	Befintliga provmetoder	6
2.4.1	Charpy-slagningsprov	6
2.4.2	Fallviktsprov	7
2.4.3	Begränsningar med befintliga provmetoder	7
3	Metod	8
3.1	Förstudier	8
3.1.1	Undersökning av befintliga testanordningar	8
3.1.2	Standarder	8
3.1.3	Befintlig skjuvhållare på Bulten	8
3.2	Grovtester	9
3.2.1	Planering	9
3.2.2	Design av grovtestrigg	9
3.2.3	Utförande av tester	10
3.3	Faktor försök	11
3.3.1	Processkartläggning	11
3.3.2	C&E-matris	12
3.3.3	FMEA	12
3.4	Utförande av ytterligare tester	13
4	Resultat	14
4.1	Utvärdering av grovtester & grovtestrigg	14
4.2	Slutgiltig design	16
4.2.1	Vikthållare	16
4.2.2	Ben	17

4.2.3	Skruvhållare	19
4.2.4	Bottenplatta	20
4.3	Testprocedur	21
4.3.1	Förberedelse	21
4.3.2	Utförande	21
	4.3.2.1 Preliminära tester	21
	4.3.2.2 Slutgiltigt test	22
4.3.3	Acceptabel data	22
4.3.4	Sannolikhetsgraf	22
4.3.5	Rapportering	23
5	Diskussion	24
6	Slutsats	26
	Litteraturförteckning	27
A	Appendix	I

1

Inledning

1.1 Bakgrund

Under de senaste åren har BFAB sett mer och mer kundfrågor komma in på ämnet skjuvhållfasthet av skruvar. Detta tycks vara länkat till montering av batteripack i elektriska bilar. Vid en eventuell kollision med en elbil skapar det tunga batteriet stora skjuvlaster på de skruvar som batteriet sitter monterat med, vilket leder till att skruvarna kan skjuvas av.

Detta är ett nytt fenomen inom skruvförband, då designen vanligtvis fokuserar på att skapa tillräcklig klämkraft för att skjuvning inte ska kunna ske överhuvudtaget. Men med just de nya batteripacken får grövre skruvdimensioner ofta inte plats, så för de extrema lastfallen vid en eventuell kollision räcker klämkraften inte till.

BFAB har börjat titta på materialutveckling för att skapa mikrostruktur med bättre skjuvhållfasthet och behöver för denna utveckling kunna utföra enkla och snabba tester med en tillhörande testprocedur. Bulten har redan tagit fram verktyg för att kunna utföra långsamma skjuvtest i deras dragprovningssmaskin, men de behöver även kunna testa snabba förlopp då det är relevant vid fallet av en kollision. Med andra ord behöver BFAB en maskin för att kunna testa snabba skjuvförlopp på ett så effektivt och tillförlitligt sätt som möjligt.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att utveckla en simpel provutrustning för att testa skjuvhållfasthet hos skruvar, axisymmetriska och runda produkter. Till detta behövs även ett koncept tas fram som omfattar mätmetod och mätförfarande som passar in i de förutsättningar som finns hos BFAB och som uppfyller relevanta standarder. Maskinen ska vara dimensionerad så att den är hanterbar och säker för att användas i labbmiljö. Det ska även vara tydligt vilka dimensioner på skruvar som kan testas.

1.3 Mål

Den förväntade slutleveransen blir således design, ritningar, en komponentlista till provutrustningen och en mätmetod för jämförelse av bultar efter skjuvning.

1.4 Avgränsningar

För att provutrustningen ska kunna användas och vara lönsam för Bulten Fasteners AB så tillkommer det ett antal avgränsningar som rekommenderas att följa. Genom diskussioner med personal från Bultens Teknik & Innovationsavdelning samt egna initiativ av gruppen framfördes därför avgränsningarna nedan.

- Test- och mätprocessen följer inte någon standard helt ut.
- Skruvar och bultar med dimensionen M6, M8 och M10 kommer provas.

1.5 Precisering av frågeställning

- Hur ska testanordningen vara utformad?
- Vilka skruvdimensioner ska gå att testa?
- Hur mycket vikt ska det gå att lasta och till vilken fallhöjd?
- Vilka standarder kan följas?
- Vilken kunskap finns det idag om mätning av skjuvning hos bultar?
- Hur ska skjuvning av skruvarna kvantifieras?
- Vad är det lämpligaste mätförfarandet för denna typ av karaktärisering?

2

Teori

I detta kapitel kommer den teoretiska bakgrunden till projektet att diskuteras, från hur samt varför skjuvning uppstår från första början, till metallers struktur och dess inverkan på materialegenskaper. En beskrivning av befintliga produkter på marknaden kommer även att behandlas.

2.1 Vad är skjuvning

Skjuvning är en form av deformation som framkommer när två krafter verkar på en kropp parallellt men i motsatt riktning. Detta innebär att kroppen ändrar form men inte nödvändigtvis att volymen ändras. Skjuvning kan uppstå i flera olika fall, som när byggnader utsätts för kraftiga vindar, det vill säga att taket förskjuts i sidled i relation till bottenplattan, eller när bultar och skruvar träffas av en smäll från sidan. I fig. 2.1 visas en skruv utsatt för skjuvning.



Figur 2.1: Bult utsatt för skjuvning (Fastenal, 2009)

Vad som får en kropp att börja skjuvas bestäms av flera olika faktorer så som vilket material den är gjord av, dess mekaniska egenskaper, hur mikrostrukturen ser ut, temperatur samt hur stor snittytns area är. När en kropp utsätts för skjuvning uppstår det något som kallas skjuvspänningar i kroppen. Dessa spänningar kan beskrivas med ekvationen (2.1) som ger medelvärdet av skjuvspänningen över snittytnan på kroppen, τ :

$$\tau = \frac{T}{A} \quad (2.1)$$

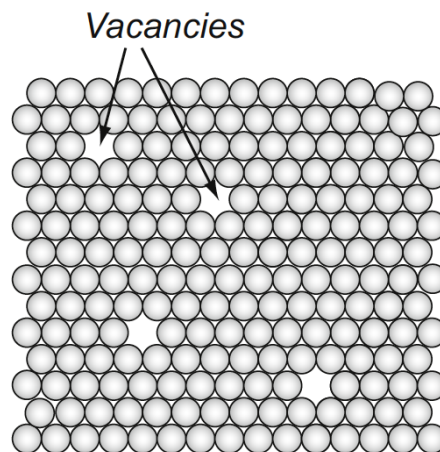
Där T är tvärkraften och A är snittykans area.

När ett material utsätts för skjuvspänningar så har materialet stor inverkan på hur mycket skjuvning (deformation) som kommer att uppstå. Vad som bestämmer hur mycket materialet skjivas när en skjuvspänning, τ , appliceras på materialet är skjuvmodulen, G . Skjuvmodulen hos ett material kan beskrivas med ekvationen (2.2) där γ är skjuvtöjningen. Om ett material har hög skjuvmodul innebär det att stora spänningar kommer att krävas för att deformera materialet elastiskt, vilket innebär att det är styvt.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.2)$$

2.2 Metaller mikrostruktur

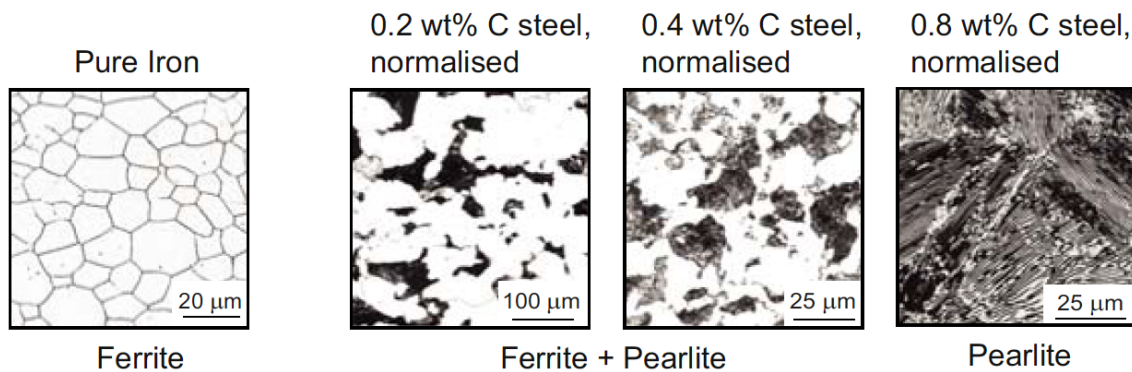
När ett material utsätts för skjuvning förändras dess mikrostruktur på flera sätt beroende på spänningens storlek, temperaturen och materialets egenskaper. Metaller mikrostruktur börjar redan på atomnivå, där atomerna bygger upp ett gitter enligt fig. 2.2 nedan. Ett gitter är den regelbundna ordningen av atomer i ett fast material, såsom en metall. Materialets egenskaper, såsom densitet och elasticitetsmodul, påverkas av atomtyp samt vilken kristallstruktur atomerna är packade enligt. Inga gitter är hundra procent perfekta, vilket innebär att det kan finnas defekter såsom tomrum och dislokationer. Tomrum är enstaka atomer som saknas i gittret och dislokationer är en typ av tvådimensionella defekter som sträcker sig längs atomplan i gittret. Genom att tillsätta legeringselement kan man påverka materialets egenskaper, exempelvis genom att minska rörligheten hos dislokationer och därmed förändra dess mekaniska egenskaper [1].



Figur 2.2: Illustration av gitter med tomrum (Ashby M, 2014, s. 141).

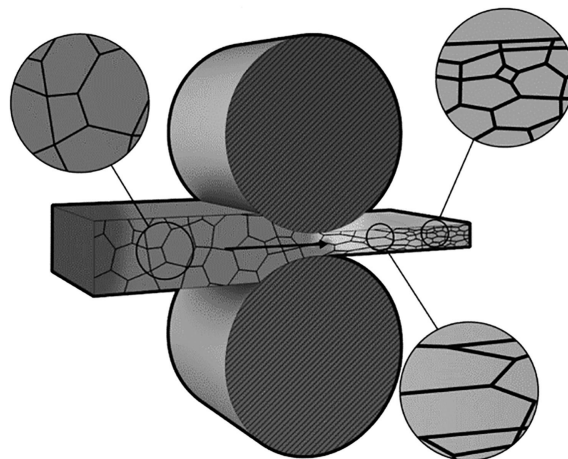
Så kallade korn i metaller är områden som innehåller ett kontinuerligt gitter. Korngränserna bildas där korn med olika riktningar möts. I rena metaller är alla atomer av samma slag, men i legeringar finns även andra ämnen i kristallstrukturen. Genom

att bearbeta materialet, till exempel genom värmebehandling, går det att förändra mikrostrukturen och därmed också materialets egenskaper. I fig. 2.3 nedan kan olika typer av mikrostrukturer i stål ses.



Figur 2.3: Korngränser hos rent järn samt kolstål-legeringar (Ashby M, 2014, s. 578).

När en metall utsätts för en last högre än sträckgränsen så börjar dislokationer röra sig genom kristallplanen samt korngränserna. Det är detta som orsakar plastisk deformation. Fortsätter metallen att utsättas för last efter detta kommer ytterligare dislokationer att formas och så småningom att låsa varandra, även kallat deformationshårdning. Detta leder till att materialet blir hårdare, men även sprödare. Vid en lägre grad av last som inte leder till brott blir istället korngränserna utdragna. Detta är i vissa tillämpningar önskvärt och det kan uppnås genom till exempel valsning där metallen rullas, enligt fig. 2.4.



Figur 2.4: Utdragna korngränser efter valsning (ScienceDirect, 2020).

2.3 Klassning av skruvars hållfasthet

Skruvar i stål är sedan lång tid tillbaka indelade i bestämda hållfasthetsklasser enligt den internationella standarden ISO 898. Dessa klasser beskrivs via en sifferkod i formen (x.y), där x anger det minsta värdet hos skruvens sträckgräns och y dess

relation till brottgräns. Till exempel 8.8 eller 10.9. Det tal som står framför punkten indikerar materialets lägsta brottgräns angivet i 100-tals MPa. Så i exemplet med klassningen 10.9 indikerar siffran tio en lägsta brottgräns på 1000 MPa. Siffran nio efter punkten indikerar kvoten mellan σ_s och σ_B . Detta betyder att nio står för nittio procent av 1000 MPa, vilket innebär en lägsta sträckgräns på 900 MPa [2][3].

2.4 Befintliga provmetoder

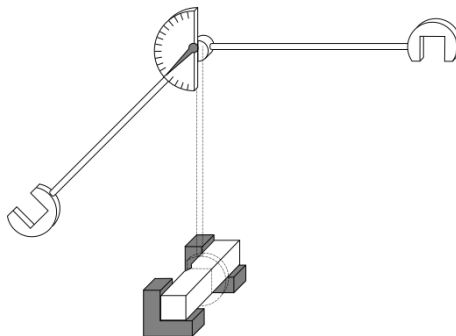
I dagens läge finns det redan befintliga metoder för att utsätta standardiserade testexemplar (ej skruvar) för slagprovning. De två vanligaste metoderna är *Charpy-slagningsprov* samt *Fallviktsprov* som båda finns i varierande skalor anpassade för hur kraftig stöt som önskas eller krävs. Dessa metoder är idag ej anpassade för provning av skruvar, men är ändå mest relevanta för detta arbete.

