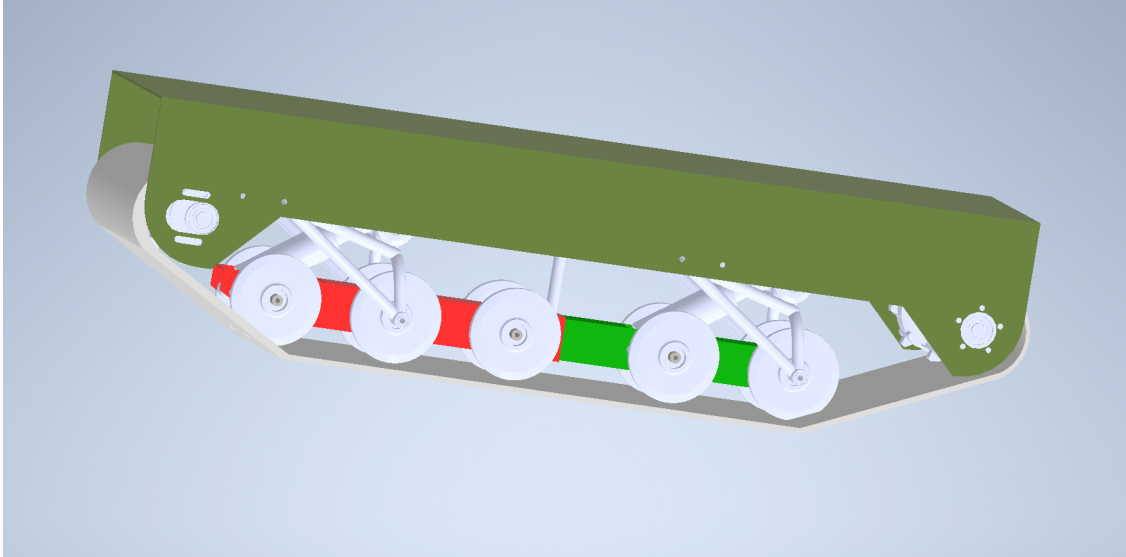




CHALMERS



# Utveckling av boggie för en elektrisk snöskoter

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet mekatronik

Emil Kullander  
Ludwig Persson

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2025  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE 2025

# Utveckling av boggie för en elektrisk snöskoter

Emil Kullander  
Ludwig Persson



**CHALMERS**

Institutionen för industri och materialvetenskap  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2025

Utveckling av boggie för en elektrisk snöskoter  
Emil Kullander  
Ludwig Persson

© Emil Kullander, Ludwig Persson 2025.

Handledare: Magnus Bredin, Recas och Micael Lawson, Recas  
Examinator: Magnus Evertsson, 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: En bild på den konstruerade boggien i CAD.

Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg 2025

Utveckling av boggie för en elektrisk snöskoter  
Emil Kullander, Ludwig Persson  
Institutionen för industri och materialvetenskap  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Denna rapport avhandlar utveckling av boggie för en elektrisk snöskoter för att öka dess manövrerbarhet.

Rapporten inleds med en introduktion som innefattar bakgrund till arbetet, syfte och frågeställningar. Där det slutgiltiga målet är att skotern ska bli mer manövrerbar än sin föregångare. Introduktionskapitlet följs av ett teori kapitel. Där presenteras grundläggande teorier och fakta som är nödvändiga för att förstå metod och resultat.

I metod kapitlet beskrivs det hur arbetet har utförts. Arbetet började med en planeringsfas följt av skapandet av kravspecifikationen. Sedan hur olika produktutvecklingsmatriser skapats och dess funktion. I övrigt, beskrivs även CAD, kraft-och spänningsanalys i metod kapitlet.

I genomförande och resultat beskrivs först kravspecifikationen med grundläggande krav som boggien ska uppfylla. Sedan presenteras resultatet av matriserna under rubriken slutgiltigt koncept. Där "Carvingformad matta" blev bästa konceptet enligt matriserna. Funktionen justerbar skena implementerades också för att öka manövrerbarheten ytterligare. Sedan förklaras konstruktionen av konceptet i CAD och hur den genomgick en kraft och spänningsanalys för att se till att boggien klarar av lastfallet som den utsätts för vid körning. Resultat ledde fram till en 13,6% minskning av momentet som krävs för att svänga på hårt underlag. Däremot lyckas inte arbetet uppfylla resterande frågeställningar.

Nyckelord: Boggie, elektrisk snöskoter, produktutveckling, manövrerbarhet, fordonsdynamik, mobilitet i snö.



Development of a boggie for an electric snowmobile  
Emil Kullander, Ludwig Persson  
Department of Industrial and Materials Science  
Chalmers University of Technology

## Abstract

This thesis discusses the development of a boggie for an electric snowmobile for improved maneuverability.

The thesis commences with an introduction which contains background, the purpose and research questions which acts as the main goal of the report. The ultimate objective is to improve the snowmobile's maneuverability compared to its predecessor. The introduction is followed by a chapter of theory. It contains necessary theories and information which will enhance the comprehension throughout the report.

The method chapter describes how the work has been carried out. It began with an outlining of the work followed by technical specifications. Thus, product development matrices were made. Otherwise, CAD, force and stress analysis is described as well.

The result chapter begins with a definitive description of the technical specifications which the boggie shall fulfill. The result from the matrices is then stated. The winning concept, "Carvingformad matta" is further described. An additional feature, an adjustable rail is implemented to further improve the maneuverability. The concept is explained further regarding the design in CAD and the force and stress analysis. This is done to show if the boggie is capable of withstanding the assumed load case. The work concluded in a 13.6 % reduction of the required moment needed to turn in firm snow. However, the work does not succeed in the fulfillment of the remaining research questions.

Keywords: Boggie, electric snowmobile, product development, maneuverability, vehicle dynamics, snow mobility.



## Förord

Först och främst, vill vi tacka Micael Lawson för möjligheten att få arbeta med detta projekt. Att få arbeta med ett projekt som är såpass aktuellt i dagens samhälle med elektrifieringen har varit en bra erfarenhet.

Sedan vill vi rikta ett stort tack till Magnus Bredin, vår handledare. Utan dig och din kompetens hade arbetet inte flutit på lika bra. Veckomöten där vi diskuterat olika funktioner och lösningar hade inte lett fram till detta resultat utan din insats.

Tack även till vår examinator, biträdande professor Magnus Evertsson. För ditt stora engagemang och insikter genom arbetet. Din värdefulla erfarenhet har varit tillhands de gånger vi kört fast och behövt en hjälpande hand.

Till sist vill vi tacka våra klasskamrater och familjer som varit ett starkt stöd under hela studieperioden. Utan er hade tuffa perioder inte varit lika överkomliga.

Emil Kullander, Ludwig Persson, Göteborg, juni 2025



# Akronymer

Nedan presenteras förkortningar som används under uppsatsen. De presenteras i bokstavsordning.

CAD	Computer Aided Design
FEA	Finite Element Analysis (Finit elementanalys)
FEM	Finite Element Method (Finita elementmetoden)
IMU	Inertial Measurement Unit (Tröghetsmåttenhhet)



# Innehåll

<b>Akronymer</b>	<b>xi</b>
<b>Figurer</b>	<b>xv</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	2
1.3 Avgränsningar . . . . .	3
1.3.1 Tidsavgränsningar . . . . .	3
1.3.2 Projektavgränsningar . . . . .	3
1.4 Frågeställning . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Computer Aided Design . . . . .	5
2.2 Newtons lagar . . . . .	5
2.3 Finita elementmetoden i programvara (FEA) . . . . .	6
2.4 Von Mises spänning . . . . .	6
2.5 Autodesk Inventor . . . . .	6
2.6 En boggies utformning på en skoter . . . . .	7
2.7 IMU - Inertial Measurment Unit . . . . .	8
2.8 Minskning av svängmotstånd för bandfordon . . . . .	8
<b>3 Metod</b>	<b>9</b>
3.1 Planering . . . . .	9
3.2 Kravspecifikation . . . . .	9
3.3 Matriser . . . . .	9
3.3.1 Elimineringsmatris . . . . .	9
3.3.2 Morfologisk matris . . . . .	10
3.3.3 Pughs matris . . . . .	10
3.3.4 Kesselringmatris . . . . .	10
3.4 CAD . . . . .	10
3.5 Kraft och spänningsanalys . . . . .	10
<b>4 Genomförande och resultat</b>	<b>13</b>
4.1 Konceptutveckling och matriser . . . . .	13

4.1.1	Kravspecifikation . . . . .	13
4.1.2	Elimineringsmatrisen . . . . .	13
4.1.3	Morfologiska matriser . . . . .	14
4.1.3.1	Koncept 1: Två mattor . . . . .	14
4.1.3.2	Koncept 2: Carving med bladfjäder . . . . .	15
4.1.3.3	Koncept 3: Båtform med smal matta . . . . .	15
4.1.3.4	Koncept 4: Oval från sidan . . . . .	16
4.1.3.5	Koncept 5: Ledad . . . . .	16
4.1.3.6	Koncept 7: Carvingformad matta . . . . .	16
4.1.4	Pugh matris . . . . .	17
4.1.5	Kesselringmatris . . . . .	18
4.2	Slutgiltigt koncept . . . . .	18
4.2.1	Singel justerbar rullskena i boggien . . . . .	19
4.3	CAD och design . . . . .	20
4.3.1	Inre skena . . . . .	20
4.3.2	Yttre skena . . . . .	20
4.3.3	Tunnel . . . . .	21
4.4	Övriga delar . . . . .	21
4.4.1	Fäste för stötdämpare . . . . .	21
4.4.2	Sving . . . . .	22
4.4.3	Boggiehjul . . . . .	23
4.4.4	Stolpe för matta . . . . .	23
4.4.5	Boggiehjulaxel . . . . .	24
4.4.6	Mattspänning . . . . .	25
4.4.7	Skenlängdsjustering . . . . .	26
4.5	Kraft och spänningsanalys . . . . .	28
4.6	Boggiens massa . . . . .	31
4.7	Rampning/moment reglering på motorn . . . . .	31
4.8	Verifiering av att manövrerbarheten har ökat . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>37</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>39</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>I</b>

# Figurer

1.1	ELRV 2.0 [1] . . . . .	1
1.2	ELRV 2.0 under uppbyggnad där boggien är synlig närmast bordet. Drivlinan och chassie är nytt men boggien och mattan är tagen från en gammal Larvenmodell. Foto av Magnus Bredin. Använd med tillstånd.	2
2.1	En boggie för en snöskoter [10] . . . . .	7
4.1	Kravspecifikation som listar krav som slutgiltigt koncept ska uppnå. .	13
4.2	Elimineringsmatrisen med alla koncept . . . . .	14
4.3	Morfologisk matris för Två mattor. . . . .	14
4.4	Morfologisk matris för Carving med bladfjäder. . . . .	15
4.5	Morfologisk matris för Båtform med smal matta. . . . .	15
4.6	Morfologisk matris för Oval från sidan. . . . .	16
4.7	Morfologisk matris för Ledad. . . . .	16
4.8	Morfologisk matris för Carvingformad matta. . . . .	17
4.9	Kesselring matris. . . . .	18
4.10	Boggie i utdraget i läge med 6 boggiehjulpar och avståndet 1100 mm mellan de yttre hjulparen. Mattan illustrerar den som ska användas. .	19
4.11	Boggie i indraget läge med 5 boggiehjulpar och har avståndet 950 mm mellan de yttre hjulparen. Mattan har samma längd som i utdraget läge. . . . .	19
4.12	Inre skena utan monterade delar. . . . .	20
4.13	Yttre skena utan monterade delar. . . . .	20
4.14	Tunneln sedd snett ifrån vänster. . . . .	21
4.15	Fäste för stötdämpare på svingen. . . . .	22
4.16	Svingen. . . . .	22
4.17	Boggiehjul som används på rullskenan. . . . .	23
4.18	Stolpe för att trycka upp mattan. . . . .	24
4.19	Boggiehjulaxel för de 2 yttre hjulparen i både yttre och inre skenan. .	24
4.20	Boggiehjulaxel för inre skena. . . . .	25
4.21	Boggiehjulaxel för yttre skena. . . . .	25
4.22	Illustration av mått för mattspänning på tunnel och boggie. Matta visas inte. . . . .	26
4.23	Von Mises spänningar på skenan i indraget läge, spänningarna är förstörade med 100% vilket gör de mer synliga. . . . .	28
4.24	Geometri för beräkningar av krafter från sving och dämpare. $F_{sv}$ är normal kraften på denna bild. . . . .	29

4.25	Dämparens kraftkomponenter sett från boggiens vänster långsida. . .	30
4.26	Geometri för svingens kraftkomponenter. . . . .	30
4.27	Skotern centrerad vid Y-axeln med vinkel- och hastighetsförändring vid orange-streckad linje. . . . .	32

# Tabeller

4.1	Tabell över beräkning av kundvärde. . . . .	17
4.2	Pugh matris med ELRV 2.0 som referens. . . . .	18



# 1

## Introduktion

Det här kapitlet introducerar bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställningar.