2.4.1 Charpy-slagningsprov

Charpy-slagprovning är en vanlig metod för att testa mängden energi ett material med en förbestämd fraktur kan absorbera under en hög deformationshastighet. Ett exempel på befintlig utrustning kan ses i fig. 2.5 och består av en pendelarm med en bestämd längd samt en vikt i änden av pendelarmen. För att få reda på hur mycket energi som absorberas av materialet placeras testexemplaret i botten av testapparaten. Därefter jämförs höjden pendelarmen släpptes ifrån med maxhöjden pendelarmen uppnår efter sammanstötningen av testexemplaret. För att beräkna den energi pendelarmen har vid sammanstötningen används ekvation (2.3).

$$E = m \cdot g \cdot h \cdot (1 - \cos\theta) \quad (2.3)$$

Testexemplaret har en standardiserad geometri med ett litet v- eller u-format spår i mitten för att skapa en bestämd brottplats. Detta säkerställer att brottet sker vid samma plats på alla testexemplar, vilket underlättar jämförelsen mellan proverna. Testexemplaret placeras på två stöd med spåret vänt bort från pendeln. Pendeln träffar provets mittpunkt, vilket leder till ett kontrollerat brott.



Figur 2.5: Illustration av Charpy-modell (Wikimedia Commons, 2009).

2.4.2 Fallviktsprov

Ett fallviktsprov utförs genom att släppa en vikt med känd massa från en bestämd höjd direkt på testexemplaret. Utrustningen har ofta samma uppbyggnad som en gammaldags giljotin. Nedan i fig. 2.6 ses ett exempel på en fallviktsprovmaskin. Typiska material som kan provas med denna metod är termoplaster, kompositer samt metaller. Den absorberade energin mäts genom att notera mängden energi som krävs för att deformera eller bryta av testexemplaret.



Figur 2.6: Exempel på giljotinmodell (Zwick/Roell, 2025).

Testexemplaren kan här ha olika geometri. Det går att prova både cylindriska och rektangulära former. Till skillnad från Charpy-provningen måste inte testexemplaren ha v- eller u-formade spår om cylindriska objekt provas.

2.4.3 Begränsningar med befintliga provmetoder

Anledningen till att BFAB såg ett behov av att ta fram en maskin för snabba skjuvförlopp, istället för att använda en befintlig maskin, var att de metoder som finns på marknaden idag saknar möjligheten att testa just skjuvning av skruvar och bultar. Testerna är utformade för att mäta slagseghet genom böjning snarare än ren skjuvning då Charpy- och fallviktsprovning innebär en punktlast på provexemplaret. I de applikationer BFAB vill prova krävs en utbredd last som efterliknar verkliga fall för skruvförband, enligt fig. 2.1. Metoderna saknar i dagsläget möjligheten att ha testexemplaren fast inspända, vilket är viktigt för det önskade lastfallet. Det finns även brister kring när en skruv eller bult kan klassas som trasig.

3

Metod

I detta kapitel följs en beskrivning av de metoder som har använts för att utföra arbetet.

3.1 Förstudier

3.1.1 Undersökning av befintliga testanordningar

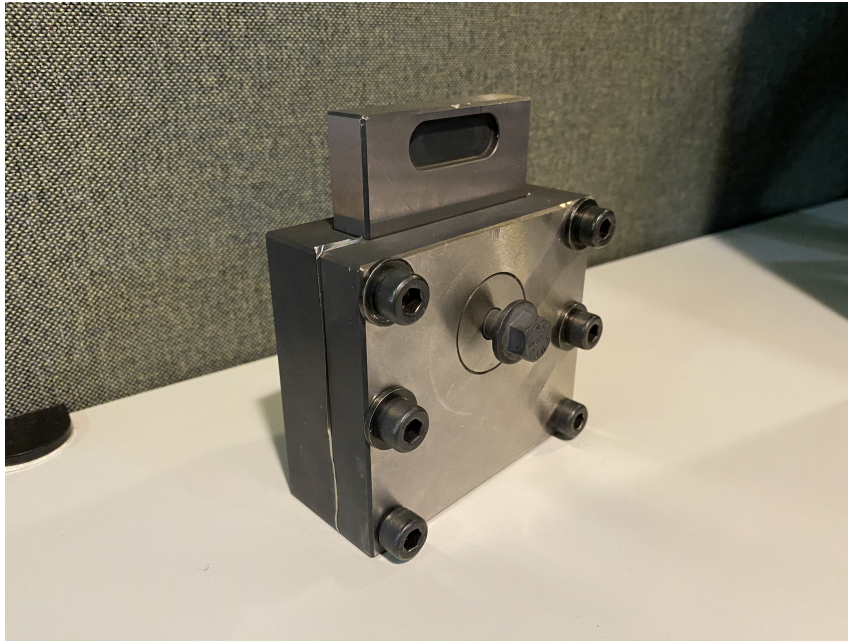
För att väcka inspiration och få mer information om slagtest utfördes en granskning av befintliga testanordningar som finns på marknaden idag. Det gjordes genom att söka information på internet, men även genom att besöka Chalmers egna verkstad och laborationssal. De två varianter av slagtester som är dominerande idag är giljotin- och pendelarmsmodeller enligt kap. 2.4. Ett beslut behövde alltså tas kring vilken metod som skulle användas.

3.1.2 Standarder

Förstudien inkluderade även en granskning av olika standarder såsom ISO 898 och ASTM D2444-21 för att identifiera vilka riktlinjer som är relevanta att följa och vilka krav som bör uppfyllas. Genom att tillverka och verifiera en produkt som följer befintliga standarder kommer det att bli mycket lättare att få godkännande av kunder att använda produkten samt acceptera testresultaten. Här undersöktes standarder som gällde både giljotin- samt pendelarmsmodeller. Även standarder gällande materialegenskaper studerades för att få information kring de laster olika material klarade av under belastning. Enligt standarden SS-EN ISO 898-1, som behandlar mekaniska egenskaper för fästelement av kolstål, framgick det att skruvar klassade 8.8 - 10.9 har en Impact Strength (slaghållfasthet) på min 27 Joule [2]. Detta blev då en av utgångspunkterna för de kommande testerna.

3.1.3 Befintlig skjuvhållare på Bulten

Bulten hade under tidigare utveckling designat en skjuvhållare lämplig för långsamma skjuvtest via kompression i deras dragprovsmaskin. Denna skjuvhållare visas nedan i fig. 3.1 och består av en yttre platta, bakre platta och en mellanplatta. Den yttre plattan samt mellanplattan har vardera ett genomgående hål där testskruven förs in. Dessa hål sitter i en cylindrisk utbytbar del, vilket ger möjligheten att prova olika dimensioner. De dimensioner som går att testa är M6, M8 och M10. Mellanplattan refereras hädanefter till som ”puck” och är alltså den delen av hållaren som utsätter skruven för skjuvlast när den belastas rakt uppifrån.



Figur 3.1: Befintlig hållare för långsam skjuvning.

3.2 Grovtester

Efter granskning av standarder och artiklar som är relevanta för skjuvning av bultar konstaterades det att informationen som insamlats inte var tillräcklig. Därför togs beslutet att designa och bygga en prototyptrigg för att utforska problemet ytterligare.

3.2.1 Planering

Genom att följa de angivna avgränsningarna, standarder samt diskussioner med BFAB fastslogs det vilken typ av information man ville ha ut från att bygga en testtrigg. Detta innebar även en början på utformningen av prototypens design. Informationen som ville hämtas från prototypen var hur mycket vikt som behövdes, samt vilken höjd som vikten skulle släppas ifrån för att skjuva bultar i de önskade dimensionerna. För att få ett ungefärligt värde på höjd och vikt som skulle krävas skrevs ett skript i Python enligt ekv. (3.1) för att simulera drop-testet. Det uppskattades att ett värde på 110 Joule skulle räcka gott och väl för att uppnå skjuvning på bultarna av intresse. Uppskattningen var baserad på granskningar av fallviktstester.

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (3.1)$$

3.2.2 Design av grovtesttrigg

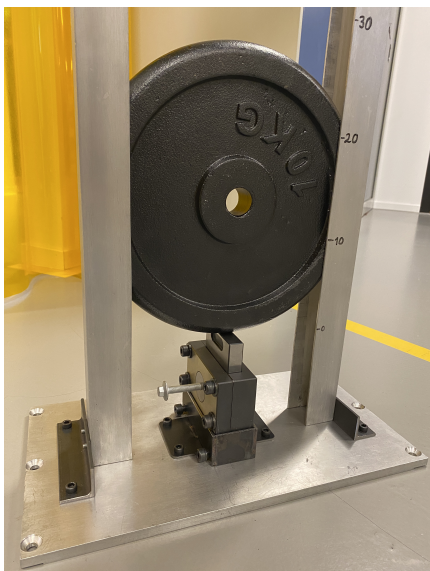
I designen låg fokuset på simplicitet, funktion och storlek. Ytorna hos BFAB var begränsade, vilket innebar att testtriggen inte fick ta upp för stor plats vare sig horisontellt eller vertikalt. Här togs ett beslut om att gå vidare med fallviktsmodellen, vilket innebar att testtriggen enbart tog upp plats i vertikal riktning. Med hjälp av ekv. (3.1) utfördes korta beräkningar för att få fram en uppskattning kring hur hög testtriggen behövde vara. Här togs beslutet att en fallhöjd på 110 centimeter, till-

3. Metod

sammans med en vikt på tio kilo, var tillräcklig för att orsaka brott hos en skruv med dimension M10 och klassning 10.9.

Skjuvhållaren, enligt kap. 3.1.3, fanns tillgänglig och det konstaterades att den skulle gå att använda även i snabba skjuvförlopp. Här behövde dock en mindre modifiering göras. Ett tunt lager av metallpapper, även kallat skimspapper, lades emellan de två yttre blocken för att öka luftflödet och minska friktionen mellan pucken och de yttre plattorna.

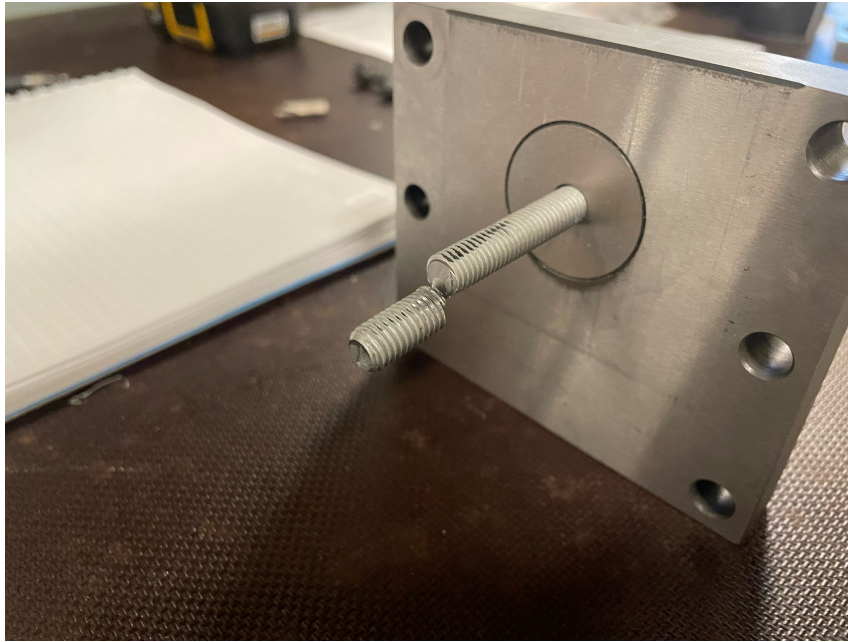
Det konstaterades även att 10 kg vikten för riggen kunde skapas genom att använda en vanlig viktskiva från ett gym. Skjuvhållaren tillsammans med viktskivan var viktiga då designen kretsade runt dessa. Designen består av två skenor, även kallade ben, som fästes på en bottenplatta enligt fig. 3.2. Benen leder viktplattan nedåt, utan att bromsa den, mot hållaren där skruven sitter inspänd. Hållaren placeras vinkelrätt mot viktskivan för att få en centrerad sammanstötning.



Figur 3.2: Viktskiva med grovtestrigg **Figur 3.3:** Färdigtillverkad grovtestrigg

3.2.3 Utförande av tester

Syftet med att utföra tester var att få en bekräftelse på att designen fungerade samt att skruvarna gick av vid den uppskattade fallhöjden. Bulten planerar att utvärdera ett specifikt projekt med denna rig. För provningen valdes därför en typ av skruv; dimension M8 och klassning 8.8. Den valda skruven fördes in i hållaren som i sin tur skruvades fast i testriggen. Person nummer ett förde in vikten i testriggen, medan person nummer två höll linjalen vid den förbestämda höjden som vikten skulle släppas från. När botten av vikten var i höjd med linjalen skedde släppet och därefter skedde kollisionen. Nedan i fig. 3.4 ses en bult utsatt för skjuvning från testerna med ett tydligt skjuvbrott; en stor förskjutning av centrumlinjen.



Figur 3.4: Exempel på skjuvd bult

3.3 Faktorförsök

Efter flera tester där bultar skjuvats i prototypiggen bestämde gruppen att hela testproceduren behövde gås igenom grundligt för att hitta brister. Med brister menas sådant som skulle komma att påverka testresultatet negativt, eller skapa spridning i resultaten. För att identifiera bristerna i processen samt optimera dessa, användes metoden Design of Experiment (DOE). Syftet med att eliminera dessa brister var att i slutändan få mer tillförlitliga resultat.

3.3.1 Processkartläggning

Processkartläggningen startade med att kartlägga alla steg i testprocessen från start till slut med en så kallad P-map [4]. Här kallades varje steg i processen för Input. Konsekvensen till varje Input kallades för Output. För att inte missa något steg rekommenderades det att gå igenom testproceduren både i huvudet samt praktiskt. Detta gjordes flera gånger från start till slut, även baklänges - från slut till start, så att ingen detalj som kunde ha en viktig inverkan på resultatet skulle missas. För att få en uppfattning om vilken roll varje steg i processen hade, klassades varje Input i form av S - Standard Operating Procedure, N - Noise eller C - Critical.

- Standard Operation Procedure - Procedurer som beskriver hur processen körs.
- Noise - Inputvariabler som påverkar dess Output, men som är okontrollerbara eller svåra att styra. Luftfuktighet eller inomhusklimat är två exempel på detta.
- Critical - Inputs som har stor påverkan på dess outputs.

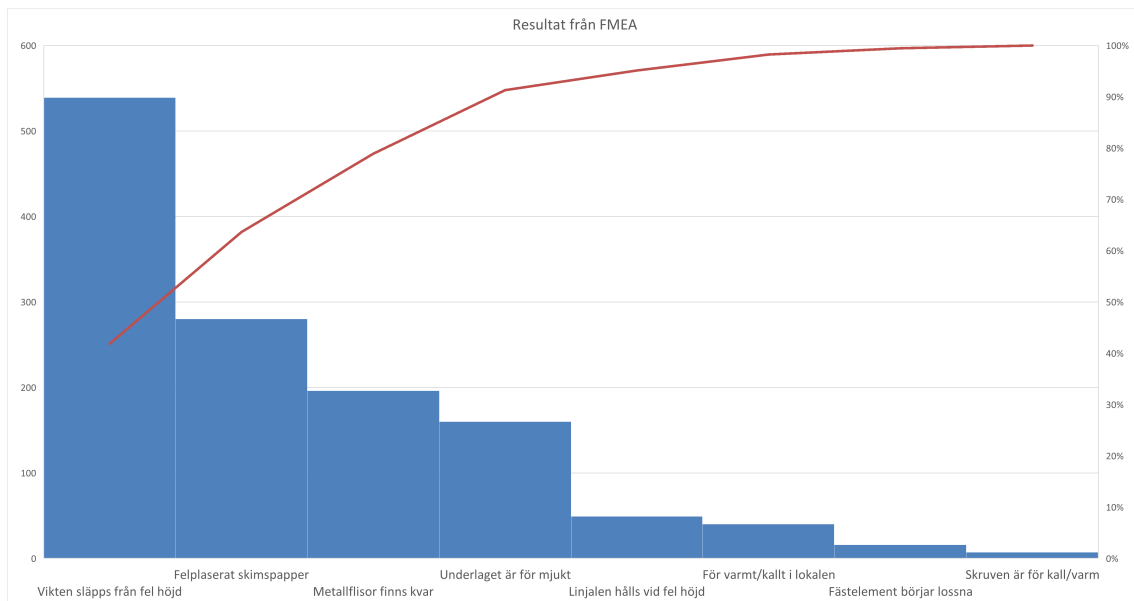
3.3.2 C&E-matris

Nästa steg i DOE-processen var en direkt uppföljare till processkartläggningen. Baserat på den information som tillhandahölls i det tidigare steget skulle nu alla Inputs värderas i relation till önskemålen i en Cause & Effect-matris [4]. Skalan som valdes var 1, 3 eller 9, där 9 innebar störst signifikans. Endast de inputs med högsta betyg gick vidare till nästa steg som var en FMEA. Resultatet från C & E-matrisen kan ses i Appendix.

3.3.3 FMEA

Syftet med att göra en FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) i detta fall var att identifiera de risker (Failure Modes) som fanns med den befintliga testprocessen och designen av riggen samt hur det skulle gå att motverka dessa. Ytterligare följer av att göra en FMEA är att tiden för produktutveckling kortas ned samt att de kostnader som utvecklingen potentiellt medför minskar. Till en början fördes de högst rankade Inputs från C & E-matrisen in i FMEA'n där var och en av dem beskrevs med vad som kunde gå fel i just det processteget, samt hur det kunde påverka funktionen eller processen. Dessa rankades med 1, 4, 7 eller 10, där 10 hade högst påverkan.

Nästa steg var att identifiera orsaken till dessa brister, alltså hur de eventuellt kunde uppstå från första början. Med samma skala som tidigare rankades dessa baserat på hur frekvent de uppskattningsvis kunde uppstå, där 10 innebar att det skedde vid varje test. Genom att slutligen uppskatta hur väl det gick att upptäcka de potentiella felen, även här med samma skala som tidigare, genererades en summa. Denna summa var produkten av alla tre rankningar och processen upprepades för varje input. Resultatet från FMEA:n framställdes i ett paretdiagram, se fig. 3.5, där de faktorer som hade störst inverkan på mätresultatet listades. Den röda linjen visar den sammanlagda andelen – alltså hur mycket alla staplar tillsammans bidrar, en efter en. Den börjar lågt och stiger tills den når 100 %, vilket betyder att alla delar är inräknade.



Figur 3.5: Resultat från FMEA

3.4 Utförande av ytterligare tester

Efter utförandet av grovtester, framtagning av en P-map, C&E-matris samt en FMEA konstaterades det att fler tester behövde utföras. Detta var främst baserat på de resultat som kom från FMEA-dokumentet, där det visade sig att korrekt fallhöjd är en viktig faktor. De ytterligare testerna gjordes för att få en uppfattning kring vilka höjder vikten skulle kunna släppas ifrån. Den slutgiltiga designen av riggen kräver en inställningsbar release-mekanism för viktskivan, vilket kommer medföra att vikten släpps på samma sätt varje gång. Detta kommer minimera inverkan av denna felkälla på mätvärdet. Frågan var alltså vilket steglängdsmått som är lämpligt för release-mekanismen; om den mäts i mm. eller centimeter.

De skruvar som provades var av dimension M10 med klassningen 8.8, alltså en relativt grov dimension. Från de tidigare testerna som utfördes konstaterades det att skruvar med klassningen 8.8 var segare, dvs mindre spröda än de med 10.9, vilket medförde att de med klassning 8.8 krävde en högre fallhöjd för ett brott av skruven. Baserat på detta började testerna vid en fallhöjd på 100 centimeter, där fallhöjden sedan minskades med en centimeter åt gången.

En skruv ansågs som helt av när dess centrumlinje var över ca 30 % förskjuten, med ögonmått sett. Målet var att hitta de gränser där tio stycken gick helt av samt den gräns där tio stycken höll. Genom att hitta den övre samt undre gränsen för 100 % resp 0 % skjuvbrott skapades en uppfattning av spannet i dropp-höjd som är relevant. Detta ger värdefull insikt i hur stor steglängden för droppmekanismen bör vara. Detta innebar att ungefär tio skruvar provades vid varje sänkning av fallhöjden för att hitta den nedre gränsen.

4

Resultat

I detta kapitel sammanställs resultaten av de grovtester som utfördes, hur det ledde till den slutgiltiga designen samt den tillhörande testmetod som togs fram.

4.1 Utvärdering av grovtester & grovtestrigg

Som följd av testerna med prototyptriggen framkom det att tio stycken av den valda bulten Bufo-g med dimension M10 och klassning 8.8 gick helt av när en 10 kg vikt släpptes från en höjd på 99 cm och tio stycken bultar var intakta vid fallhöjden 76 cm. Detta fastställde att en centimeterskala på fallhöjden ger tillräcklig upplösning för att kunna användas för karaktärisering av bultarnas skjuvmotstånd för slutdesignen. Ett annat viktigt resultat som framkom från dessa tester var även att spridningen av brott bland bultar var väldigt stor.

Efter att ha utfört funktionsprov av prototyptriggen synliggjordes även vilka brister som fanns i designen. Det konstaterades snabbt att dessa brister behövde åtgärdas, uppdateras eller förbättras i den slutgiltiga designen. De faktorer som påverkade hela testets gång mest samt hade störst inverkan på resultatet var hållaren av bulten samt momentet då vikten släpptes manuellt. Även andra faktorer såsom prototypens bottenplatta, skenor samt hur prototypen var sammansatt visade sig ha en negativ effekt på hela testprocessen. Se C&E-matris i Appendix.

Resultat av funktionsprov:

- i. Det blev hög friktion mellan pucken och dess yttre plattor
- ii. Det tog lång tid att byta en bult i hållaren
- iii. Det inte gick att få ut bulten ur hållaren utan att bryta av den för hand eller såga av huvudet på bulten ifall bulten inte skjuvades av helt

Detta var något som påverkade funktionen samt tiden det tog för att utföra ett test på ett negativt sätt. Då syftet var att kunna utföra snabba tester, var detta något som alltså behövde ändras i den slutgiltiga designen.

Den andra faktorn som hade en stor påverkan på testprocessen var att vikten behövde hållas vid korrekt fallhöjd samt släppas manuellt. Detta innebar att det krävdes två personer för att utföra ett test. Att hålla en 10 kg vikt från specifika höjder under flera tester är även något som inte är hållbart i längden.

Under testerna uppstod det även andra störningar från prototypen som inte hade förutsetts. Exempelvis studsade hela testtriggen uppåt när vikten slog i skruvhållaren om ingen motvikt placerades på bottenplattan. Detta ledde till att resultaten inte blev pålitliga. En annan störning som hade en negativ påverkan på resultatet var att viktskivan stötte emot glidskenorna under fallet, vilket i längden skapar slitage på skenorna samt resistans på vikten. Kollisionen kommer då inte att ha full energi. Även detta var något som behövde tas hänsyn till i den slutgiltiga designen.

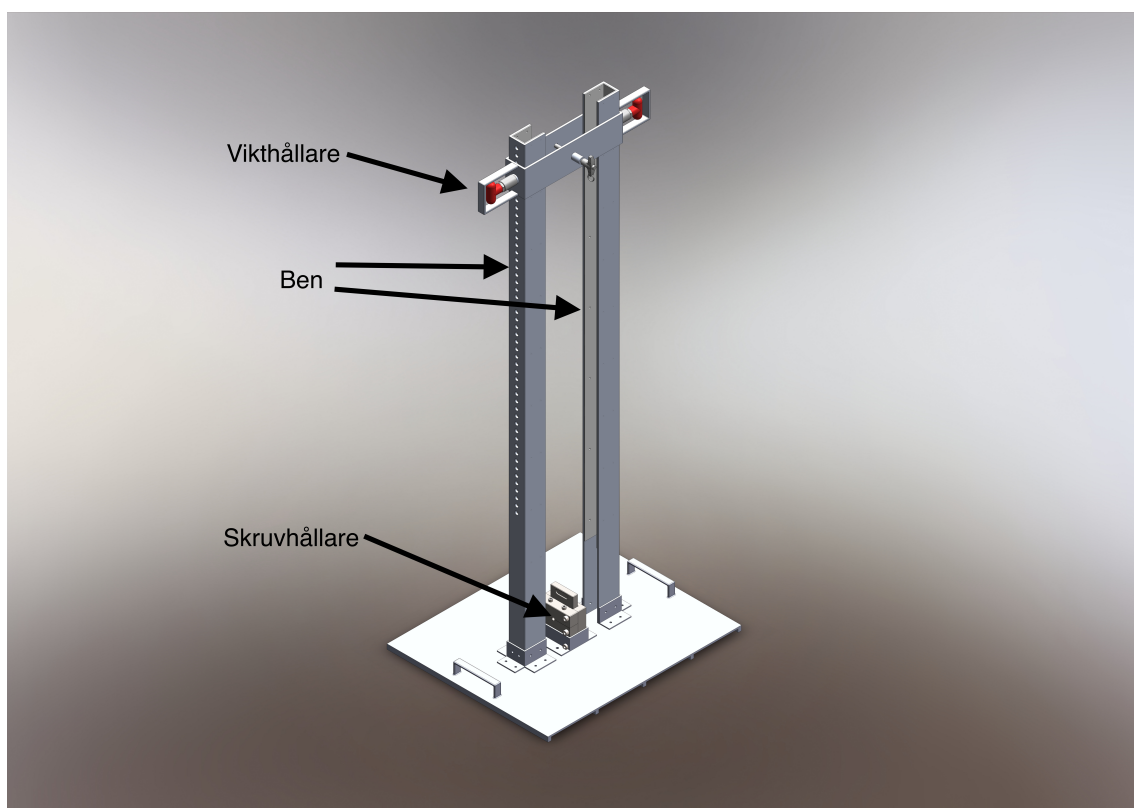
Ett antal tester utfördes på bultar med samma dimension men med de olika styrkorna 8.8 och 10.9. Testerna visade att bultarna med styrkan 8.8 höll bättre än bultar med klassning 10.9. Höjderna respektive bultarna visas i tabell 4.1.