### 1.1 Bakgrund

Larven är en jämtländsk kulturnöskoter som tillverkades under 1960–1990 talet. Ett utmärkande drag för skotern är att den styrs med skidor som föraren har på sig, istället för traditionell styrning med styrskenor. År 2024 har Larven utvecklats genom att den har fått en elektrisk drivlina som ska ge nytt liv till skotern och heter numera ELRV, se figur 1.1 för en bild av ELRV 2.0. Genom elektrifiering påverkar Larven djur och natur i mindre utsträckning jämfört med traditionella skotrars buller och utsläpp av växthusgaser. Affärsidén företaget (Recas AB) som äger ELRV har för Larven bygger på att man avropar 10 byggsatser efter att 5 beställningar kommit in på skotern.



**Figur 1.1:** ELRV 2.0 [1]

Larven är främst utvecklad för att köras i djup snö, vilket medför att den är svårstyrd på hårdare underlag. Dels för att skoterns utformning undertill är helt platt gentemot marken. För att förbättra skoterns köregenskaper både på hårt underlag och i lössnö ska boggin omkonstrueras. Detta genom att ändra dess utformning.

Boggien är den del på skotern där larvbandet är fastsatt i, det vill säga delen på skotern närmast marken som driver skotern framåt, se figur 1.2.



**Figur 1.2:** ELRV 2.0 under uppbyggnad där boggien är synlig närmast bordet. Drivlinan och chassie är nytt men boggien och mattan är tagen från en gammal Larvenmodell. Foto av Magnus Bredin. Använd med tillstånd.

Boggien på denna skoter har två glidskenor för att hålla mattan på plats. Skenorna hålls samman med bandjärn som går tvärs över mattan. Detta gör att glidskenorna har sin yttre kant väldigt nära skotermattans yttre långsida, vilket syns i figuren ovan. Mattan har därför ingen möjlighet till flexibilitet eller böjning på grund av bandjärnen.

En central del i arbetet kommer att vara att försöka hålla nere vikten genom materialval som uppfyller strukturkrav efter antagna statiska lastfall. Utöver det ska en utvärdering gällande momentreglering ur ett perspektiv för att förbättra manövrerbarheten genomföras. Den elektriska drivlinan har möjlighet till rampning och reglering på ett helt nytt sätt i jämförelse med en drivlina med förbränningsmotor.

## 1.2 Syfte

Arbetet går ut på att utveckla en boggie till en elektrisk snöskoter för att öka manövrerbarheten i både lös och hård snö.

## 1.3 Avgränsningar

Nedan presenteras avgränsningar för arbetet.

### 1.3.1 Tidsavgränsningar

Start: 22 januari 2025

Slut: 26 maj 2025

### 1.3.2 Projektavgränsningar

Arbetet innebär bara ändringar av boggien på snöskotern och innefattar endast den generella konstruktionen, inget val kommer att göras av skruvar och kullager. Rostfritt stål är materialet som boggien ska vara byggd av och har valts av företaget. Tunneln avses endast att användas till att hålla uppe boggien, mindre justeringar av fästpunkter tillåts. En spänningsanalys fokuseras på skenorna. Dess tillhörande komponenter anses hålla för krafterna de utsätts för. Momentreglering av motorn ska bara ge ett koncept som skulle kunna vidareutvecklas och är därför inte djupgående.

## 1.4 Frågeställning

Här presenteras frågeställningarna för arbetet.

- Har manövrerbarheten ökat genom att den är mer lättstyrd?
- Har massan på boggien minskat?
- Kan ändring av boggiens utformning och reglering av motorns moment öka manövrerbarheten?



# 2

## Teori

I detta kapitel beskrivs fysikaliska lagar och programvaror som använts som verktyg under arbetet. Andra områden som omfattas av en teoretisk bakgrund beskrivs också för att skapa förståelse för senare delar i rapporten.

### 2.1 Computer Aided Design

CAD är en förkortning på det engelska namnet Computer Aided Design och är enligt [2] en programvara som används för att på en dator konstruera geometriska komponenter. Dessa olika komponenter kan sättas ihop och tillsammans bilda en större konstruktion, exempelvis till en bil. Där höger framhjul är en detalj i den sammansatta filen.

### 2.2 Newtons lagar

Newtons lagar används för att beskriva hur ett objekt rör sig under påverkan av krafter. Det finns tre lagar. Första lagen (Tröghetslagen), ett objekt förblir i vila eller rör sig med konstant hastighet om det inte utsätts för någon yttre kraft [3]. Andra lagen (Accelerations lagen), accelerationen för ett objekt är direkt proportionell mot den direkt motverkande kraften som verkar omvänt mot objektets massa. Beskrivs av ekvationen:  $F = ma$ . Där  $F$  är kraft,  $m$  är massan för objektet och  $a$  är acceleration [3]. Den tredje och sista lagen (reaktionslagen), säger att för varje kraft mellan två kroppar finns en lika stor motsatt kraft. Om ett objekt utövar en kraft på ett annat objekt, kommer båda objekten att utöva lika stor kraft gentemot varandra [3].

## 2.3 Finita elementmetoden i programvara (FEA)

FEM står för Finita elementmetoden och är en numerisk metod för att lösa komplexa problem inom hållfasthetslära. Metoden delar upp en kropp i små hanterbara element som sedan sammanfogas för att beräkna krafter, spänningar och deformationer [4].

I programvaror benämns tillämpningen som FEA - finit elementanalys. FEA används för att analysera och simulera hur en komponent kan reagera under olika förhållanden, till exempel olika lastfall [4]. Processen för en FE-analys i programvara inleds med en modellering av komponenten som ska analyseras. Sedan delar programmet upp komponenten i mindre element för att skapa ett nät vilket kallas meshing. Genom att definiera material och belastning beräknar programmet sedan de matematiska ekvationerna som beskriver komponentens beteende och ger resultat i form av spänningsfördelning eller deformationer.

## 2.4 Von Mises spänning

Von Mises spänning betecknas  $\sigma_{VM}$  och kan beräknas från spänningarna i materialet [5]. För tredimensionella analyser där normalspänningarna  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  och skjuvspänningarna  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$  kan Von Mises spänning beräknas med följande formel:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]} \quad (2.1)$$

Von Mises spänning används sedan för att förutsäga om ett material kommer deformeras plastiskt när den externa belastningen överstiger en specifik nivå. Detta kallas för flytspänning [6]. Överstiger Von Mises spänning materialets flytspänning kan materialet börja deformeras plastiskt.

## 2.5 Autodesk Inventor

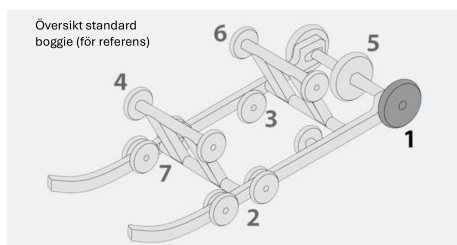
Inventor är en CAD-programvara utvecklad av Autodesk som används för att modellera mekaniska konstruktioner [7]. Programmet introducerades 1999 och har sedan dess uppdaterats många gånger.

En part i CAD programvara är en komponent som är ihopbyggd med geometriska element [8]. Som oftast används tillsammans med andra parts och bildar en sammanställning [9]. Komponentens designas för sig själv, för att sedan sättas ihop till en assembly och kan till exempel vara en hjulaxel på en bil.

En assembly är enligt [9] en sammansättning av flera parts som tillsammans bildar en större komponent som exempelvis kan vara en bil. Där sammansättningen skulle bestå av bland annat hjulaxel, hjul och däck.

## 2.6 En boggies utformning på en skoter

Boggien på en skoter är konstruktionen som håller upp och hjälper till att driva runt skotermattan. Viktiga beståndsdelar som boggien består av, är chassi, fjädring, skenor, boggiehjul, drivhjul och axlar. Chassit innefattar den övergripande konstruktionen på boggien och kan se olika ut beroende på tillverkare och modell. Fjädringen finns för att ta upp stötar och krafter under körning. Skenor i en boggie är vanligtvis glidskenor och kommer oftast i par. Skenornas roll är att mattan ska stanna på sin plats under körning. Namnet glidskena kommer ifrån att skenan glider mot mattan. Detta fungerar eftersom snön smälter och på så sätt bildas ingen friktion som hindrar mattan från att driva runt. Snön och kall omgivning är en förutsättning för att konceptet inte ska överhettas. Se figur 2.1 för en förenklad bild av en boggie i en snöskoter.



**Figur 2.1:** En boggie för en snöskoter [10]

Boggiehjulen är mindre hjul som hjälper mattan att hållas uppe och inte glider ur sin avsedda bana. Detta förhindrar att mattan slackar, vilket betyder att den inte får bli lös (behålla spänning). Drivhjulen är de hjul som driver mattan. Det främre drivhjulsparet (1 i figur 2.1) är kopplat till motorn och ett bakre hjulpar hjälper till att driva runt mattan i andra änden av skotern. Axlar i en boggie finns för att stötta upp konstruktionen och göra den mer hållbar. Beroende på boggiens utformning kan axlar placeras och utformas på flera olika sätt.

En boggie på en traditionell snöskoter har en framvagn och drivning sker på framaxeln. Där också de största krafterna kommer att tas upp av boggien. Boggien på skotern Larven behöver däremot ta upp krafter över hela boggien. Därav blir det en betydande skillnad i hur boggien på Larven och en traditionell snöskoter konstrueras.

## 2.7 IMU - Inertial Measurement Unit

En IMU (Inertial Measurement Unit) eller på svenska, tröghetsmättningsenhet är en elektronisk enhet som används för att mäta rörelser eller för navigation [11]. Den består ofta av en kombination av gyroskop och accelerometer. För att användas i navigeringssyfte inkluderas också en magnetometer. Komponenterna mäter acceleration, rotationshastighet och position i förhållande till en referenspunkt.

Accelerometern i en IMU mäter linjär acceleration i flera riktningar, ofta x-, y- och z-axeln. Det innebär att den registrerar förändringar i hastighet som kan användas för att beräkna rörelse eller lutning [11]. Gyroskopet i en IMU mäter rotationshastigheten kring axlarna. Genom att kombinera gyroskop med accelerometer kan en uppskattning av rörelse och orientering genomföras. Tillsammans med en mikrokontroller kan signaler skickas till en styrenhet. Detta kan användas för att läsa av eller kontrollera ett objekt beroende på de värden som ges av tröghetsmättningsenheten.

## 2.8 Minskning av svängmotstånd för bandfordon

För att minska svängmotståndet för bandfordon kan två justeringar göras enligt Ito [12]. Antingen minskas kontaktytans längd eller bredden. Där det är enklast att kontrollera längden på kontaktytan snarare än bredden. Formeln beräknar momentet på det bromsande av de två banden som sitter på bandvagnen runt larvbandets centrum. Detta kan beräknas enligt formeln:

$$M_t = 2 \cdot \int_0^{1/2} \mu_t p b x dx = \mu_t p b l^2 / 4 = \mu_t W l / 4 \quad (2.2)$$

Där  $M_t$  är svängmotstånds momentet,  $\mu_t$  är den laterala friktionskoefficienten,  $W$  är lastfallet som verkar på mattan och sedan  $l$  som är längden på kontaktytan mot marken.  $M_t$  kan minskas genom att minska kontaktytans längd ( $l$ ) eller bredd ( $b$ ), för då förändras kontaktrycket ( $p$ ) [12]. En ökad kontaktyta bidrar till stabilitet när fordonet framförs rakt fram. I sin tur bidrar en minskad kontaktyta till en effektivare sväng. När Ito minskade kontaktytan med 1/3 mot marken av det bromsade bandet på ett bandfordon som är på risfält, resulterade det i en 20% minskning av momentet.

# 3

## Metod

I detta kapitel beskrivs arbetsgången och med berörda moment. Det innefattar övergripande förklaring angående konceptutvecklingsfasen och delar angående CAD och hållfasthet.

### 3.1 Planering

I början av arbetet uppskattades vad som behövdes göras under arbetsgången och delades upp i olika kategorier. Sedan skapades ett Gantt-schema där tiden för varje del approximerades, se bilaga A för Gantt-schema.

### 3.2 Kravspecifikation

Arbetet började med att generera lösningar till problemet genom diskussion och skisser. Sedan skapades en kravspecifikation att utgå från för att veta vad boggien ska klara kraftmässigt och vilka specifikationer som är aktuella. Kravspecifikationen innehåller de mest väsentliga kraven som boggien ska klara av.

### 3.3 Matriser

Genom att använda produktutvecklingsmatriser kunde idéer som uppstått under konceptgenereringen betygsättas och granskas för att vidareutvecklas eller avvecklas. De matriser som används är elimineringsmatris, morfologisk matris, Pughs matris och Kesselringmatris. Dessa används för att utveckla och säkerställa att genererade idéer möter de krav som ställts i kravspecifikationen och koncepten jämförs mot varandra.

#### 3.3.1 Elimineringsmatris

Den första matrisen som användes var elimineringsmatrisen. Matrisen bygger på att betygsätta olika koncept och deras funktioner utifrån uppfyllande av specificerade kriterier. Utifrån nuvarande skoter som referens bedömdes de olika koncepten som en förbättring (+), försämring (-) eller neutralt (0).

### 3.3.2 Morfologisk matris

I den morfologiska matrisen utvecklas koncepten genom att kombinera olika dellösningalternativ. Ett koncept kommer fram genom att välja dellösningalternativ, där en färgad ruta i matrisen syftar på valt dellösningalternativ för en viss funktion. De färgade rutorna tillhörande varje enskilt koncept är det som gäller som koncept i Pugh matrisen under nästa matrissällning.

### 3.3.3 Pughs matris

Pughs matris användes för att individuellt betygsätta koncepten utifrån fyra olika kriterier där skalan är från ett till tre, ett är sämre och tre det bästa alternativet. Ett kundvärde beräknas som en kvot mellan tillfredsställelse av behov och förbrukning av resurser. Det beräknade kundvärdet för varje koncept används sedan i del två av Pughs matris. Varje koncept rankas återigen utifrån olika kriterier med '+', '-' eller '0'. Fyra vinnare med högst totalpoäng går vidare till den sista matrisen.

### 3.3.4 Kesselringmatris

Kesselringmatris användes för att utse det vinnande konceptet. Genom att jämföra koncept som gått vidare från tidigare matriser tilldelas olika poäng. Koncepten rankades utifrån ett ideal från ett till fem samt ett viktvärde där summan blir ett, värdet är en bedömning på hur viktigt kriteriet anses vara. Ett betyg på 5 innebär att det är optimalt för kriteriet. Till exempel innebär 5 en låg vikt för kriteriet massa medan värdet 1 på uppfyllnad av huvudfunktion innebär att konceptet inte eller knappt uppfyller användningsområdet. Hade uppfyllnad av huvudfunktion istället fått 5 skulle detta betyda att konceptet uppfyller det ändamål som en snöskoter används till. Det avgörande värdet som utser ett vinnande koncept är att dividera det totala viktade värdet  $T$  med  $T - ideal$  som är det optimala totalvärdet.

## 3.4 CAD

Efter planeringsfasen gick arbetet vidare till att konstruera en datogenererad modell av hur boggien och tunneln ska se ut i verkligheten. Genom att göra detta i CAD kan en förståelse av hur de rörliga delarna samverkar när de är ihopkopplade beskådas.

## 3.5 Kraft och spänningsanalys

För att testa så att designade komponenter håller för ändamålet användes Inventors spännings- och utmattningsanalys. Genom att välja material, placera krafter och constraints (fastsatta kontaktytor) kan deformation och spänningar (von Mises) i komponenten visualiseras.

Antagna statiska lastfall är 10 000 N som verkar på tunneln och sedan blir jämnt utfördelat på fästpunkterna för svingen. Krafterna antas vara ett värsta möjliga scenario som kan inträffa. För att få en extra marginal till det faktiska lastfallet används

en säkerhetsfaktor. Det antagna lastfallet är en vuxen man på 100 kg multiplicerat med  $g = 9.81m/s^2$ . Säkerhetsfaktorn sätts till 4 för att säkerställa att det testade föremålet kommer att hålla i den slutgiltiga konstruktionen. Dessutom räknas skoterns egenvikt på 150 kg in i lastfallet, vilket leder till,  $250 * 9,81 * 4 = 9810N \approx 10000N$ .



# 4

## Genomförande och resultat

I detta kapitel presenteras resultatet från konceptutvecklingsfasen, CAD modelleringen, spänningsanalys och reglering av motorns moment.

### 4.1 Konceptutveckling och matriser

Efter diskussion och skisser var det dags för koncepten att utvärderas genom de olika produktutvecklingsmatriserna. Nedan presenteras resultat av de matriser vars arbetsgång beskrivits i metod kapitlet.

#### 4.1.1 Kravspecifikation

En kravspecifikation skapades för att användas som underlag för kommande produktutvecklingsmatriser. Tillsammans med företaget (Recas) verifierades kravspecifikationens relevans för att sedan användas som en grundsten i arbetet. Viktiga krav som behöver arbetas med innefattar lastfall och storlek på boggien. Se figur 4.1 för en fullständig överblick av innehållet.

Kriterier	Intressent	Kravtyp	Målvärde	Enhet	Verifiering	Nivå
<b>1. Livslängd</b>						
Boggi (tunnel, skena)	Recas	Inressent	>10	år	Uppskattning/analys	Krav
<b>2. Storlek, övergripande</b>						
Höjd	Recas	Systemkrav		334 mm	Analys	Krav
Bredd	Recas	Systemkrav		400 mm	Analys	Krav
Längd	Recas	Systemkrav		1613 mm	Analys	Krav
<b>3. Material</b>						
Totalt, boggi	Recas	Inressent		45 kg	Se i Cad/program?	Önskemåt
Skena, rostfrittstål	Recas	Inressent	??		Se i Cad/program?	Önskemåt
Tunnel, Aluminium	Recas	Inressent		15 kg	Se i Cad/program?	Önskemåt
<b>4. Kostnad delar</b>						
Matta	Recas	Inressent		14120 kr		Önskemåt
Skena	Recas	Inressent	???	kr		Önskemåt
Dämpare	Recas	Inressent	2*2830=5660	kr		Önskemåt
Boggiehjul			6*575=3450	kr		Önskemåt
Drivhjul (axel, drivhjul bak och fram)			4*1809+2*2000=11236	kr		Önskemåt
<b>5. Lastfalls hantering (statisk)</b>						
F=mg, förare och skoter (y-led)	Recas	Systemkrav		10 000 N		Önskemåt
Lastvikt	Recas	Systemkrav	<100	kg	Analys	Krav
<b>6. Extra</b>						
Drive modes						Önskemåt

Figur 4.1: Kravspecifikation som listar krav som slutgiltigt koncept ska uppnå.

#### 4.1.2 Elimineringmatrisen

I elimineringsmatrisen gick fem koncept vidare efter en urvalsprocess. I denna matris användes nuvarande skoter ELRV 2.0 som en referens för att jämföra med nya koncept som genererats under brainstorming-processen. Tanken med denna matris

## 4. Genomförande och resultat

var att gallra ut koncept som ansågs inte uppfylla de krav som ställts. En viktig notering är att konceptet Ledad bakdel inte gick vidare från elimineringsmatrisen. Istället togs den vidare som en delfunktion i de morfologiska matriser, då funktionen kunde komma till användning i kombination med andra lösningar istället för att vara ett eget koncept. Se figur 4.2 för en komplett visualisering av alla koncept och resultatet av matrisen.

Koncept (boggi)	Kriterium								Vidare?	
	Hålla för 10 kN	Kostnad	Massa	Hård snö	Lös snö	Antal delar	Lätt att bygga	Utveckla många nya komponenter		
ELRV 2.0	0		0	0	0	0	0	0	0	JA/NEJ
Carvingformad matta	+	+	-	+		0 -		0 -		JA
Carvingform (bladfjäder)	+	+	+	+		0 -	-	-		JA
Multidämpare	+		-	+	+		-	-		NEJ
Två band/mattor (landgående)	+	-	-	+	+		-	-		JA
båtform (smalare matta)	0		0 -	-	+		0	0 -		JA
båtform (formbar matta)	+	+	-	-	+		-	-		NEJ
Ovalform	+	+	-	-	+		0 +	-		JA
Av/På dämpare	+	+		0 +	+		0	0		0 NEJ
Trapetsformad	+	+		0 +	+		0	0 -		NEJ
Ledad bakdel(xy)	&+ eller -	+		0 +	+		-	0		0 NEJ
Fjäder-ledad (xyz)	+	+		0 +	+		-	0		0 NEJ

Figur 4.2: Elimineringsmatrisen med alla koncept

### 4.1.3 Morfologiska matriser

Nedan beskrivs de olika koncepten som gick vidare ifrån elimineringsmatrisen mer detaljerat. Det innefattar också dellösningalternativ som valts i processen för varje koncept. Tillhörande varje koncept finns en figur över den morfologiska matrisen för varje koncept.

#### 4.1.3.1 Koncept 1: Två mattor

Konceptet Två-mattor innebär att boggin har två stycken skotermattor, där mattorna kan köras i olika hastighet. Exempelvis om personen på skotern vill svänga åt höger så minskas hastigheten på den högra skotermattan medan den vänstra mattan har kvar sin hastighet, likt en differential. Genom olika hastigheter på vardera skotermatta ska skotern då lättare kunna svänga. Detta ska gå att lösa antingen genom att skotern har 2 motorer, en för vardera matta, alternativt att skotern har en differential mellan mattornas drivaxlar.

KONCEPT 1 "Två mattor"	Dellösningalternativ					
Drive Modes	AV/PÅ sidodämpare	Dynamisk	AV/PÅ V-format mitten	INGET	Sänker ner bogghjulet i mitten (för mer ovalformad)	
Tunnel, typ av konstruktion	Runda stag (stål)	samma som nu	Alu-profil	INGET		
Placering av dämpare	kors, sida till sida	svingen som nu	V-format fram/bak	INGET	V-format dämpare fram, svng bak	V-format, sida till sida
Mattsor/bredd	Smal	samma som nu	Två smala mattor	INGET		
Mattsor, (kammhöjd)	Grov	Fin	Samma (32mm)	INGET		
Form från sidan	Ovalformad	Platt	Trapetsformad i profil	INGET		
Form framifrån	Trapetsformad i bredd	Oval	Fyrkantig		Båtformad (oval med halvspets i fören)	Lite v-format
Form upptrån	Carving (med bladfjäder)	Carvingform (timglas)	Uppnär Carvingform (timglas) vid svängning	INGET		
Ledad	Ledad i mitten (XYZ)	Ledad (Z (uppåt))	Ledad (XY)	INGET		

Figur 4.3: Morfologisk matris för Två mattor.

Resultatet från den morfologiska matrisen i figur 4.3 för koncept Två mattor blev en utsvängning i funktion och utseende. Ett koncept som är unikt i jämförelse med övriga koncept som introduceras senare, se bilaga B för en skiss på iden.

#### 4.1.3.2 Koncept 2: Carving med bladfjädrar

Tanken med detta koncept är att skotern har två bladfjädrar, en på vardera långsida av skotern längst ner vid maken. Mattan som driver snöskotern är smalare än i andra koncept. Genom att till exempel luta sig åt vänster när man kör i hårdare snö ska bladfjädern böjas så att en ellips skapas inåtgående. Med detta ska skotern uppnå ett carving tillstånd vilket ska göra att den svänger åt det hållet föraren lutar sig åt.

KONCEPT 2 "Carving med bladfjädrar"		(Parkerad) Ingen bild eller förklaring		Delösningsalternativ		
Drive Modes	AV/PÅ sidodämpare	Dynamisk	AV/PÅ V-format mitten	INGET	Sänker ner bogghjul i mitten (för mer ovalformad)	
Tunnel, typ av konstruktion	Runda stag (stål)	samma som nu	Alu-profil	INGET		
Placering av dämpare	kors, sida till sida	svingen som nu	V-format fram/bak	INGET	V-formade dämpare fram, sving bak	V-format, sida till sida
Mattsor/bredd	Smal	samma som nu	Två smala mattor	INGET		
Mattsor, (kammhöjd)	Grov	Fin	Samma (32mm)	INGET		
Form från sidan	Ovalformad	Platt	Trapetsformad i profil	INGET		
Form framifrån	Trapetsformad i bredd	Oval	Fyrkantig		Båtformad (oval med halvspets i fören)	Lite v-format
Form uppfifrån	Carving (med bladfjädrar)	Carvingform (timglas)	Uppnår Carvingform (timglas) vid svängning	INGET		
Ledad	Ledad i mitten (XYZ)	Ledad (Z (uppåt))	Ledad (XY)	INGET		

Figur 4.4: Morfologisk matris för Carving med bladfjädrar.

I samråd med företaget parkerades detta koncept då komplexiteten med att få önskad effekt av bladfjädrarna ansågs vara svår att uppnå. Dessutom uppskattades vikten på detta koncept att öka vilket skulle medföra en skoter som blir trögare att svänga med. Detta skulle direkt motverka målet med arbetet att få skotern mer manövrerbar, se bilaga C för en visualisering av konceptet.