	M8 8.8	M8 10.9	M10 8.8 bufoG	M10 10.9
Lägsta höjd, helt av	59cm	50cm	100cm	90cm

Tabell 4.1: Lägsta höjden som krävdes för att skjuva olika bultar helt under första testfasen.

4.2 Slutgiltig design

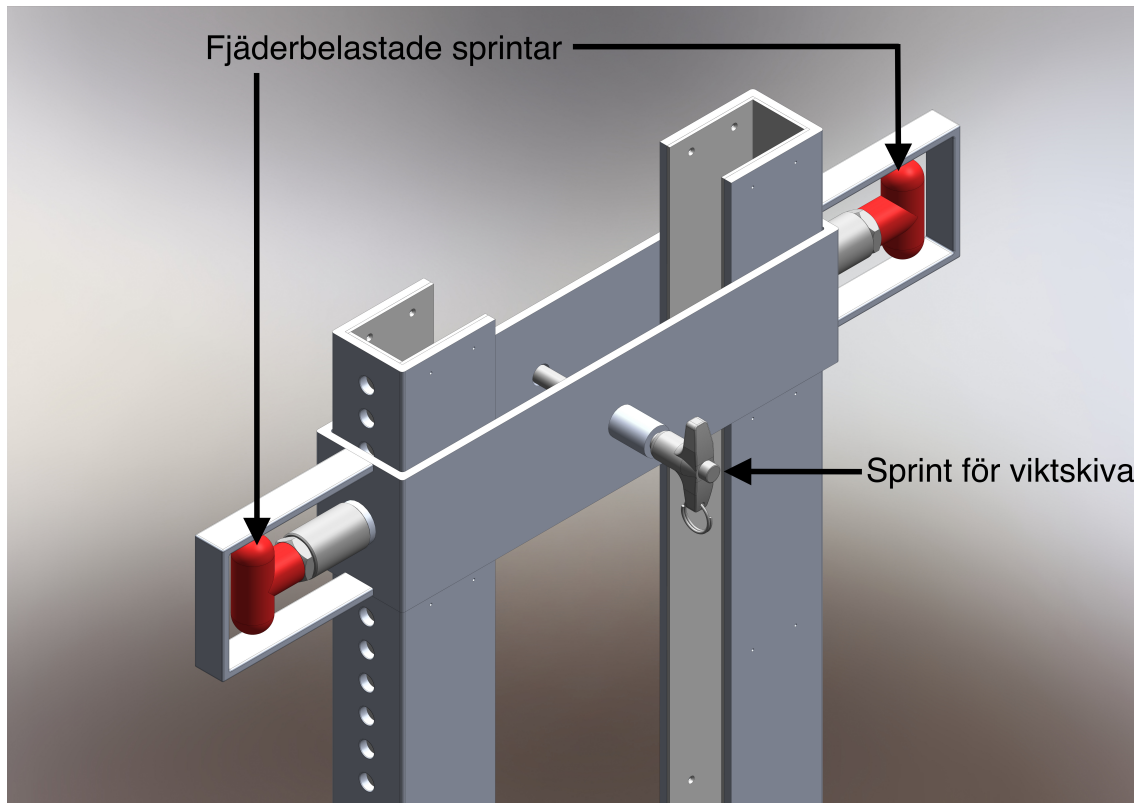
När testfasen med prototyptriggen var slutförd gick det att identifiera vilka delar som behövde förbättras och ändras. Principen med att utsätta en bult för skjuvning från en smäll genom fallviktsprovning fastslogs för den slutgiltiga designen. Det var även ett önskemål från BFAB att kunna montera ned testtriggen för att kunna förvara den på valfritt ställe. Den slutgiltiga testtriggen kan delas upp i tre huvudkomponenter: vikthållare, ben samt skruvhållare och kan ses i fig. 4.1.



Figur 4.1: Slutgiltig design av testtrigg

4.2.1 Vikthållare

För att kunna utföra tester på egen hand, alltså utan assistans av en annan person, så behövde den nya designen en mekanism för att hålla upp samt releasa viktskivan som ska släppas. För att lösa detta designades en omslutande vikthållare enligt fig. 4.2.

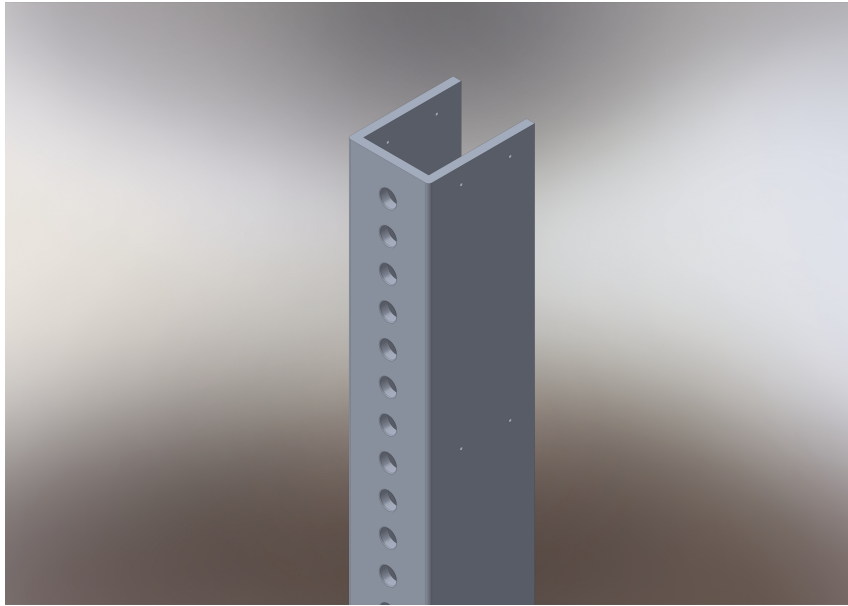


Figur 4.2: Vikthållare

Vikthållaren omsluter båda benen och sitter fast med hjälp av integrerade fjäderbelastade sprintar på kortsidorna. De fjäderbelastade sprintarna fäster i sin tur i hålen som finns på sidan av benen för att hålla upp hela vikthållaren med viktskivan på önskad höjd. Vikten hålls fast med hjälp av en sprint som går igenom vikthållarens två centrerade genomgående hål. En distans lades även till för att lättare kunna leda sprinten till hålet på andra sidan. För att släppa vikten drar man ur sprinten från ett säkert avstånd. Fjädersprintens del som fäster i benet har en yttre diameter på 9.525 mm, vilket ledde till att hålen i benen fick diametern 10 mm [5].

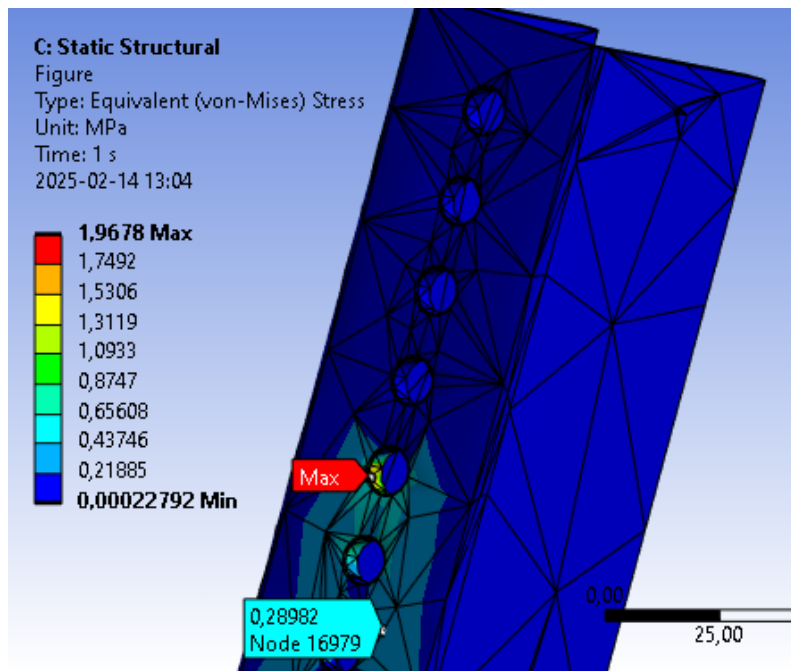
4.2.2 Ben

Den nya bendesignen, i fig. 4.3, skiljer sig från prototypen, men de har samma grundtanke sedan innan. Istället för helt släta väggar finns det nu hål för bestämda höjder som de fjäderbelastade sprintarna kan fästa i. På insidan av skenorna kommer ytorna att vara täckta med teflon för att minska friktionen som kan uppstå mellan den fallande vikten och benen. Det bestämdes även att förlänga benen till 1400 mm för att kunna ha en högsta fallhöjd på 110 centimeter. De små hålen på långsidorna har syftet att kunna montera glidskenorna i teflon.



Figur 4.3: Omdesignade ben

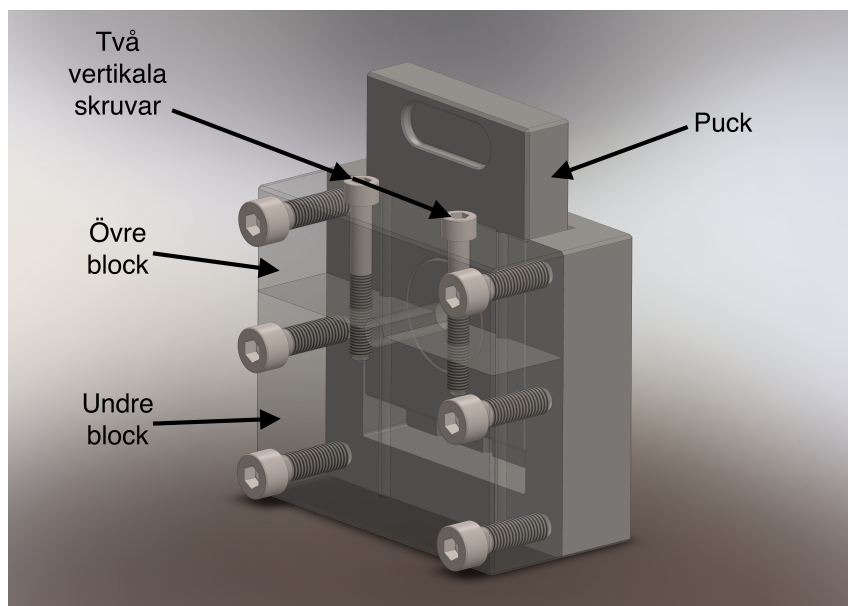
En simpel simulering av benet utfördes i programvaran ANSYS för att se vart den största spänningen uppstår om 10 kg-vikten placeras i höjd med det femte hålet från toppen. Som fig. 4.4 visar, uppstår den största spänningen på 1.97 MPa där vikthållaren är i kontakt med hålet. Detta betyder att benet inte kommer att böjas längre ner. Materialet som benet är gjort av i denna simulering är aluminium och kraften som används är på 74 N riktad rakt ner.



Figur 4.4: Von Mises-spänning över benet när 10 kg-vikten är placerad i det femte hålet från toppen.

4.2.3 Skruvhållare

För att kunna utföra tester på ett snabbt och smidigt sätt konstaterades det efter testerna med prototypriiggen att den befintliga skruvhållaren behövde optimeras. När en bult blev skjuvad, men inte gick av helt, fastnade bulten i hållaren. Detta ledde till att personen eller personerna som utförde testerna behövde såga av bultens huvud, eller släppa vikten en gång till så att bulten gick av helt. Detta problem löstes genom en design där den ena sidoplattan av hållaren förlängdes utåt samt delades i två delar enligt fig. 4.5 nedan.