#### 4.1.3.3 Koncept 3: Båtform med smal matta

Koncept 3 Båtform med smal matta bygger på att forma boggin som en båt i fronten. Det vill säga att den får en spetsigare utformning i fronten jämfört med dagens modell, något trapetsformad om man ser från ovan, se bilaga D för en skiss på iden. Dessutom är mattan något smalare för att skyddas av välvda plåtar/kåpor på sidorna som agerar som ett skrov. Från sidan kan utformningen ses som oval (oval, det vill säga rundad botten) för att vidareutveckla båt konceptet. Ska det också finnas en funktion som kan göra mattan extra oval med hjälp av en aktuator som sänker ner ett bogghjulpar för att få en ännu ovalare form. Denna funktion är ett så kallat drive mode (köräge) som är tänkt att göra skotern ännu mer manövrerbar på hårdare underlag. För att den har mindre kontaktyta med snön. Tanken med båtutformningen är att underlätta i svängar genom att göra den enklare att tippa från sida till sida. För att kompensera för en smalare mattas sämre drivyta, bedöms att en ökning av kammhöjd på mattan kan vara lämpligt.

KONCEPT 3 "Båtform med smal matta"				Delösningsalternativ		
Drive Modes	AV/PÅ sidodämpare	Dynamisk	AV/PÅ V-format mitten	INGET	Sänker ner bogghjul i mitten (för mer ovalformad)	
Tunnel, typ av konstruktion	Runda stag (stål)	samma som nu	Alu-profil	INGET		
Placering av dämpare	kors, sida till sida	svingen som nu	V-format fram/bak	INGET	V-formade dämpare fram, sving bak	V-format, sida till sida
Mattsor/bredd	Smal	samma som nu	Två smala mattor	INGET		
Mattsor, (kammhöjd)	Grov	Fin	Samma (32mm)	INGET		
Form från sidan	Ovalformad	Platt	Trapetsformad i profil	INGET		
Form framifrån	Trapetsformad i bredd	Oval	Fyrkantig		Båtformad (oval med halvspets i fören)	Lite v-format
Form uppfifrån	Carving (med bladfjädrar)	Carvingform (timglas)	Uppnår Carvingform (timglas) vid svängning	INGET		
Ledad	Ledad i mitten (XYZ)	Ledad (Z (uppåt))	Ledad (XY)	INGET		

Figur 4.5: Morfologisk matris för Båtform med smal matta.

Detta koncept slutade upp i en utformning med en smalare matta med välvda sidor likt ett skrov på en båt på vardera sida av mattan. Den morfologiska matrisen i

## 4. Genomförande och resultat

figur 4.5 ledde till att denna lösning fick en ytterligare funktion med en dynamisk boggie där ett boggiehjulpar kan sänkas för att ändra utformningen.

### 4.1.3.4 Koncept 4: Oval från sidan

Med konceptet Oval från sidan är tanken att genom att underdelen på boggien är ovalformad sett från sidan. Ska skotern lättare kunna svänga genom att skotern har högst tryck på den minsta kontaktytan. Likt ett hjul, och på så sätt kommer den att ha lättare att svänga.

KONCEPT 4 "Oval från sidan"		Dellösningalternativ			
Delfunktion					
Drive Modes	AV/PÅ sidodämpare	Dynamisk	AV/PÅ V-format mitten	INGET	Sänker ner boggiehjul i mitten (för mer ovalformad)
Tunnel, typ av konstruktion	Runda stag (stål)	samma som nu	Alu-profil	INGET	
Placering av dämpare	kors, sida till sida	svingen som nu	V-format fram/bak	INGET	V-formade dämpare fram, swing bak
Mattsort/bredd	Smal	Samma	Två smala mattor	INGET	V-format, sida till sida
Mattsort, (kammhöjd)	Grov	Fin	Samma (32mm)	INGET	
Form från sidan	Ovalformad	Platt	Trapetsformad i profil	INGET	
Form framifrån	Trapetsformad i bredd	Oval	Fyrkantig		Båtformad (oval med halvspets i fören)
Form uppifrån	Carving (med bladfjäder)	Carvingform (timglas)	Uppnär Carvingform (timglas) vid svängning	INGET	Lite v-format
Ledad	Ledad i mitten (XYZ)	Ledad (Z (uppåt))	Ledad (XY)	INGET	

Figur 4.6: Morfologisk matris för Oval från sidan.

Den morfologiska matrisen i figur 4.6 visar hur konceptet Oval från sidan utformats. En simpel konstruktion där boggien är något ovalformad sett från sidan, bilaga E innehåller en skiss på detta. Även detta koncept har funktionen att bli ännu mer oval med hjälp av ett justerbart boggiehjulpar i mitten av skenan.

### 4.1.3.5 Koncept 5: Ledad

Delalternativet ledad går ut på att skotern har en led någonstans i mitten för att kunna bestå av två delar. Eftersom den främre ledade delen har mindre kontaktyta med snön borde den vara lättare att manövrera samtidigt som den bakre delen bara följer med. Detta ska hypotetiskt innebära att skotern har lättare att svänga för att den kan få en snävare radie eftersom den bakre delen svänger efter den främre. Se figur 4.7 för en visualisering av funktioner och valda dellösningalternativ.

KONCEPT 5 "Ledad"		Dellösningalternativ			
Delfunktion					
Drive Modes	AV/PÅ sidodämpare	Dynamisk	AV/PÅ V-format mitten	INGET	Sänker ner boggiehjul i mitten (för mer ovalformad)
Tunnel, typ av konstruktion	Runda stag (stål)	samma som nu	Alu-profil	INGET	
Placering av dämpare	kors, sida till sida	svingen som nu	V-format fram/bak	INGET	V-formade dämpare fram, swing bak
Mattsort/bredd	Smal	Samma som nu	Två smala mattor	INGET	V-format, sida till sida
Mattsort, (kammhöjd)	Grov	Fin	Samma (32mm)	INGET	
Form från sidan	Ovalformad	Platt	Trapetsformad i profil	INGET	
Form framifrån	Trapetsformad i bredd	Oval	Fyrkantig		Båtformad (oval med halvspets i fören)
Form uppifrån	Carving (med bladfjäder)	Carvingform (timglas)	Uppnär Carvingform (timglas) vid svängning	INGET	Lite v-format
Ledad	Ledad i mitten (XYZ)	Ledad (Z (uppåt))	Ledad (XY)	INGET	

Figur 4.7: Morfologisk matris för Ledad.

Figur 4.7 visar en kombination av dellösningalternativ för funktioner hos detta koncept. Även om konceptet Ledad bakdel inte gick vidare från elimineringsmatrisen så finns det med som ett dellösningalternativ i de morfologiska matriserna. Eftersom övriga koncept inte har ledad som en funktion fick detta alternativ det namnet, se bilaga F för en skiss på konceptet.

### 4.1.3.6 Koncept 7: Carvingformad matta

För Koncept 7 är tanken att skotermattan ska vara flexibel, gå att böja långsides. Med hjälp av detta ska mattan kunna böja sig lite så att skotern har kontakt med

underlaget (snön) samtidigt som föraren svänger genom att luta sig. När föraren lutar sig och svänger bör mattan bli någorlunda halvmåne/tinglasformad sett från vyn underifrån på skotern och därmed bete sig likt en carvingskida. Vilket konceptet har fått sitt namn efter, carvingformad. Mattan blir även här lite ovalformad intill snön sett framifrån och detta ska då göra att skotern blir lättare att svänga. Se bilaga G för att se en illustration av hur mattan är tänkt att forma sig.

KONCEPT 7 "carvingformad matta"		Dellösningalternativ				
Delfunktion						
Drive Modes	AV/PÅ sidodämpare	Dynamisk	AV/PÅ V-format mitten	INGET	Sänker ner bogghjul i mitten (för mer ovalformad)	
Tunnel, typ av konstruktion	Runda stag (stål)	samma som nu	Alu-profil	INGET		
Placering av dämpare	kors, sida till sida	svingen som nu	V-format fram/bak	INGET	V-formade dämpare fram, svng bak	V-format, sida till sida
Mattsort/bredd	Smal	Samma	Två smala mattor	INGET		
Mattsort, (kammhöjd)	Grov	Fin	Samma (32mm)	INGET		
Form från sidan	Ovalformad	Platt	Trapetsformad i profil	INGET		
Form framifrån	Trapetsformad i bredd	Oval	Fyrkantig		Båtformad (oval med halvspets i fören)	Lite v-format
Form uppfifrån	Carving (med bladfjäder)	Carvingform (tinglas)	Uppnår Carvingform (tinglas) vid svängning	INGET		
Ledad	Ledad i mitten (XYZ)	Ledad (Z (uppåt))	Ledad (XY)	INGET		

**Figur 4.8:** Morfologisk matris för Carvingformad matta.

Sista konceptet från de morfologiska matriserna resulterade i ett koncept som framhäver möjligheten till en mer manövrerbar skoter. I figur 4.8 ses dellösningalternativ som ovalformad från sidan med en trapetsformad front.

Användningen av morfologiska matriser har resulterat i koncept som utvecklats och tagit inspiration av varandra. Dels för att skapa nya synvinklar men också för att förbättra koncept som tidigare verkat svåra att genomföra. Utan användning av morfologiska matriser hade en del av dellösningalternativen till funktioner aldrig använts eller tänkts på. Därför kunde nästa fas med Pugh-matrisen påbörjas.

#### 4.1.4 Pugh matris

Från de morfologiska matriserna gick "Två mattor", "Båtform med smal matta", "Oval från sidan", "Ledad" och "Carvingformad matta" vidare till Pugh matrisen. Kundvärdet som använts i tabellerna beräknades med hjälp av formeln:

$$\text{Kundvärde} = \frac{\text{Tillfredsställande av behov}}{\text{Förbrukning av resurser (Tid + Pengar + Ansträngning)}} \quad (4.1)$$

Skalan som används i tabell 4.1 är från ett till tre, där ett är sämre och tre är bättre. Kundvärdet används sedan som ett avgörande värde i tabell 4.2.

**Tabell 4.1:** Tabell över beräkning av kundvärde.

Koncept	Tillfreds- ställande av behov	Förbrukning av tid	Förbrukning av ansträngning	Förbrukning av pengar	Kundvärde
Två mattor	3	2	3	3	0,375
Båtform med smal matta	3	2	2	2	0,5
Oval från sidan	3	2	2	1	0,6
Ledad	2	2	2	2	0,33
Carvingformad matta	3	2	2	1	0,6

I tabell 4.2 används nuvarande skoter ELRV 2.0 som en referens att utgå ifrån när koncepten rankas mot varandra. Konceptens poäng summeras där den med högst totalpoäng vinner denna omgång.

Tabell 4.2: Pugh matris med ELRV 2.0 som referens.

	ELRV 2.0	Två mattor	Båtform	Oval från sidan	Ledad	Carvingformad matta
			med smal matta			
Kundvärde	REF=0	0,375	0,5	0,5	0,33	0,6
Coolhetsfaktor	REF	+	0	0	0	0
Manövrerbarhet (hårdsnö)	REF	+	-	-	0	+
Robusthet	REF	+	+	+	-	0
Producerbarhet	REF	-	+	+	0	+
Komplexitet att utveckla	REF	-	+	+	-	+
Krav	REF	0	0	0	0	0
Manövrerbarhet (lössnö)	REF	0	+	+	0	+
Summa	0	1,375	3,5	4,5	-1,67	4,6

Inför den sista matrisen föll valet på att inkludera fyra av de fem koncepten i Pugh matrisen. Dels för att flera av koncepten fick jämna poäng. Men också för att konceptet Två mattor ansågs vara spännande att arbeta vidare med.

### 4.1.5 Kesselringmatris

Resultatet från de morfologiska matriserna ledde till att fyra koncept återstod inför Kesselringmatrisen.

Kriterier	Vikt	Ideal		Två mattor		Båtform med smal matta		Oval från sidan		Carvingformad matta	
		Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat
Kostnad	0,3	5	1,5	2	0,6	3	0,9	4	1,2	4	1,2
Massa	0,25	5	1,25	3	0,75	3	0,75	3	0,75	4	1
Simplicitet	0,1	5	0,5	2	0,2	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Materialåtgång	0,15	5	0,75	4	0,6	2	0,3	3	0,45	4	0,6
Uppfyllnad av huvudfunktion	0,2	5	1	3	0,6	2	0,4	3,5	0,7	4	0,8
<b>Totalt viktat värde:</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>2,75</b>	<b>13</b>	<b>2,65</b>	<b>17,5</b>	<b>3,5</b>	<b>20</b>	<b>4</b>
<b>T/T-ideal:</b>			<b>1</b>		<b>0,55</b>		<b>0,528</b>		<b>0,7</b>		<b>0,8</b>
		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>					
		Carvingformad matta		Oval från sidan		Två mattor					

Figur 4.9: Kesselring matris.

Det vinnande konceptet blev "Carvingformad matta", två "Oval från sidan" och tredje sist "Två mattor". Figuren ovanför visar poängfördelning mellan de olika koncepten.

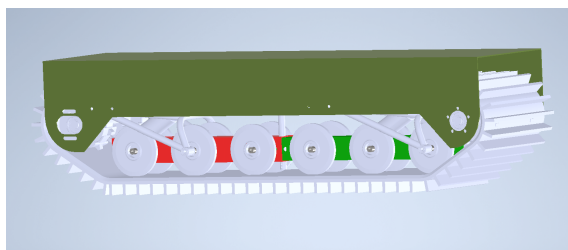
## 4.2 Slutgiltigt koncept

När konceptutvecklingsfasen avslutades återstod koncept 7, Carvingformad matta som vinnare. När det slutgiltiga konceptet presenterats för företaget visade de deras egna koncept för nästa generation ELRV. Deras koncept var snarlikt konceptet Carvingformad matta. Inspiration hade tagits av skotern Artic Cat Alpha One som är en skotermotell som använder en singelskena i boggien. Detta har enligt Artic Cat [13] resulterat i en skoter som är lättare att manövrera. För att få mattan att bli carvingformad under körning återanvändes iden med en singelskena. Detta medför att mattan kan böjas vid svängning i snö och bli timglasformad, därav namnet Carvingformad matta. För att öka manövrerbarheten ytterligare fattades ett beslut att försöka implementera en justerbar skena med varierbar längd.

I den morfologiska matrisen valdes runda stag som konstruktion för tunneln, den del av boggien som skenan, sving och drivaxlar är fastsatta i. Detta eftersom en viktminskning skulle vara möjlig. Efter en överläggning med företaget slöts en överenskommelse om att använda sig av den tunnelkonstruktion (utformning) som företaget använder för nästa generation ELRV. Detta för att en konstruktion med runda stag skulle få svårt att skydda viktiga elektroniska komponenter mot snö eller fukt under körning. Det vägde tyngre jämfört med att spara in vikt genom ändring av tunnels design.

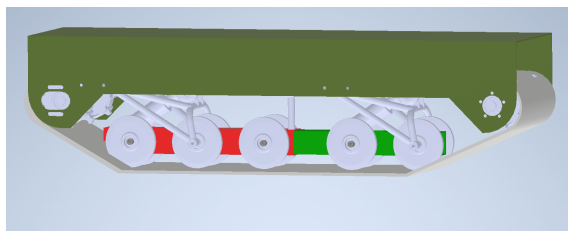
#### 4.2.1 Singel justerbar rullskena i boggien

Skenan är justerbar i längd-led och har funktionen med carvingformad matta. Den nya boggien med ny rullskena ska gå att implementera på företagets nya skoter. Justerbar i längd-led innebär att längden på skenan ska gå att justeras beroende på vilket underlag skotern ska köras på vid tillfället. Utdragen (lång skena) vid lössnö och indragen (kort skena) på hård snö. Se figur 4.10 för implementering av skenan i utdraget läge.



**Figur 4.10:** Boggie i utdraget i läge med 6 boggiehjulpar och avståndet 1100 mm mellan de yttre hjulparen. Mattan illustrerar den som ska användas.

Lång skena anses bättre i lössnö för att skotern då har större kontaktyta med snön och bör därför ha svårare att sjunka ner i snön. Se figur 4.11 för implementering av skenan i indraget läge.



**Figur 4.11:** Boggie i indraget läge med 5 boggiehjulpar och har avståndet 950 mm mellan de yttre hjulparen. Mattan har samma längd som i utdraget läge.

Kort skena gör att skotern blir mer agil och lättsvängd vid körning på packad snö och därmed enklare att manövrera. Detta för att den har mindre kontaktyta med underlaget. I det slutgiltiga konceptet valdes att skenan skulle vara 150 mm kortare i indraget läge. Detta är den största längd som skenan kan dras in. Om skenan skulle

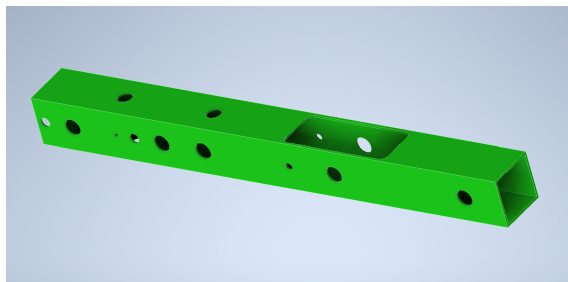
dras in längre skulle sitthöjden behöva öka vilket gör att föraren kan få svårt att nå ner med sina fötter för att styra. Ytterligare ett problem blir att mattspänningen blir såpass påtagligt låg att det blir komplext att lösa problemet.

### 4.3 CAD och design

I CAD-fasen användes företagets CAD-filer för deras nya skoter för att kunna återanvända deras måttsättningar. I lössnö ska skotermattan breda ut sig över en större area för att inte sjunka ner. På hårdsnö ska skotern helst ha en så liten kontaktyta som möjligt med snön för att den lättare ska gå att svänga med.

#### 4.3.1 Inre skena

Den inre sken delen går att justera ut och in i den yttre skenan. Skenan är 74x74 mm i area på kortsidan och 782 mm lång. Längden mellan boggihjulaxlarnas fästpunkter i utdraget läge är centrum till centrum (CC) 660 mm och indraget läge 510 mm. Detta betyder att den har två hål 150 mm ifrån varandra. Hålen väljs utifrån om den totala längden på skenan ska vara lång eller kort (indraget eller utdraget läge), se figuren nedan.

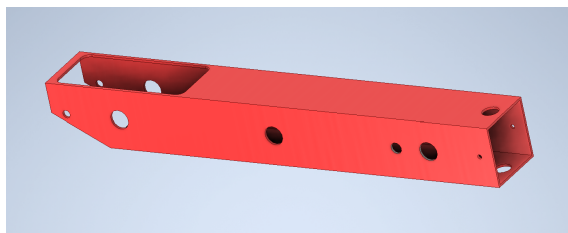


**Figur 4.12:** Inre skena utan monterade delar.

Den inre skenan har totalt tre boggihjulpar i utdraget läge. När skenan är indragen tas ett boggihjulpar bort. Vilket innebär att endast två boggihjulpar finns i det indragna läget.

#### 4.3.2 Yttre skena

Den totala längden på den breda skenan är 629 mm kortsida till kortsida och 440 mm mellan de yttre boggihjulaxlarna.

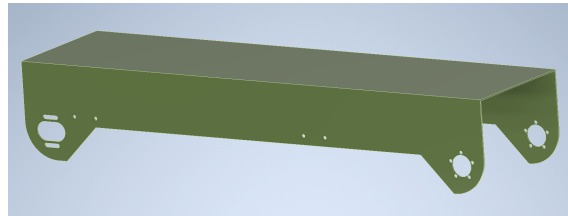


**Figur 4.13:** Yttre skena utan monterade delar.

Skenan har totalt 3 hjulpar både i indraget och utdraget läge. Hålen jämte axelhålet ytterst mot den inre skenan ska en bult sitta i för att säkerställa att skenorna sitter ihop.

### 4.3.3 Tunnel

Den del som svingarmarna sitter infästa i och som håller upp hela boggien kallas tunnel. Tunneln är inspirerad av och har samma mått i längd som den företaget har skapat till sin nästkommande snöskoter. Den är snöskoterns centrala byggsten därför att den har batteri, motor och allt annat över sig och håller upp boggien. I detta projekt är den mest estetisk och för att se hur boggien hänger ihop med resten av skotern. I en slutgiltig prototyp är det tänkt att företagets tunnel ska användas och den är förstärkt vid vissa fästpunkter.



**Figur 4.14:** Tunneln sedd snett ifrån vänster.

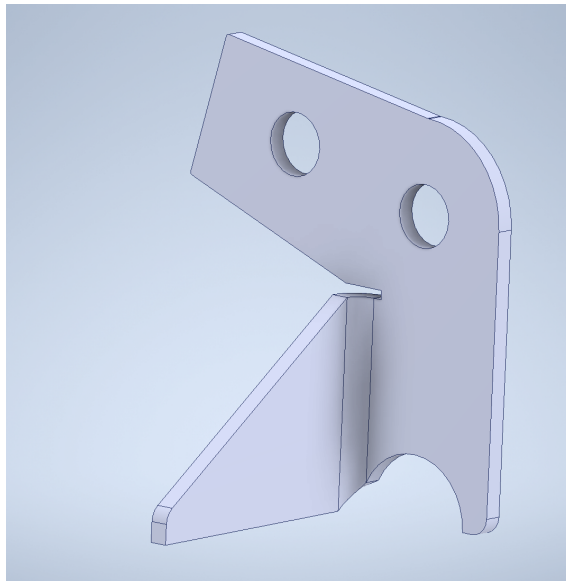
Fyra mindre hål ses från sidan på tunneln, två på höger sida av mitten och två på vänster sida. Dessa används för att fästa svingen i tunneln. Båda hålpåren har avståndet 75 mm mellan varandra. Yttersta hålet i båda paren används när skenan ska vara i sitt utdragna läge och de inre hålen i sitt indragna läge. Hålpåren är tillsammans 150 mm ifrån varandra, det vill säga 75 mm på höger respektive vänstersidans hjulpar. Detta motsvarar den inskjutna längden till indraget läge respektive till utdraget läge. Detta är varför svingarna flyttas till de inre hålen i indraget läge för att kompensera längdförlust.

## 4.4 Övriga delar

Här beskrivs små komponenter och delar som har använts från företagets befintliga konstruktion.

### 4.4.1 Fäste för stötdämpare

Fästet för stötdämparen har två hål i sig. Hålet till höger i figuren nedan används i utdraget läge för att skenan ska ha rätt höjd och dämparen rätt fästpunkt. Hålet är från företagets ursprungliga konstruktion.



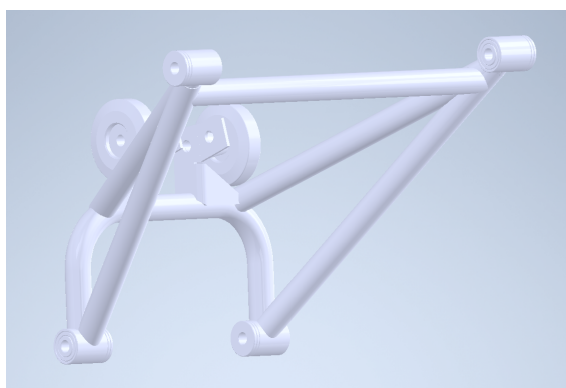
**Figur 4.15:** Fäste för stötdämpare på svingen.

Fästet konstruerades för att ge möjlighet att lösa mattspänningsproblemet som uppstår vid det indragna läget. Därför skapades ytterligare ett hål för att bidra till att lösa problemet. Det andra hålet sätts dämparen fast i om indraget läge är att föredra. Skenan sänks då ner 41,7 mm gentemot utdraget läge för att mattan ska bli spänd. Hålet är placerat 28,929 mm och  $4,38^\circ$  uppåt från ursprungshålet. Ett spegelvänt fäste som ser likadant ut sitter mitt emot.

Fästena har två hjul fastsatta på vardera yttersida. Hjulen används för att mattan inte ska slå i fästet och förstöra den. Figuren i nästa stycke sving visar vart hjulen och fästena är.

### 4.4.2 Sving

Svingen är den del som dämparen sitter i och den är fastsatt i tunneln och skenan. Funktionen den ger är att skenan kan svinga och inte är statisk.

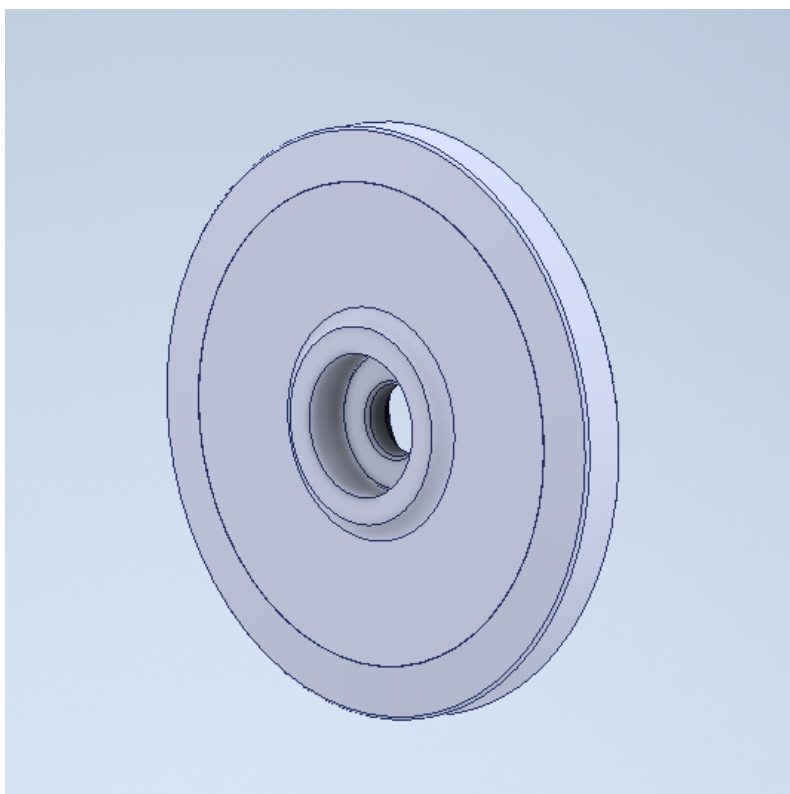


**Figur 4.16:** Svingen.

Armen är designad av företaget, förutom fästet som berättades om i 4.4.1 för stötdämparen.