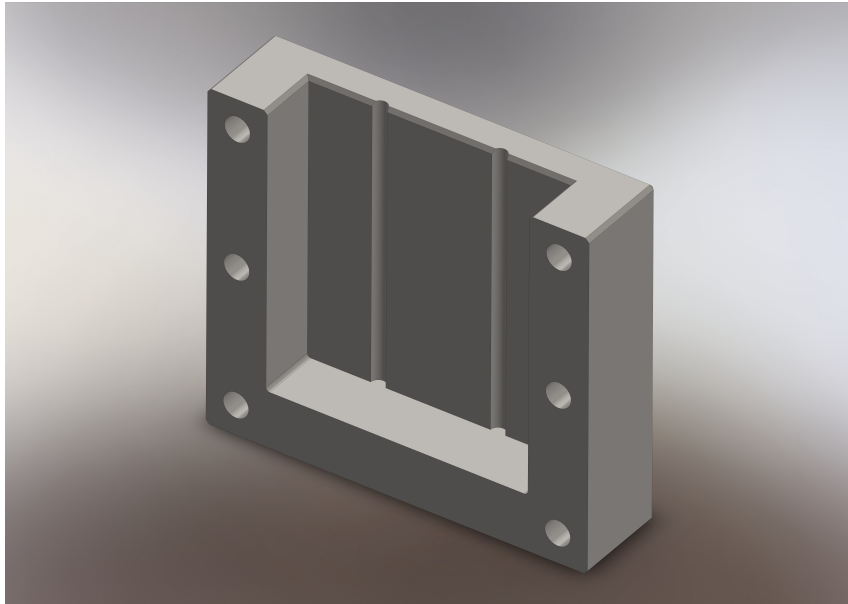


Figur 4.5: Optimerad skruvhållare

Genom att dela blocket i två delar kommer det på ett smidigt sätt gå att plocka ut den skjuvade bulten ur skruvhållaren utan att den fastnar. Eftersom skruvar och bultar med dimensionerna M6, M8 samt M10 ska kunna provas, kommer tre nya framsidor med en över- och underdel behöva tillverkas. Totalt sett blir det sex stycken nya delar.

De två vertikala skruvarna har till syfte att hålla ihop samt åstadkomma klämkraft mellan övre och undre block för att i sin tur motverka att testbulten lyfter det övre blocket vid kollisionen. För att åskådliggöra detta är de två blocken på framsidan genomskinliga i fig. 4.5 ovan. I det övre blocket finns två vertikalt genomgående hål som ej är gängade där skruvarna går igenom. Skruvarna fäster sedan i det nedre blocket i två gängade hål.

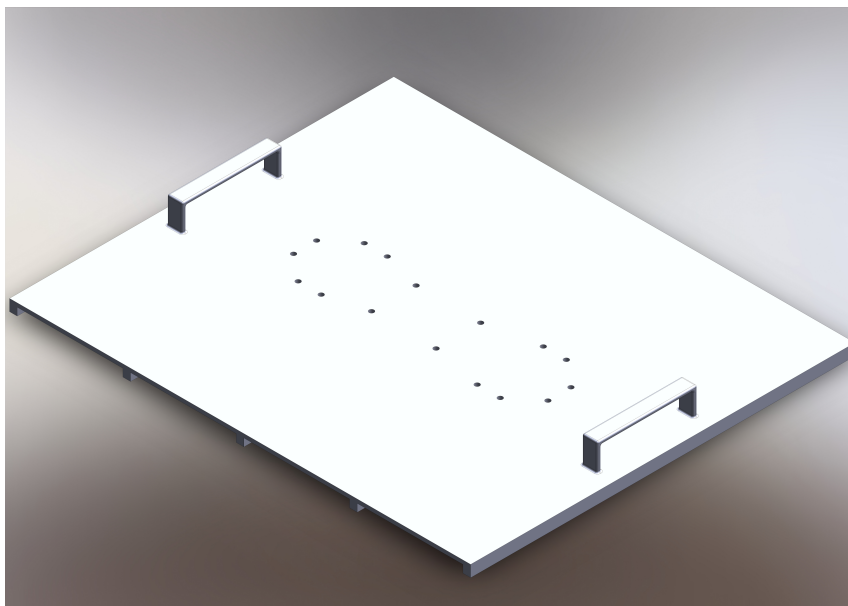
Eftersom att passningen mellan pucken i mitten och blocken på dess utsidor i den befintliga skruvhållaren var väldigt fin, behövde det läggas till luftningsspår där material togs bort enligt fig. 4.6 nedan. Detta gjordes för att undvika användning av skimspapper mellan blocken som motverkade det vakuum som uppstod vid provning, vilket ledde till en resistans i kollisionssögonblicket.



Figur 4.6: Luftspår i bakre blocket

4.2.4 Bottenplatta

Då originalbottenplattan inte var särskilt bred eller lång, i kombination med att benen blev högre, behövde dimensionerna göras större för att få en stabilare grund. Det var även ett önskemål från BFAB att applicera två handtag vid kanterna för att underlätta förflyttning av testriggen. Det har även tillkommit ribbor på undersidan för att öka stabiliteten samt motverka fjädring när vikten slår i skruvhållaren. Bottenplattan ses nedan i fig. 4.7.



Figur 4.7: Uppdaterad bottenplatta

4.3 Testprocedur

Med testprocedur avses hur provserier skall utformas och hur ett slutgiltigt provresultat skall räknas fram. Att ta fram en legitim testprocedur med vetenskaplig bakgrund var till en början något som sågs som en av de större utmaningarna med projektet. Efter att ha gjort mer djupgående läsning av de standarder som studerades i början av projektet visade det sig dock att det fanns bra grunder att utgå ifrån. Vissa delar från standarderna gick att använda utan ändringar, medan vissa delar behövde modifieras sett till funktionen och designen av testrigger.

För att kunna utföra tester utifrån testproceduren beskriven i standarden behövde definitionen av när skruvar samt bultar är hela eller trasiga bestämmas. I standarden ASTM D2444-21, som gäller cylindriska plaströr, definieras ett provexemplar som underkänd när sprickor eller delningar är synliga med det nakna ögat [6]. Detta modifierades till att en skruv eller bult kan anses som underkänd när en förskjutning av dess centrumlinje kan ses med det nakna ögat. En beskrivning om hur testmetoden utförs stegvis beskrivs nedanför.

4.3.1 Förberedelse

- Testexemplaren ska förvaras i rumstemperatur (ca 20–22 grader Celsius) i 40 timmar innan testerna utförs.
- Testerna ska utföras i ett rum där konstant temperatur bibehålls under hela testets gång.

4.3.2 Utförande

Testet utförs i två steg.

1. Preliminära tester
2. Slutgiltiga tester

4.3.2.1 Preliminära tester

Syftet med de preliminära testerna är att identifiera den optimala fallhöjden inför de slutgiltiga testerna.

1. Testa fyra exemplar från fallhöjden 50 cm.
2. Om minst ett men inte alla exemplar går sönder - gå vidare gå till testproceduren beskriven i (6) nedan.
3. Om alla fyra exemplar går sönder, testa ytterligare fyra exemplar vid en lägre fallhöjd.
4. Om alla fyra exemplar håller, testa ytterligare fyra exemplar vid en högre fallhöjd.
5. När en fallhöjd hittats där några håller samt några gått sönder, gå vidare till testproceduren beskriven nedan i (6).

6. När en fallhöjd hittats där några håller samt några gått sönder, ska nya testexemplar delas in i två grupper om minst 8 stycken i varje. Testa ena gruppen på en lägre fallhöjd så att betydligt färre än 50 % går sönder. Testa den andra gruppen på en högre fallhöjd så att betydligt fler än 50 % går sönder. Plotta resultaten på en sannolikhetsgraf. Se kap. 4.3.4. Detta blir underlaget till en estimering av den optimala fallhöjden i det slutgiltiga testet.

4.3.2.2 Slutgiltigt test

1. Dela upp 100 exemplar i två lika stora grupper.
2. Estimera, med hjälp av sannolikhetsgraf från de preliminära testerna samt omdöme, en fallhöjd där 85 % av exemplaren kommer godkännas och testa den första gruppen från denna höjd. Anteckna fallhöjden samt hur många som godkändes.
3. Estimera en fallhöjd där 85 % av exemplaren kommer underkännas och släpp de resterande 50 exemplaren från denna höjd. Anteckna fallhöjden samt hur många som godkändes.
4. Skapa en rak linje-plot av testresultaten på en sannolikhetsgraf. Preliminära tester som utfördes på samma fallhöjd som de slutgiltiga testerna ska användas för att räkna ut andelen procent av testerna som godkändes på den höjden. Alla andra resultat från de preliminära testerna kan ignoreras i syftet av få fram den slutgiltiga ploten.
5. Skärningen av ploten med 50 % godkänd/underkänd-linjen visar den genomsnittliga potentiella energin en bult klarar av utan att skjuvas. Detta är slutresultatet.
6. Skärningen av ploten med 16 % eller 84 % godkänd/underkänd-linjen skiljer sig från den genomsnittliga potentiella energin med en standardavvikelse.

Exempel på en sannolikhetsgraf ses i kap. 4.3.4

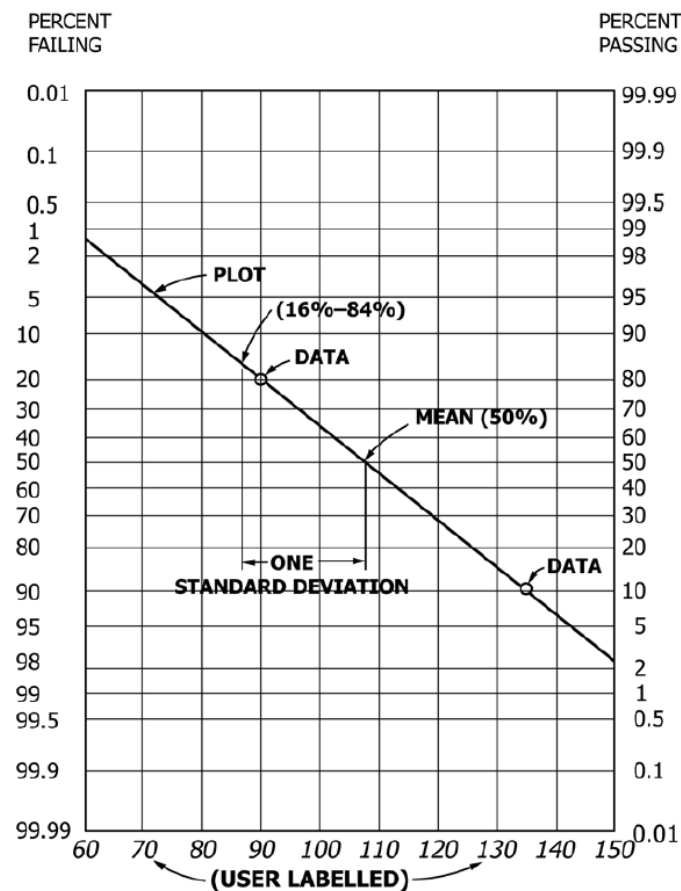
4.3.3 Acceptabel data

- För att datan ska vara acceptabel måste minst ett exemplar godkännas och ett underkännas i varje grupp. I en grupp bör mindre än 50 % underkännas. Antalet godkända i de båda grupperna bör ha en differens på minst 20.
- Om kravet ovan ej uppfyllts, måste ytterligare 50 exemplar provas vid en ny fallhöjd för att kompensera underskottet.

4.3.4 Sannolikhetsgraf

Siffrorna på grafens vertikala sidor ska vara numrerade 0.01, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, ... 40, 50, 60, ... 99, 99.9, 99.99 enligt fig. 4.8 nedan eller liknande. Skalan måste alltså inte vara linjär. Dessa siffror står för andelen procent godkända eller icke godkända testexemplar. Användaren, eller personen som utförde testerna, är den som bestämmer om enhet cm eller joule används på den horisontella linjen. I detta fall ska enheten cm användas med jämna intervall, t.ex. 40, 45, 50, ... 65 och 70

cm för att kunna konvertera fallhöjden till potentiell energi med hjälp av ekv. (3.1). Ett exempel på sannolikhetsgraf visas nedan i fig. 4.8.



Figur 4.8: Exempel på sannolikhetsgraf (ASTM International, 2021).

4.3.5 Rapportering

Rapporten ska innehålla följande:

- Kompletta beskrivningar av de testexemplar som använts (t.ex. tillverkare, material, längd, dimension och klassning).
- Typ av hållare som har använts.
- Vilken vikt som har använts.
- Testtemperatur; hur exemplaren har förvarats samt rumstemperaturen.
- Olika typer av deformationer/brott hos testexemplaren. Varje exemplar ska klassas som godkänt/icke godkänt.
- Datum då testerna utfördes.
- Bilder på ifyllda sannolikhetsdiagram/grafpapper.
- Nyckelord.

5

Diskussion

I den första fasen av tester testades en stor variation av bultar med dimensionerna M8 och M10, med klassningarna 8.8 och 10.9. Ett intressant resultat som framkom från dessa tester var att bultar som hade den lägre klassningen 8.8 verkade hålla bättre än den starkare varianten 10.9. För att ta reda på om detta stämmer eller inte krävs ytterligare tester eftersom vi vid detta tillfälle inte visste att spridningen för brott av bultar var så stor. Varför en bult med lägre styrka håller bättre mot skjuvning från en smäll kan bero på att den är segare och därmed mindre spröd, vilket i sin tur leder till att bulten inte spricker och går av under större deformationer. För att fastställa detta behöver flera tester och forskning utföras, men det lämnar vi åt BFAB som fortsatt arbete.

När det gäller mätmetoden av när en bult klassas som trasig finns det brister i den nuvarande metoden. För tillfället klassas en bult som trasig när man med det nakna ögat kan se att centrumlinjen av bulten har förskjutits. Men hur vet man att alla uppfattar förflyttningen av centrumlinjen likadant? Detta kan leda till att vissa bultar klassas som intakta av vissa, medan samma bult klassas som trasig av andra. För att undvika detta kommer en mer specifik mätmetod behövas utvecklas av BFAB. Istället för att man ska avgöra med synen om bulten är sönder kan man istället använda sig av något verktyg. Detta verktyg kan vara ett simpelt skjutmått eller en mer avancerad maskin som ger en digital mätning beroende på hur hög noggrannhet som vill uppnås.

Att följa en testprocess som efterliknar en standard ser vi vara fördelaktigt. Genom att sälja en produkt som är validerad genom testning enligt standard blir det mer attraktivt för kunder att köpa produkter från BFAB. Det skulle även kunna forma framtida samarbeten. Genom att sälja skjuvklassificerade skruvar och bultar skulle BFAB kunna bli marknadsledande och på så sätt skapa helt nya marknader.

I den nuvarande designen av hållaren uppstår det inga spänningar i bultarna när de utsätts för skjuvning från testtriggen. I verkliga fall uppstår det alltid någon form av spänning i bulten under dess användning då den alltid sitter fast inspänd. För att få resultat som är mer likt den verkliga situationen så är ett förslag på fortsatt arbete till BFAB att ytterligare en typ av skruvhållare designas. Alltså, en hållare som utsätter testbulten för en spänning som efterliknar verkliga fall i skruvförband. För att uppnå detta skulle man kunna designa om skruvhållaren så att även det bakre blocket har ett genomgående hål för bulten. Med hjälp av en mutter på baksidan av det bakre blocket kan man då applicera en önskad spänning på den del av bulten

som ska skjuvas. Då får man dock vara försiktig så att klämkraften inte blir för stor och att mellanrummet där skjuvningsplattan befinner sig inte krymper. Detta kan leda till ökad friktion mellan skjuvningsplattan och de yttre blocken.

Något som inte är inkluderat i testtriggen är en skyddande barriär mellan hållaren och omgivningen. För att öka säkerheten mot splitter samt att inget ska kunna komma i kläm mellan den fallande vikten och skruvhållaren, rekommenderas ett skyddande plexiglas. Detta plexiglas kan vara format så att det innesluter antingen enbart skruvhållaren, eller skruvhållaren och benen så man hamnar på ett säkert avstånd från smällpunkten.

När det gäller vilket material som ska användas till konstruktionen ger vi sista ordet till BFAB. Men vi rekommenderar att bottenplattan och hållaren är gjorda av stål så att konstruktionen står stabilt och blir tillräckligt hållfast. Benen och vikthållaren rekommenderar vi att de är gjorda av något lättare material som aluminium. Anledningen till detta är att vikthållaren och benen inte behöver vara lika hållfasta samt att det gynnar konstruktionen då den inte blir för tung. Benen och vikthållaren kan vara gjorda av stål också, men då kan tjockleken på delarna behöva justeras för att vara mer anpassad till materialets hållfasthet och vikt.

6

Slutsats

Att skjuvning uppstår på fästelement som skruvar och bultar är ett problem som har ökat de senaste åren, speciellt inom bilindustrin när det gäller kollision av elbilar. På grund av detta växande problem behöver mer forskning gällande skjuvning av bultar och skruvar genomföras. Detta leder till att BFAB behöver en testtrigg där det går att utföra skjuvningstester på bultar som efterliknar en kollision.

Testtriggen som utvecklades blev en variant av en fallviktsprov-testtrigg. Denna testtrigg fungerar genom att släppa en 10 kg vikt från önskad höjd, mellan 15 centimeter upp till 110 centimeter, på en skruvhållare som i sin tur skjuver en bult placerad i hållaren. Med denna uppställning går det att beräkna hur mycket energi som krävs för att skjuva centrumlinjen på en bult som då anses vara trasig. Testtriggen har en simpel och kompakt design som gör att den passar bra i labbmiljö. Den är även designad så att det enkelt ska gå att skruva isär delarna, så att den kan plockas undan och förvaras på valfri plats när den inte används. Testtriggen är utformad så att inga elektriska komponenter behövde integreras. En slutgiltig komponentlista finns i Appendix.

För att kunna kvantifiera resultaten, har en tillhörande testmetod tagits fram. Metoden har en vetenskaplig grund med stora inspirationer från standarden ASTM D2444-21 [6], som har modifierats för att vara mer anpassad till den nya testtriggen.

Slutligen så har projektet gett en stor lärdom inom ingenjörskonsten, att använda befintliga produkter och koncept till att skapa något nytt, samt att arbeta på ett strukturerat och metodiskt sätt. Denna typ av arbete är något som har gjorts under hela projektets gång, som började med att ta inspiration från befintliga metoder för att testa hur skruvar samt bultar beter sig vid en smäll. Även BFABs befintliga skjuvningshållare har återanvänts och blivit modifierad för att kunna utföra skjuvning på bultar från en smäll på ett mer effektivt sätt.

Litteraturförteckning

- [1] Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2014). *Materials* (3. uppl.). Elsevier Ltd.
- [2] Svenska institutet för standarder (SIS). (2013). SS-EN ISO 898-1:2013: Fästelement - Mekaniska egenskaper för fästelement i stål - Del 1: Skruvar, bultar och muttrar för allmänt bruk (SS-EN ISO 898-1:2013). Svenska institutet för standarder. <https://www.sis.se>
- [3] Mägi, M., Melkersson, K., & Evertsson, M. (2017). *Maskinelement*. Studentlitteratur AB.
- [4] Carleton, S., (2016). *The Black Belt Memory Jogger*. Goal/QPC
- [5] McMaster-Carr. (n.d.). *McMaster-Carr*. McMaster-Carr. <https://www.mcmaster.com/>
- [6] ASTM International. (2021). Standard test method for impact resistance of thermoplastic materials (ASTM D2444-21). ASTM International. <https://www.astm.org/standard/D2444>
- [7] Fastenal. (2009). Bolted Joint Design. Hämtad den 24 februari 2025, från <https://crafter.fastenal.com/static-assets/pdfs/>
- [8] Wikipedia contributors. (2025, February 7). Charpy impact test. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Charpy_impact_test
- [9] Wikimedia Commons. (2009). Flexion choc mouton charpy schema. Hämtad den 14 februari 2025, från <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6245363>
- [10] Zwick/Roell. (2025). Drop Weight Impact Test and Drop Weight Testers. Hämtad den 15 februari 2025, från <https://www.zwickroell.com/industries/materials-testing/drop-weight-test/>
- [11] ScienceDirect. (2020). Rolling operation in metal forming: Process and principles – A brief study. Hämtad den 15 februari 2025, från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320310981#f0010>

A. Appendix

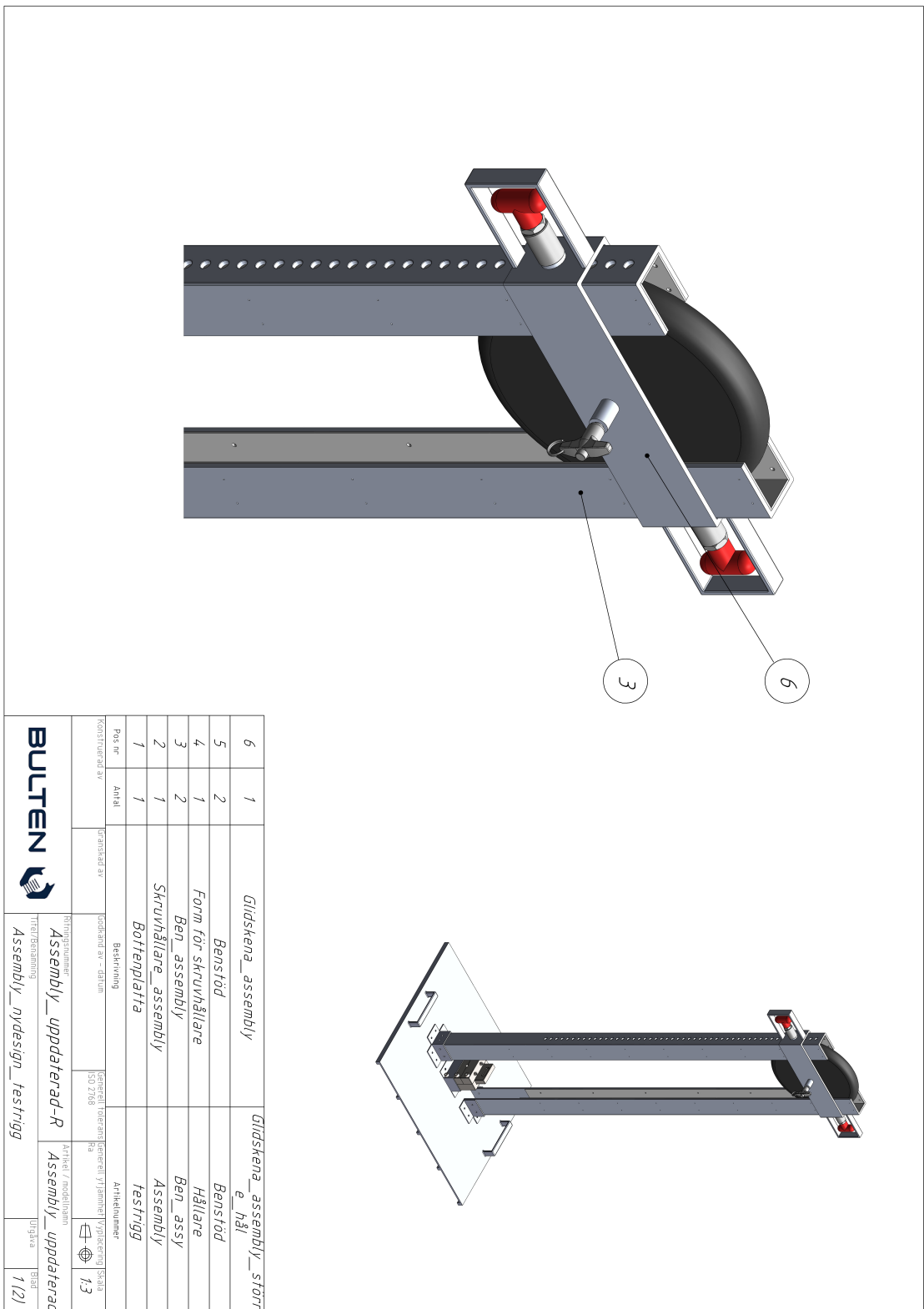
Process Map				
Project Title	Impact testing			
Belt:	BU:	Date: #####	Version: 2	Page 1
Input	Class	Step	Output	Notes
En skruv behöver provas Bestämma skruvtyp Bestämma klassning	S S S	Beställning av mätjobb	Val av testmetod Bestämning av mätförfarande Val av rapporteringsform	Planera för test T.ex. M8 T.ex. 8.8
Val av testmetod Val av hållare Ställa fram testrigg Funktionssäkring av testrigg Förslitningsgrad av hållare Plocka fram hållare Skimspapper mellan block Plocka fram låda med vald skruv Plocka fram verktyg Markera riktning på skruven Lägga in skruven i testriggen Skruva ihop hållaren	S S S S N S C S S S S S C	Förberedelse	Prover ok Utrustning ok Kontrollera underlag Återställd testrigg Återställd hållare Utrustning ok Ingen resistans/motstånd Förvara i rumtemp. i 40 h Nödvändiga verktyg på plats Provexemplar ok Skruv på plats Utrustning ok	Drop Weight M6, M8 eller M10 Ev. skruva åt fästande skruvar motverkar "vakuum" Testexemplar nära till hands Klämkraft
Byte till stålhåttor Stoppa i örönproppar Återställd testrigg Återställd hållare	S S S S	Säkerhetsåtgärder	Säkerhet ok Säkerhet ok Säkerhet ok Säkerhet ok	Skyddar fötterna Skyddar hörseln
Prover ok Utrustning ok Säkerhet ok Nödvändiga verktyg på plats Skruv på plats Inomhusklimat kontrollera underlag Skruvar förvarade i rumtemp. i 40 h Föra in vikten i testriggen Hålla linjalerna vid vald släpphöjd Föra ned vikten i rätt höjd Process ok Vikten släpps Skruva loss hållare	S S SI S S N N N S C C SI S S	Utförande	Kontrollera utrustning kontrollera säkerhet Process ok Process ok Process ok Temperatur ok Underlag ok Process ok Process ok Process ok Vikten släpps Skjuvd skruv Visuell kontroll av hållare	Energiförluster Sprödhet skruv
Process ok Bestämning av mätförfarande Visuell kontroll av hållare Skruva isär hållare Skjuvd skruv Visuell kontroll av provad skruv	S N S S SI SI	Testresultat	Giltigt test Kunskapsnivå provare/rapportör skruv helt, delvis eller ej av Hållare ok Fri skruv Information om skjuvd skruv Information om skjuvd skruv	Information om skruv, Information om problem
Val av rapporteringsform Kunskapsnivå provare/rapportör Dokumentera Ta bort metallflisor Skruva ihop hållaren Städmaterial	S N SI SI S S	Efter testet	Rapport Korrekt rapportering Provarkivering Funktion ok Funktion ok Skräp	Info om fler tester behöver utföras Motverka friktion i nästa test
Rapport		Uppföljning	Nöjd uppdragsgivare Tidrapport Faktura	