### 4.4.3 Boggiehjul

Hjulen som används som stöd mellan skenan och mattan i syftet att hålla mattan på rätt plats. De ersätter även glidfunktionen hos en glidskena eftersom att hjul låter mattan rulla istället för att glida. Se figur 4.17 för en visualisering i CAD av hjulet.



**Figur 4.17:** Boggiehjul som används på rullskenan.

Boggiehjulen som används har en ytterdiameter på 136 mm och en innerdiameter på 20 mm där hjulaxeln ska sitta. Boggiehjulen är valda utav företaget och används på deras variant.

### 4.4.4 Stolpe för matta

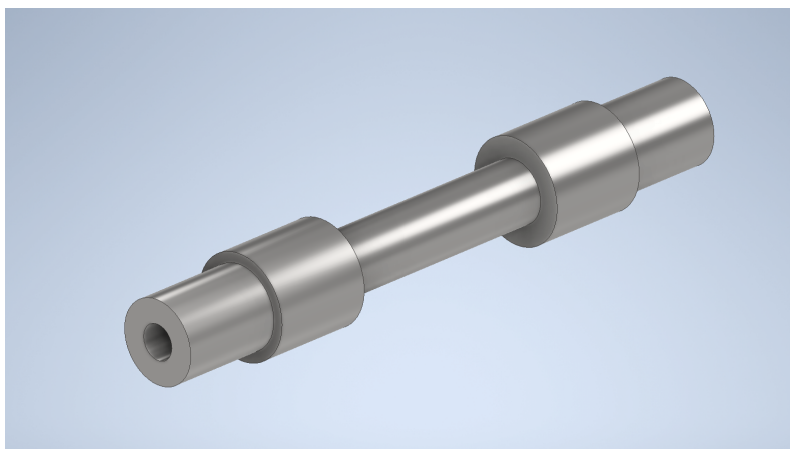
En stolpe med två hjul ovanpå sitter igenom den ihopsatta skenan i mitten och används för att kunna trycka på mattan när skenan trycks upp för att motverka mattslack. Exempelvis när skotern kör över ett hinder.



**Figur 4.18:** Stolpe för att trycka upp mattan.

### 4.4.5 Boggiehjulaxel

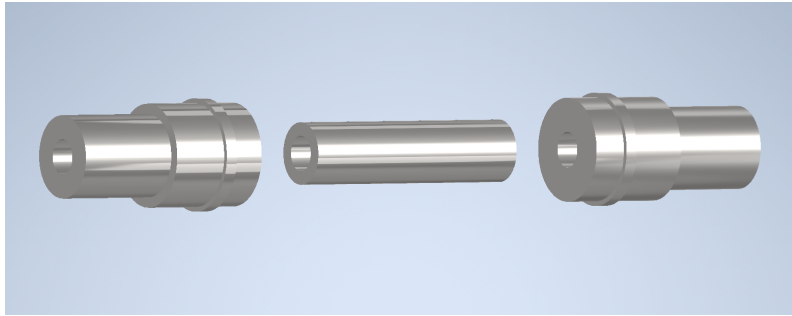
Boggiehjulaxeln är tillverkad i rostfritt stål och används som axel för boggiehjulen. Axlarna modifierades lite gentemot företagets för att den inre skenan ska få fäste på axelns grövre del (där axeln har störst diameter). Axeln är tänkt att hållas på plats med ett krympförband i skenan, se figur nedan.



**Figur 4.19:** Boggiehjulaxel för de 2 yttre hjulparen i både yttre och inre skenan.

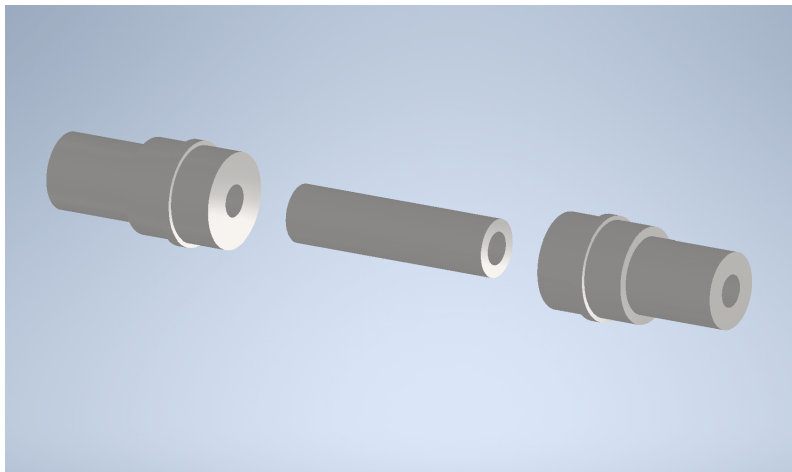
En speciell boggiehjulaxel används för att montera hjulparet på den inre skenan

närmast den yttre i utdraget läge. Detta för att hjulparen ska gå att montera av enkelt för att kunna skjuta in den inre skenan i den yttre. Hjulaxeln fungerar så att den består av 3 delar, två yttre delar där hjulen sitter och en inre som sitter emellan de två yttre inne i skenan. De två yttre delarna ska gå att skruva loss med en skruv som håller fast de yttre delarna på den inre delen. Den har även en ring på varje yttre del för att hjulaxeln inte ska åka ur sin position eftersom den inte är fastsatt med ett krympförband, se figur 4.20 under för denna axel.



**Figur 4.20:** Boggiehjulaxel för inre skena.

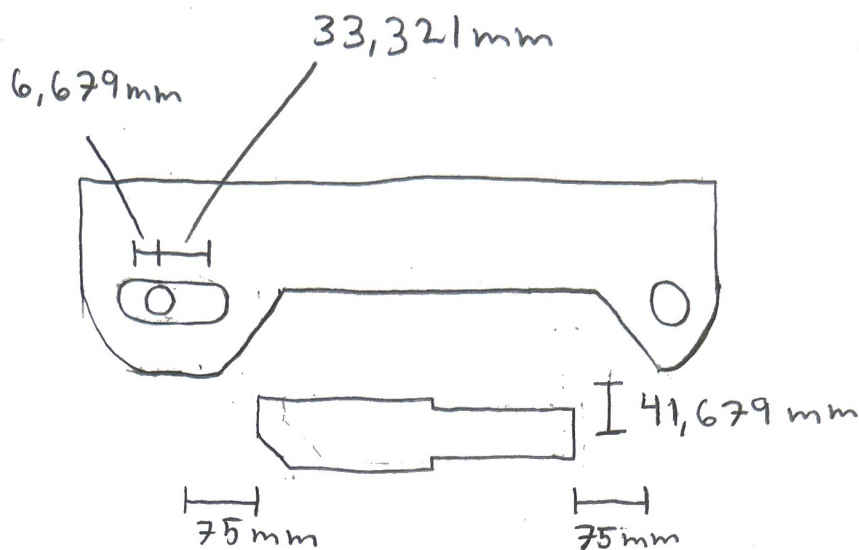
Det finns även en tredje boggiehjulsaxel för den yttre skenan som ser nästan likadan ut som den beskriven ovan. Men ringen sitter 3 mm längre ut på den yttre delen för att passa med den yttre skenan istället för den inre, se figur 4.21 nedan.



**Figur 4.21:** Boggiehjulaxel för yttre skena.

#### 4.4.6 Mattspänning

Mattan är 3450 mm lång, 380 mm bred och är spänd i det utdragna läget. När skenan går över till indraget läget, uppstår ett slack på 150 mm. Detta eftersom den inre skenan flyttas in 150 mm i den yttre skenan. I figur 4.22 demonstreras att 75 mm på både vänster och höger sida av den sammansatta skenan försvinner i indraget läge, det vill säga 150 mm totalt.



**Figur 4.22:** Illustration av mått för mattspänning på tunnel och boggie. Matta visas inte.

Den främre drivhjul saxeln flyttas fram 33,321 mm utav möjliga 40 mm i sitt justerbara fäste. Samtidigt som båda svingarna flyttas in ett fästhål i tunneln och dämparna upp ett hål i svingen, se figur 4.14 på tunneln. Drivhjul saxeln i fronten går att justera 40 mm i horisontellt och detta innebär att mattan går att spänna här 80 mm sammanlagt, se figur 4.15. Varav 67 mm ( $33,321\text{mm} \cdot 2 \approx 67\text{mm}$ ) av dessa 80 mm behöver användas i det indragna läget.

Nu är skenan 41,679 mm längre ner gentemot i utdraget läge, det vill säga att föraren sitter 41,7 mm högre upp ifrån marken genom ovanstående modifikationer, se figur 4,10 och figur 4.11 för skillnaden. Detta resulterar i att mattslacket som uppstått när skenan dragits ihop försvinner. Eftersom mattan spänns både över och under den främre drivaxeln med  $33,321 \cdot 2 = 66,642$  mm, se figur 4.22. Både på höger och vänster sida av skenan vid nedsänkning spänns mattan med  $41,679 \cdot 2 = 83,358$  mm. Detta blir sammanlagt 150 mm vilket eliminerar slacket. Återstående framflyttningsmöjligheter i det justerbara fästet vid drivaxeln är nu 6,679 mm.

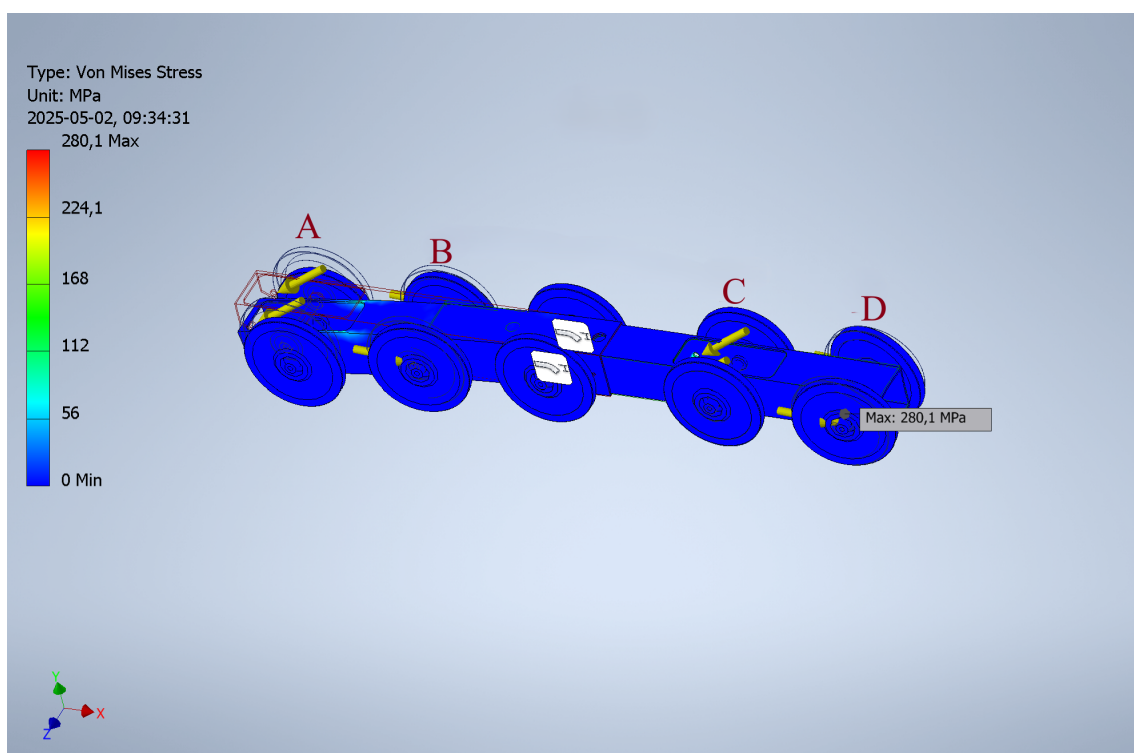
#### 4.4.7 Skenlängdsjustering

För att justera från utdraget till indraget läge flyttas dämparens fästpunkt upp ett steg i dämparfästet på båda svingarna, inklusive hjulen som sitter i samma hål. Svingarna skruvas loss och flyttas in ett hål närmare centrum på tunneln. Boggiehjulparet närmast den yttre skenan på den inre skenan monteras av och hjulparet närmast detta på den yttre skenan monteras av tillfälligt för att den inre skenan ska gå att skjutas in 15 cm in i den yttre. Hjulparet i den yttre skenan sätts sedan tillbaka, återstående hjulpar från inre skena sparas undan. Stolpen med två hjul monteras av tillfälligt och sätts tillbaka när skenorna är i indraget läge. Skruven som håller fast stängen träs igenom den yttre skenans 6 mm hål och sedan igenom det näst översta hålet i stolpen som håller upp mattan. För att få boggien i utdraget

läge görs beskrivningen ovanför men i omvänd ordning. Boggiehjulaxeln till den inre skenan används återigen och skruven ska gå igenom det översta hålet på stolpen för mattan. För att den inre och yttre skenan ska sitta säkert ihop, monteras utöver boggiehjulsaxeln en M15 skruv med bult igenom båda skenorna i ett hål 46mm till vänster om hjulaxelhålet på den yttre skenan. Skillnaden blir 150 mm mellan utdraget och indraget läge.

## 4.5 Kraft och spänningsanalys

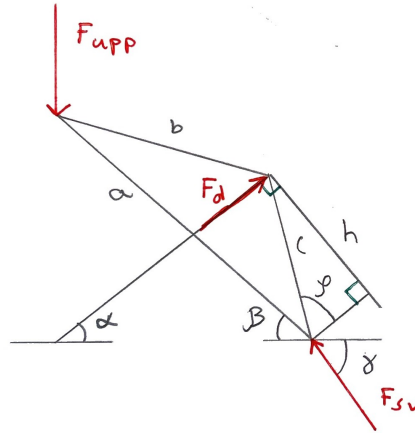
En analys av uppkomna spänningar har utförts i Inventors spänningstest program. Spänningsanalysen utfördes på den justerbara skenan i indraget läge med en total kraft på 10 kN uppifrån fördelat ut på svingen och dämparen. För att sedan angripa skenan ifrån sina riktningar på skenan. Testet visar att von Mises spänningarna högst uppnår 280,1 MPa. Därmed överstiger inte von Mises spänningarna sträckgränsen på 689 MPa som Inventor har som sträckgräns för det rostfria stålet 440C som används i testet. Se figur 4.23 för en analys av det värsta rimliga scenariot som skenan kan utsättas för. Scenariot ska motsvara hur krafterna angriper skenan när skotern exempelvis balanserar på en stock eller sten kring mellersta hjulparet.



**Figur 4.23:** Von Mises spänningar på skenan i indraget läge, spänningarna är förstorade med 100% vilket gör de mer synliga.

Krafterna i kraftparet A och C i figur 4.23 motsvarar dämparnas kraft i stelt läge, det vill säga när dämparen är som en stel stång och kommer snett uppifrån direkt på hålen som en kullagerlast med styrkan 4096 N på vardera hål. Kraftparet B och C har två krafter vardera på 3385 N som kommer snett uppifrån och snett utifrån på boggiehjulaxlarna för att motsvara hur svingen angriper skenan. Sammanlagt är krafterna 10 kN och ska motsvara ett förenklat sett att se om de sammansatta skenorna håller. Lastfallet anbringas i detta fall mitt emellan hålen där svingarna är fästa.

Storleken på krafterna som kommer från dämparna och svingarna på skenan presenteras nedan med beräkningar.



**Figur 4.24:** Geometri för beräkningar av krafter från sving och dämpare.  $F_{sv}$  är normal kraften på denna bild.

Mellan de två innersta hålen på tunnelns respektive långsida antas en kraft  $F_{tunnel} = 10 \text{ kN}$  utsätta tunneln för ett lastfall. Som delas upp jämnt mellan vardera hålpar och blir  $F_{upp} = 5000 \text{ N}$ , detta syns på figur 4.23 ovanför. Detta blir till jämvikten som är uppställd nedan:

$$\alpha = 34,39^\circ, \quad \beta = 34,87^\circ, \quad a = 334,171 \text{ mm}, \quad c = 172,865 \text{ mm}, \quad h = 167,367 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$$(1) \quad \downarrow: F_{upp} - F_d \cdot \sin(\alpha) - F_{sv} \cdot \sin(\gamma) = 0 \quad (4.3)$$

$$(2) \quad \rightarrow: F_d \cdot \cos(\alpha) - F_{sv} \cdot \cos(\gamma) = 0 \quad (4.4)$$

$$(3) \quad \sum M = 0 \text{ i leden vid } \beta \Leftrightarrow -F_{upp} \cdot a \cdot \cos(\beta) + F_d \cdot h = 0 \quad (4.5)$$

$$(3) \Rightarrow F_d = \frac{F_{upp} \cdot a \cdot 10^{-3} \cdot \cos(\beta)}{h \cdot 10^{-3}} = 8190,7139 \approx 8191 \text{ N} \quad (4.6)$$

$$(2) \Rightarrow F_{sv} = \frac{F_d \cdot \cos(\alpha)}{\cos(\gamma)} \text{ in i (1)} \Rightarrow F_{upp} - F_d \cdot \sin(\alpha) - \frac{F_d \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma)}{\cos(\gamma)} = 0 \quad (4.7)$$

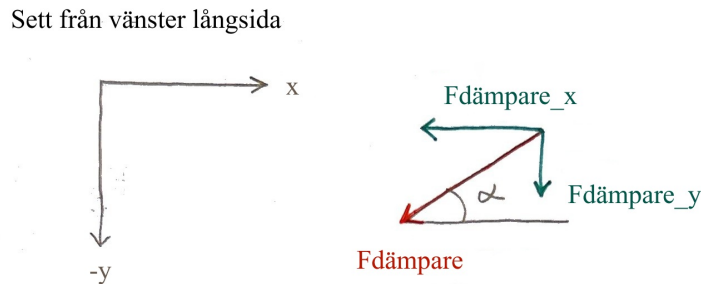
$$\Leftrightarrow F_{upp} - F_d \cdot \sin(\alpha) - F_d \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\gamma) = 0 \Rightarrow \gamma = \tan^{-1}\left(\frac{F_{upp} - F_d \cdot \sin(\alpha)}{F_d \cdot \cos(\alpha)}\right) = 3,165^\circ \quad (4.8)$$

$$(2) \Rightarrow F_{sv} = \frac{F_d \cdot \cos(\alpha)}{\cos(\gamma)} = 6769,4 \approx 6770 \text{ N} \quad (4.9)$$

$$\text{Storleken på krafterna som angriper skenan: } F_d = 8191 \text{ N}, \quad F_{sv} = 6770 \text{ N} \quad (4.10)$$

$$F_{dämpare} = \frac{F_d}{2} = 4096 \text{ N}, \quad F_{sving} = \frac{F_{sv}}{2} = 3385 \text{ N}, \quad \gamma = 3,165^\circ \quad (4.11)$$

Kraftkomponenterna till dämparkrafterna presenteras nedan:



**Figur 4.25:** Dämparens kraftkomponenter sett från boggiens vänster långsida.

$$F_{dämpare_x} \Rightarrow \cos(\alpha) = \frac{F_{dämpare_x}}{F_{dämpare}} \Rightarrow F_{dämpare_x} = F_{dämpare} \cdot \cos(\alpha) = -3380,068 \approx -3380 \text{ N} \quad (4.12)$$

$$F_{dämpare_y} \Rightarrow \sin(\alpha) = \frac{F_{dämpare_y}}{F_{dämpare}} \Rightarrow F_{dämpare_y} = F_{dämpare} \cdot \sin(\alpha) = -2313,5149 \approx -2314 \text{ N} \quad (4.13)$$

Både den högra och vänstra kraften i kraftparen A och C kommer att ha samma kraftkomponenter. Eftersom kraften från dämparen kommer snett ner och sen fördelas ut jämnt på hålen som dämparens fästaxel sitter i. Kraftkomponenterna för dämparkrafterna:

$$F_{dämpare_y} = -2314 \text{ N} \quad F_{dämpare_x} = -3380 \text{ N} \quad (4.14)$$

Här nedan presenteras beräkningarna för kraftkomponenterna tillhörande svingen, räknat utifrån vänster långsida likt dämparen:



**Figur 4.26:** Geometri för svingens kraftkomponenter.

Vinkeln  $\gamma$  visar vilken riktning normalkraften för  $F_{sving}$  utsätter skenan för ett lastfall. Eftersom svingen är symmetrisk, det vill säga att den ser likadan ut på höger och vänster sida. Behövs ingen kraftkomponent för riktningen in mot centrum av svingen.

$$F_{sving_x} \Rightarrow \cos(\gamma) = \frac{F_{sving_x}}{F_{sving}} \Rightarrow F_{sving_x} = F_{sving} \cdot \cos(\gamma) = 3379,836 \approx 3380 \text{ N} \quad (4.15)$$

$$F_{sving_y} \Rightarrow \sin(\gamma) = \frac{F_{sving_y}}{F_{sving}} \Rightarrow F_{sving_y} = F_{sving} \cdot \sin(\gamma) = -186,89 \approx -187 \text{ N} \quad (4.16)$$

$$F_{sving_x} = 3380 \text{ N}, \quad F_{sving_y} = -187 \text{ N} \quad (4.17)$$

Spänningsanalysen utfördes bara i det indragna läget eftersom det utdragna läget motsvarar skenan som företaget har byggt och anses där av hålla. Sammanfattningsvis visar testet på att den ihopsatta skenan håller vid scenariot som beskrevs i början av kapitlet.

## 4.6 Boggiens massa

I boggiens massa ingår vikten för både den inre samt yttre skenan och alla boggiehjulaxlar. Detta för att det är svårt att uppskatta massan på de andra delarna, därför att de är konstruerade av andra personer eller är tänkta att köpas in från en tillverkare. Den inre skenan väger 4,73 kg och yttre skenan 3,908 kg. Boggiehjulaxeln som används för 4 av hjulparen väger 0,363 kg, den monterbara i den yttre skenan 0,335 kg och i den inre skenan 0,344 kg, men denna används bara i utdraget läge. .

Den totala vikten för boggiens konstruktion landar på 69,099 kg i det utdragna läget inklusive matta som väger 19 kg. Boggien i det indragna läget väger 68,755 kg med matta. Detta inkluderar delar som tillhandahållits genom en BOM (Bill of Materials). Se bilaga H för att se individuell vikt på olika komponenter. De komponenter som listas i bilaga H är alla delar som ingår i beräkningen.

Massan på boggien på ELRV 2.0 uppskattas av företaget att ligga mellan 40-45 kg. Detta innebär att massan har ökat vilket betyder att den första frågeställningen angående minskning av boggiens massa inte uppfyllts.

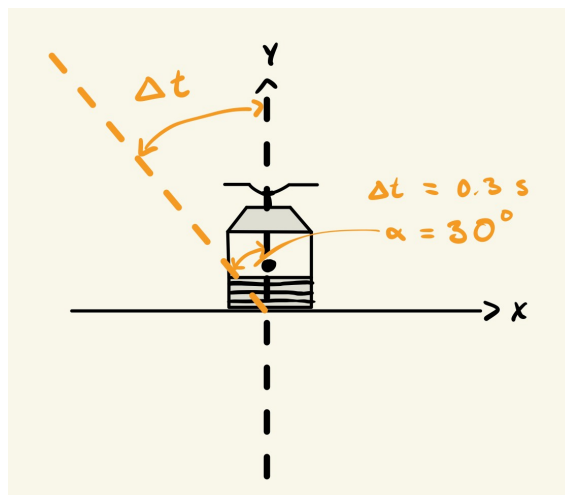
## 4.7 Rampning/moment reglering på motorn

I situationer där föraren svänger hastigt i höga hastigheter kan momentet på motorn regleras för att hjälpa föraren att köra skotern på ett säkert sätt. För att förebygga en olycka vid en skarp sväng i hög hastighet kommer IMU:n användas för att känna av en kraftig förändring i lutning.

Accelerometern och gyroskopet i IMU:n samarbetar för att känna av när en sådan situation uppstår. För att föraren ska ha fortsatt kontroll över skoterns framfart. Ska ingen reglering av momentet ske någon annanstans än vid snabb sväng eller lutning av skotern nära maxhastigheten på 50 km/h. Detta eftersom föraren inte

ska känna sig begränsad under körning av IMU:n.

Parametrarna som styr när en reglering ska ske är avvikelse med en vinkel på 30 grader från upprätt läge. Dessutom mäts tiden då det sker. Understiger tiden 0,3 sekunder kommer IMU:n att agera. Om en vinkelförändring sker långsammare än 0,3 sekunder kommer IMU:n förbli inaktiv och därmed inte påverka körningen. Reglering kommer endast ske i specialfall för att inte störa eller påverka körförmågan. Se figur 4.27 för en demonstration över vinkel och tidsförändring.



**Figur 4.27:** Skotern centrerad vid Y-axeln med vinkel- och hastighetsförändring vid orange-streckad linje.

Beroende på tillämpning av IMU. Kan signaler från IMU:n skickas till motorns inverter, antingen via CAN (Controller Area Network) protokoll eller via en mikrokontroller, till exempel en Arduino. Detta beror på vilken typ av IMU som ska användas. Då detta enbart är en utvärdering har ingen närmare undersökning på IMU typ genomförts.

## 4.8 Verifiering av att manövrerbarheten har ökat

Vid testkörning av företagets nya modell av skotern uppnås inte en tillräcklig carvingform i snön. Detta på grund av att mattan är för styv. Testet utfördes genom att föraren försökte svänga när han körde skotern på hård snö i Skidome, Göteborg. Det visade att skotern inte betedde sig som förväntat.

För att verifiera att det blir enklare att svänga med en kortare skena användes formel (2.2) för att beräkna momentet som krävs för att snurra skotern runt skotermattans geometriska mittpunkt på den del som ligger mot snön. Nedan visas beräkningarna med formeln:

$$\text{Lastfall: } W = m \cdot g = 250 \text{ kg} \cdot 9,81 = 2452,5 \text{ N}$$

$$\text{Friktion i snö: } \mu_t = 0,2 \text{ [14]}$$

Kontaktlängd på det bromsade bandet:  $l_{indraget} = 950 \text{ mm}$  mellan de yttre hjulen i indraget läge och  $l_{utdraget} = 1100 \text{ mm}$  i utdraget läge.

$$M_t = \frac{\mu_t \cdot W \cdot l}{4} \quad (4.18)$$

$$M_{t_{indraget}} = \frac{0,2 \cdot 2452,5 \cdot 950 \cdot 10^{-3}}{4} = 116,49 \approx 116,5 \text{ Nm} \quad (4.19)$$

$$M_{t_{utdraget}} = \frac{0,2 \cdot 2452,5 \cdot 1100 \cdot 10^{-3}}{4} \approx 134,9 \text{ Nm} \quad (4.20)$$

$$1 - \frac{M_{t_{indraget}}}{M_{t_{utdraget}}} = 1 - \frac{116,5}{134,9} \approx 0,136 \Rightarrow 13,6\% \quad (4.21)$$

Beräkningarna ovanför ska bevisa att i indraget läge minskar momentet som krävs för att utföra en sväng med ett stillastående larvband med 13,6% jämfört med i utdraget läge. Denna beräkning gäller skotern i stillastående läge.

Om skenan skulle vara ännu kortare i indraget läge gentemot utdraget skulle momentet som krävs för att svänga skotern runt sin geometriska mittpunkt minska mer. Exempelvis om skenan är 1/3 kortare likt Itos undersökning, 367 mm kortare istället för 150 mm.

Momentet blir då  $M = \frac{0,2 \cdot 2452,5 \cdot 733 \cdot 10^{-3}}{4} \approx 89,9 \text{ Nm}$  och därmed krävs 33% mindre moment för att svänga i indraget läge, jämfört med i utdraget läge. Dock är Itos undersökning gjord på ett risfält med ett annat underlag än snö och detta gör att momentet blir 33% istället för 20% som Ito fick. Dock skulle detta göra att mattslack uppstår. Skotern skulle behöva vara ännu högre för att motverka slacket därför att skenan kommer behöva sänkas ner mer.



# 5

## Diskussion

I startskedet av arbetet när brainstorming genomförts och det var dags att försöka skapa våra idéer var det självklart att använda sig av produktutvecklingsmatriser. Detta för att bryta ner varje koncept i detalj och sedan rättvist bedöma vilket som verkade bäst i praktiken. En risk med att inte använda sig av matriser är att personliga preferenser kan ta över och därmed påverka resultatet.

Resultatet från matriserna påvisade att konceptet carvingformad matta var den bästa lösningen. Den första frågeställningen, som frågar om manövrerbarheten har ökat genom att den är mer lättstyrd kan ses som avklarad. Detta tack vare implementering av en singel rullskena istället för en klassisk utformning med två glidskenor. Enligt våra och företagets teorier och förhoppningar skulle detta innebära en stark förbättring för manövrerbarheten. Efter att företaget parallellt byggt upp en liknande version som vårt resultat kan carvingtillståndet därmed verifieras när de testar sin version. Vi såg även detta som ett bevis på att carvingformad matta var en bra ide. I jämförelse med traditionella snöskotrar som också använder sig av en singelskena där de säger att en sådan lösning ökar skoterns framförande i olika typer av snö. Så beroende på ändamålet, kan en lösning med singelskena förespråkas om ändamålet är att öka manövrerbarheten. Även i jämförelse med traditionella snöskotrar (Arctic Cat Alpha one) som också använder sig av en singelskena, marknadsför de att en singelskena ökar skoterns styrförmåga i olika typer av snö tack vare att carving effekten uppnås.

För att öka styrförmågan ännu mer på hårt underlag föreslogs iden att göra kontaktytan mot snön mindre vid behov. Genom att då ha en justerbar skena kan man minska skoterns kontaktyta om den ska framföras på hård snö och öka kontaktytan om lössnö står på agendan. Dock tror vi att utdraget läge är att föredra i lössnö för att skoterns vikt kan då fördelas över en större area. Men med dessa två förändringar på skotern anser vi att frågeställningen angående skoterns manövrerbarhet ha uppnåtts och detta med verifieringen i resultat.

Den andra frågeställningen där minskning av vikt önskats, har inte uppnåtts. Detta eftersom vi behövde ta hänsyn till att arbeta efter de förutsättningar som uppdragsgivaren gett oss. Hade vi haft friare tyglar och mer tid till förfogande hade boggien kunnat få en lägre vikt genom analys av material där dyrare material som kolfiber eller andra lättviktsmaterial skulle kunna ha använts. Utifrån våra förutsättningar prioriterades ökad manövrerbarhet framför viktminskning. Nackdelen med detta är att skotern antagligen kommer ha en kortare räckvidd, eftersom motorn kommer att

behöva arbeta hårdare med en tyngre skoter i jämförelse med en lättare skoter.

Det slutgiltiga konceptet bedöms däremot inte ha någon större förändring i vikt och bör ligga nära den vikt som företagets nya modell har. Den tredje och sista frågeställningen involverar reglering av motorns moment. Eftersom det enbart var en utvärdering av möjliga alternativ är det svårt att svara på om det faktiskt ökar manövrerbarheten. Resultatet av utvärderingen tror vi skulle kunna öka säkerheten i kurvor. Det finns dock inget som tyder på att olyckor är ett frekvent förekommande problem. Utan användningen skulle snarare vara en möjlighet för att förhindra olyckor. I och med att skotern styrs med skidor på förarens fötter anser vi att föraren sällan kommer framföra skotern utöver sin förmåga. För att göra en bättre implementering behöver en djupare analys göras för att identifiera optimala områden där ett införande av IMU gör störst skillnad. Det skulle kunna vara ett examensarbete i sig självt.

Resultatet och arbetets begränsningar kan ses främst i konceptutvecklingsfasen. Arbetet gällande matriserna fokuserade på att identifiera delösningsalternativ till de kriterier som satts upp. För att förbättra den processen bör någon slags matrisvärdering genomföras efter valt koncept. Det kan finnas en mängd olika lösningar till de delfunktioner som valts. I arbetet har ingen tid lagts på att jämföra olika typer av lösningar till dessa funktioner. Till exempel så kanske det finns andra sätt att uppnå ett carvingtillstånd än att använda en singelskena och en böjbar matta. Det kan också finnas andra lösningar på utformning av dämpning och bärande delar som tunneln. Detta kan jämföras i samma process som vi använt oss av, men med fokus på lösningsalternativ. Detta har inte varit möjligt eftersom det varit begränsat med tid. Det har resulterat i en boggie som går att implementera relativt enkelt till företagets nya koncept som delar flertalet komponenter samt mått.

Givet förutsättningar och förväntningar är resultatet tillfredsställande. Arbetsgången gav konsekventa resultat som uppfyllde de förväntningar som fanns vid arbetets start. Som tidigare diskuterats kan förbättringar göras gällande vidare arbete med produktutvecklingsmatriser. Detta kan påverka resultatet i andra sammanhang.

# 6

## Slutsats

Arbetet har gått ut på att göra ELRV 2.0 mer manövrerbar i både lös och hård snö. Manövrerbarheten hade inte ökat vid testkörning med singel rullskena, detta för att mattan var för styv. Med en singelskena bör mattan gå att böjas likt ett timglas eftersom att snöskotern Arctic cat har en liknande funktion och därmed blir lättare att svänga med. Byte av mattsort till en mjukare variant är väsentligt för att uppnå carvingform på mattan.

Med en justerbar skena justerad till indraget läge kommer manövrerbarheten att öka med 13,6% därför att kontaktytan är mindre. I utdraget läge blir manövrerbarheten sämre i packad snö. Men vid körning i lössnö är fördelen med att ha större kontaktyta att skotern inte sjunker ner lika lätt. Detta eftersom att skoterns massa fördelas över en större area. Värt att nämna är att ELRV 2.0 är svårast att styra på packad snö.

Eftersom snöskotern inte ska sjunka ner i snön är massan på skotern viktig att hållas låg. Skenorna och boggiehjulsaxlarna har tillsammans vikten 10,769 kg i utdraget läge och 10,425 kg i indraget läge. Den totala vikten på boggien är 50,3 kg i indraget läge och 49,96 kg i indraget läge. Med dessa vikter blev boggien tyngre än vad som var tänkt.

En spänningsanalys gjordes för att se om skenorna tillsammans håller för en uppskattad last på 10 kN mitt emellan svingarna i indraget läge. Analysen visade att skenorna gör det.

Reglering av motorns moment kan ske med hjälp av en IMU. Detta ska finnas till som ett hjälpmedel vid hastiga svängar i hög hastighet för att förhindra eventuella olyckor. Parametrarna som definierar när en signal ska skickas till motorn är tidsförändring och vinkelförändring. Resultatet bedöms därför till att en potentiell lösning för att främja säker drift av skotern tar hjälp av en IMU. Där det samtidigt finns utrymme för andra lämpliga användningsområden med en IMU.

Framtida arbeten för detta projekt är att eventuellt bygga och testa boggien på skotern för att se den justerbara funktionen fungera i praktiken och inte bara i teorin. Justerbarheten skulle kunna förbättras genom att använda en motor av något slag för att kunna justera skenans längd med ett knapptryck. Dock skulle detta medfölja att fästet för dämparen och tunneln kommer att behöva modifieras. För att inga skruvar eller andra delar skall behövas monteras av och på manuellt.



# Litteraturförteckning

- [1] ELRV, "ELRV 2.0 - Proof of Concept", [Online]. Tillgänglig: <https://elrv.se/> (hämtad: 2025-05-02).
- [2] z. Bi, X. Wang, "Computers in manufacturing," i *"Computer Aided Design and Manufacturing"*, John Wiley & sons Ltd and ASME Press, Kap. 1, ss 18. [Online] <https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/publication-results?id=1789846&limiters=FT1>
- [3] Jansson, P-Å., Grahn, R., Enelund, M., *Mekanik*, 4:e upplagan, 2018.
- [4] Clough, R.W., "Original formulation of the finite element method", *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 7, no. 2, pp 89-101, November 1990.
- [5] Simscale, "What is Von Mises Stress in FEA?", 11 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>, Hämtad: 2025-05-02.
- [6] Nationalencyklopedin, "Plasticitetsteori", [Online]. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/plasticitetsteori>, Hämtad: 2025-05-05.
- [7] T. English, "A Look at the History of Inventor Through the Eyes of Jay Tedeschi", *Autodesk*, [Online]. Jan 2017. Tillgänglig: <https://blogs.autodesk.com/inventor/look-history-inventor-eyes-jay-tedeschi/> (hämtad: 2025-05-02).
- [8] Autodesk, "About Part Modeling", [Online]. Tillgänglig: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2025/ENU/?guid=GUID-16DF561D-C44E-438D-B6F4-41AA8D81C0B1> (hämtad: 2025-05-02).
- [9] Autodesk, "Assembly Modeling Fundamentals", [Online]. Tillgänglig: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2025/ENU/?guid=GUID-5A8DD595-7BD4-4B15-A48B-32AC0245FBB0> (hämtad: 2025-05-02).
- [10] Sledstore, "Sno-X Boggiehjul pos.1", [Online]. [https://www.sledstore.se/product/sno-x-boggiehjul-pos-1\\_pid-84-0634-20?v=16146](https://www.sledstore.se/product/sno-x-boggiehjul-pos-1_pid-84-0634-20?v=16146) . Hämtad: 2025-05-07.
- [11] Epson, "What are IMUs? Explanation of meaning and definition, what is measured and how it works", [Online]. Tillgänglig: [https://global.epson.com/products/\\_and\\_drivers/sensing\\_system/what\\_are\\_imus/](https://global.epson.com/products/_and_drivers/sensing_system/what_are_imus/). Hämtad: 2025-05-02.
- [12] N. Ito , "Practical Method of Reducing Turning Motion of Tracked Vehicles". *Journal of Terramechanics*, vol 24, no 4, pp 251 - 261, 1987. doi: 10.1016/0022-4898(87)90009-7
- [13] Artic Cat, "Alpha One". [Online]. <https://arcticcat.txtsv.com/snow/alpha-one> . Hämtad: 2025-05-06.