Figur A.2: Process mapp

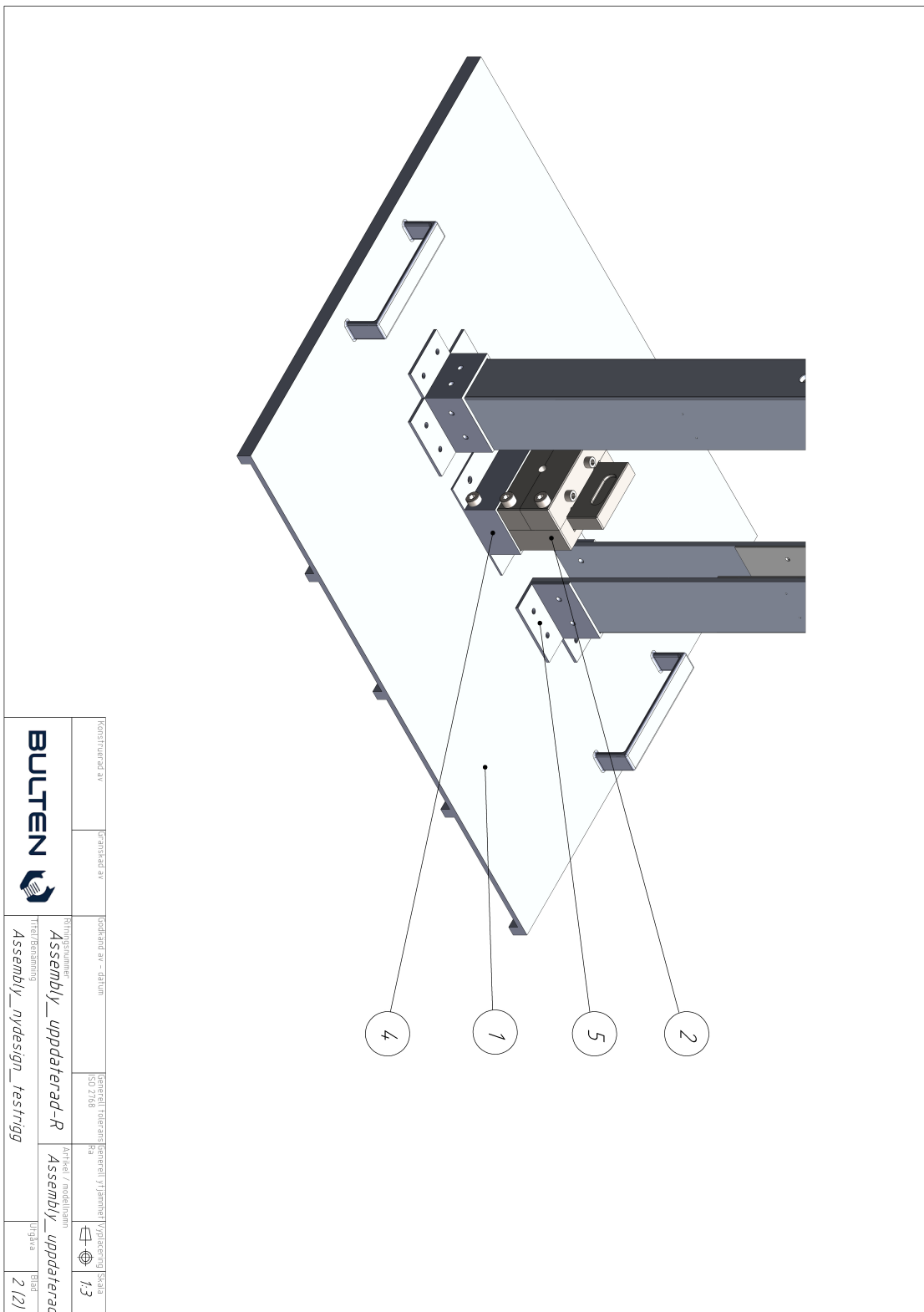
Six Sigma Cause and Effect Matrix

			1	2	3	4	5	
		Rating of Importance to Customer	10					
		Key Process Outputs	Korrekt testresultat					
	Process Step	Process Input						Total
7	Förberdelse	Funktionssäkring av testrigg	9					90
10	Förberdelse	Skimspapper mellan block	9					90
13	Förberdelse	Markera riktning på skruven	9					90
19	Utförande	Hålla linjalen vid vald släpp	9					90
20	Utförande	Föra ned vikten i rätt höjd	9					90
21	Utförande	Vikten släpps	9					90
23	Utförande	Inomhusklimat	9					90
24	Utförande	Underlag	9					90
25	Utförande	Skruvens temperatur	9					90
29	Efter testet	Ta bort metallflisor	9					90
8	Förberdelse	Förslitningsgrad av hållare	3					30
15	Förberdelse	Skruva ihop hållaren	3					30
1	Beställning av mätjd	En skruv behöver provas	0					0
2	Beställning av mätjd	Bestämma skruvtyp	0					0
3	Beställning av mätjd	Bestämma klassning	0					0
4	Förberdelse	Val av testmetod	0					0
5	Förberdelse	Val av hållare	0					0
6	Förberdelse	Ställa fram testrigg	0					0
8	Förberdelse	Plocka fram hållare	0					0
11	Förberdelse	Plocka fram låda med vald s	0					0
12	Förberdelse	Plocka fram verktyg	0					0
14	Förberdelse	Lägga in skruven i testrigge	0					0
16	Säkerhetsåtgärder	Byte till stålhattor	0					0
17	Säkerhetsåtgärder	Stoppa i öronproppar	0					0
18	Utförande	Föra in vikten i testriggen	0					0
22	Utförande	Skruva loss hållaren	0					0
26	Testresultat	Visuell kontroll av hållare	0					0
27	Testresultat	Skruva isär hållare	0					0
28	Testresultat	Visuell kontroll av provad s	0					0
30	Efter testet	Dokumentera	0					0
31	Efter testet	Skruva ihop hållaren	0					0
Total			960	0	0	0	0	

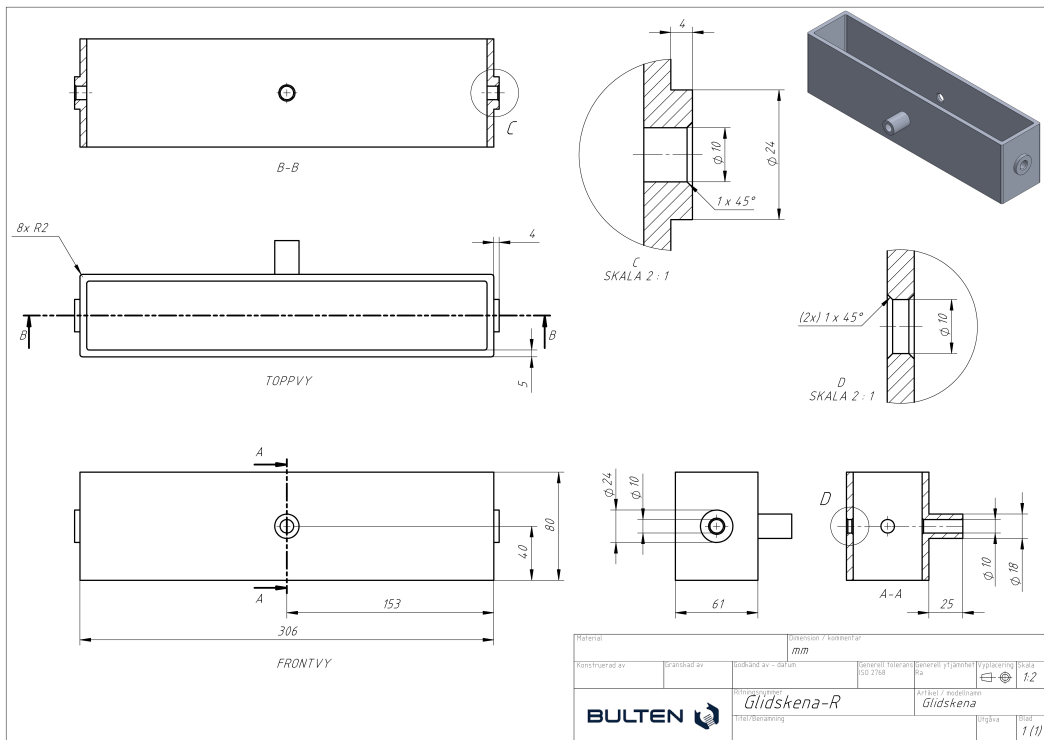
Figur A.3: C & E - matris



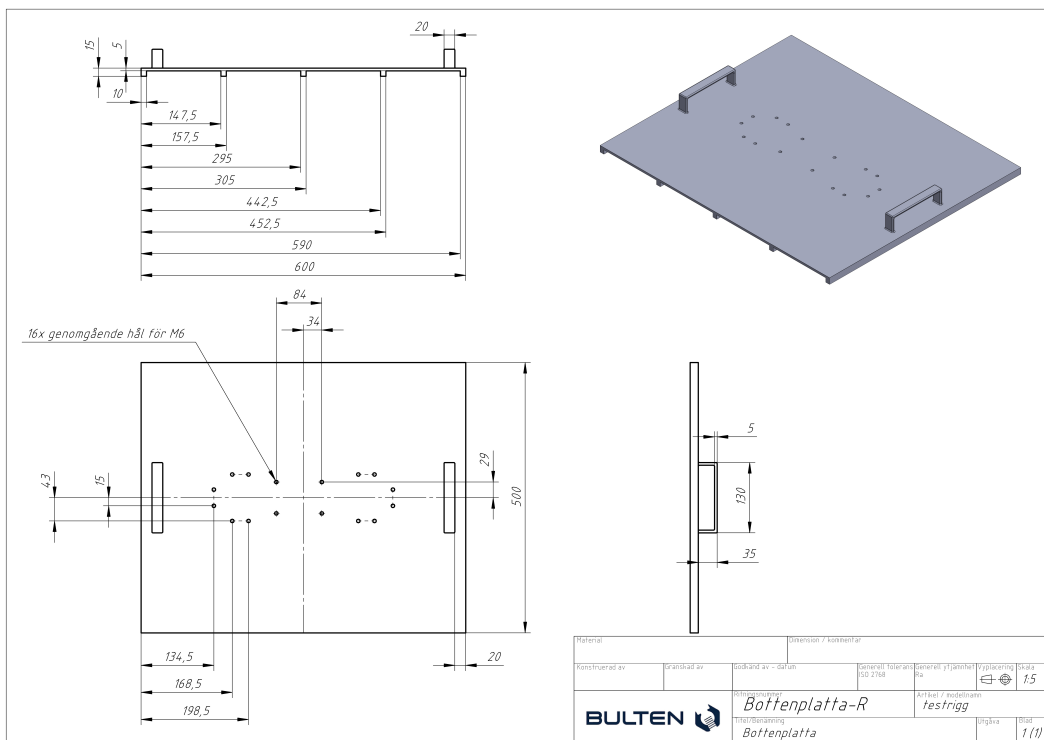
Figur A.4: Assemblyritning med komponentlista, del 1 av 2



Figur A.5: Assemblyritning med komponentlista, del 2 av 2

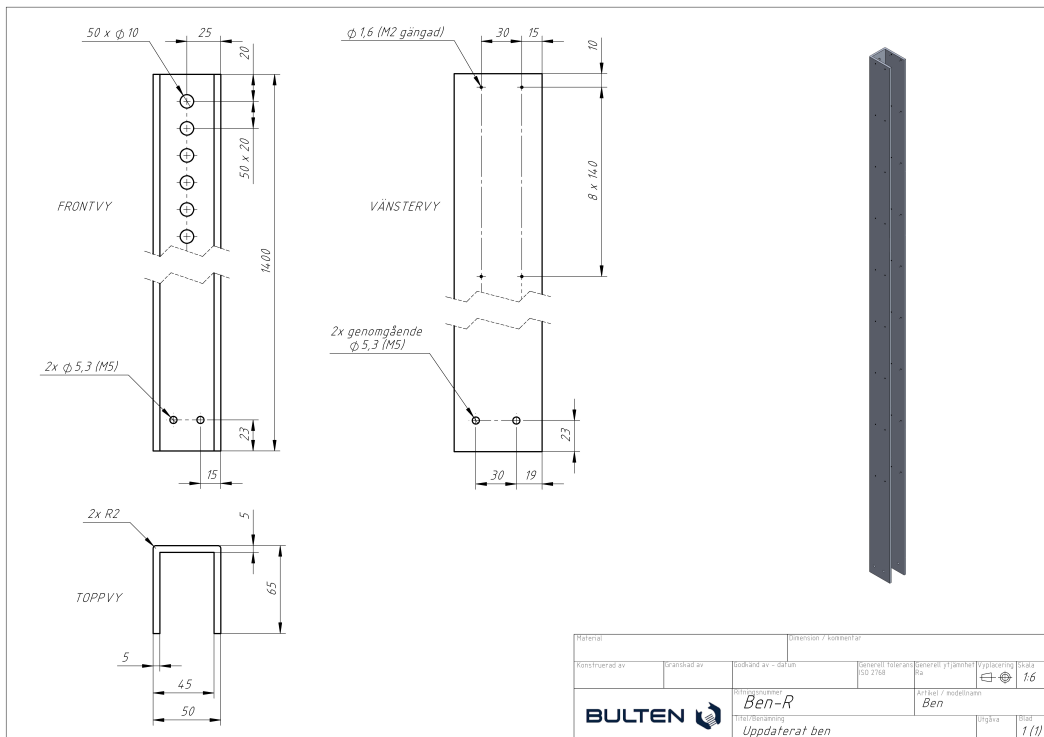


Figur A.7: Ritning av vikthållare

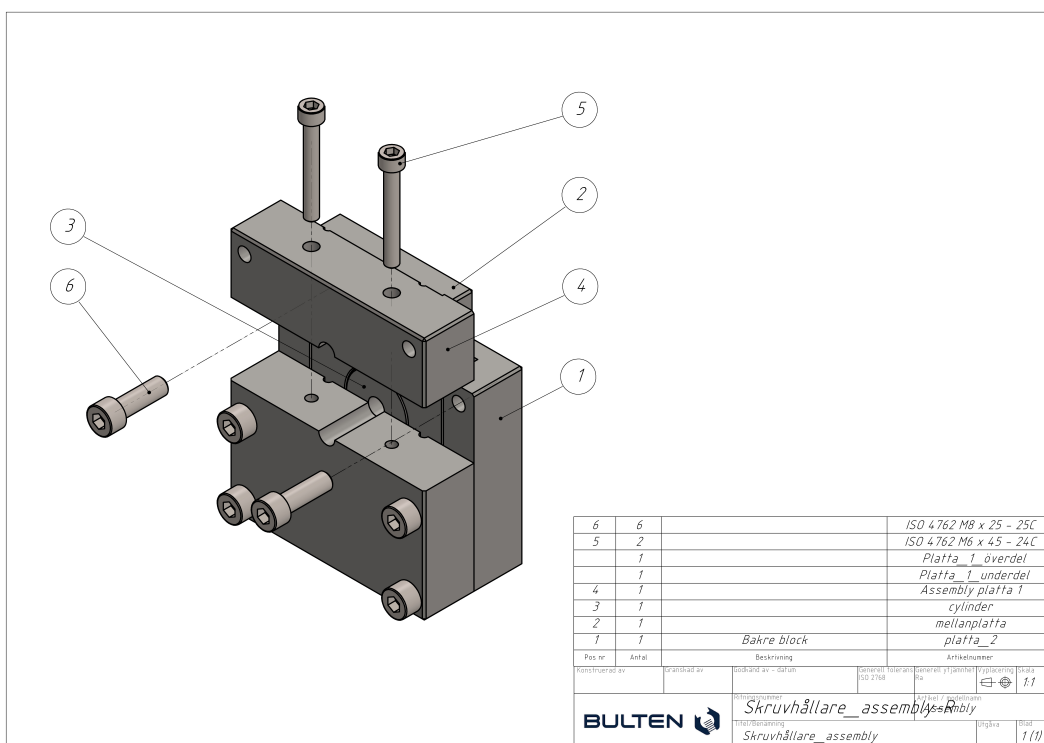


Figur A.8: Ritning av uppdaterad bottenplatta

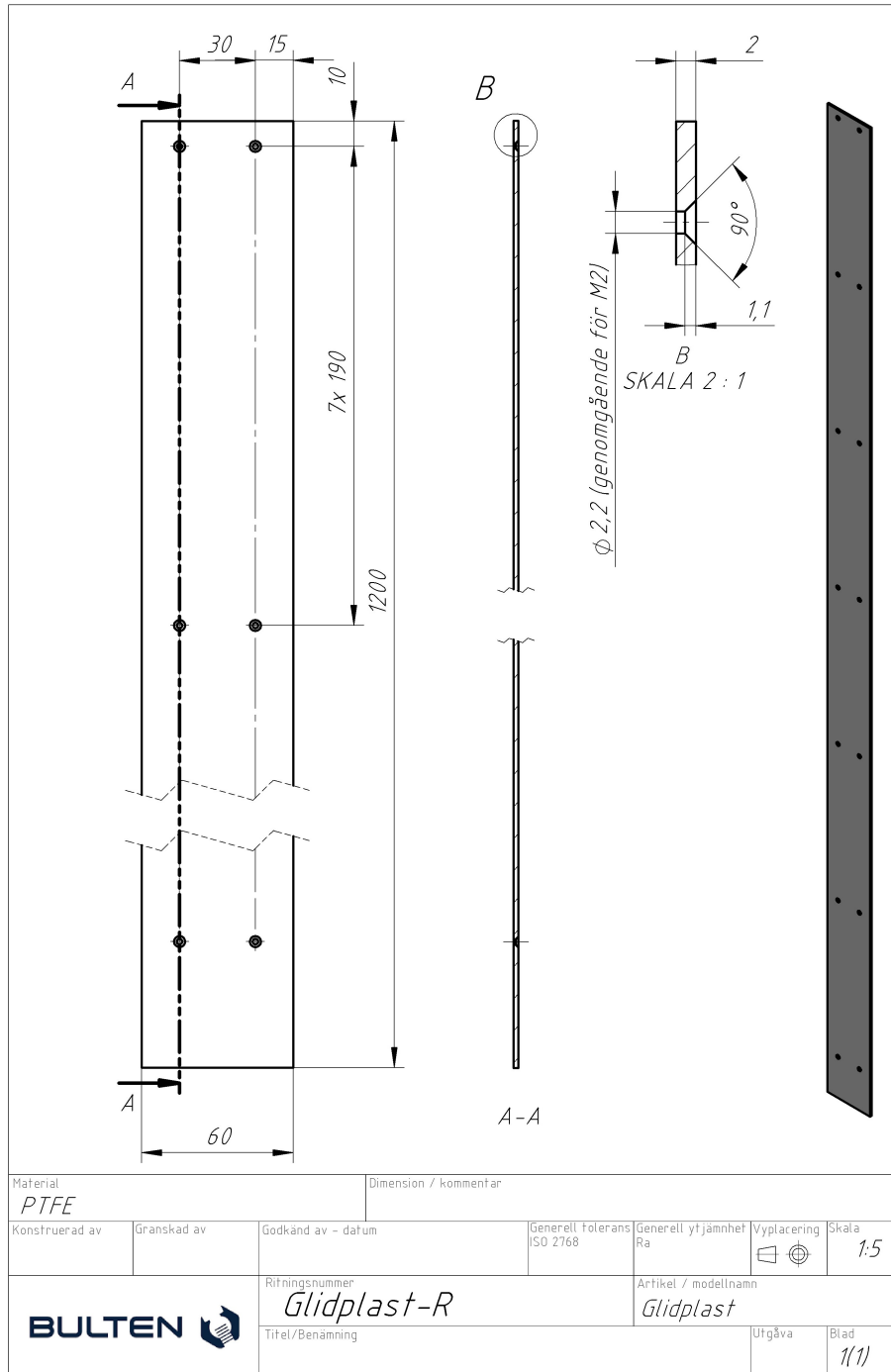
A. Appendix



Figur A.9: Ritning av uppdaterat ben

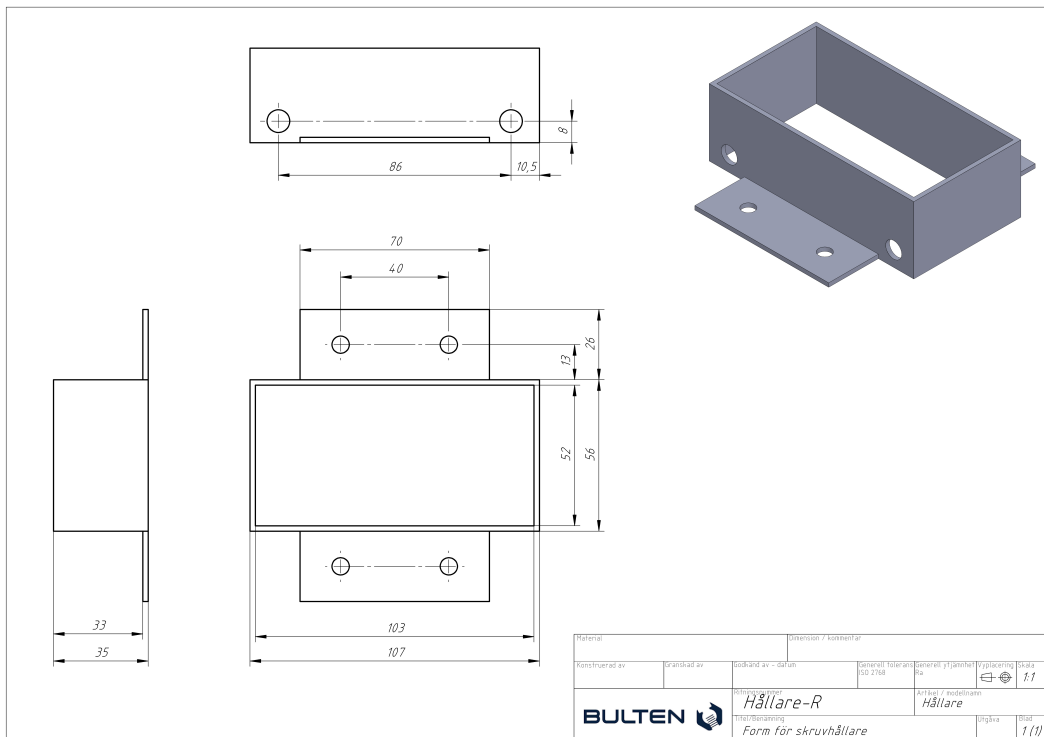


Figur A.10: Sprängskiss av uppdaterad skruvhållare

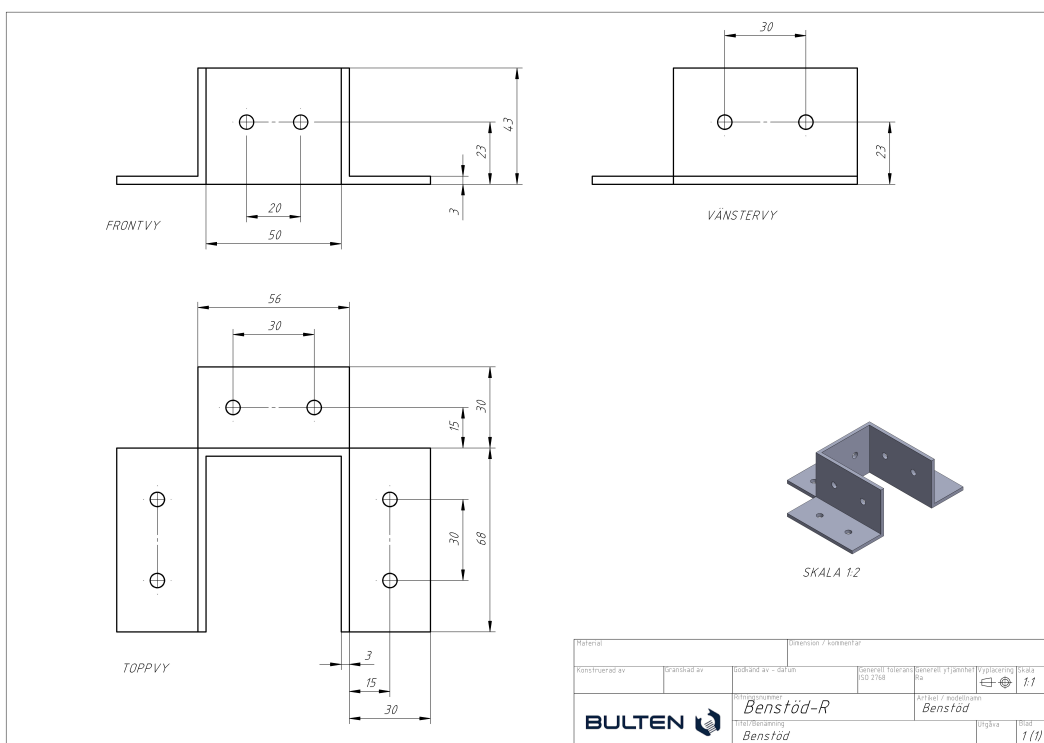


Figur A.11: Ritning av glidplast

A. Appendix



Figur A.12: Ritning av form för skruvhållare



Figur A.13: Ritning av benstöd

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS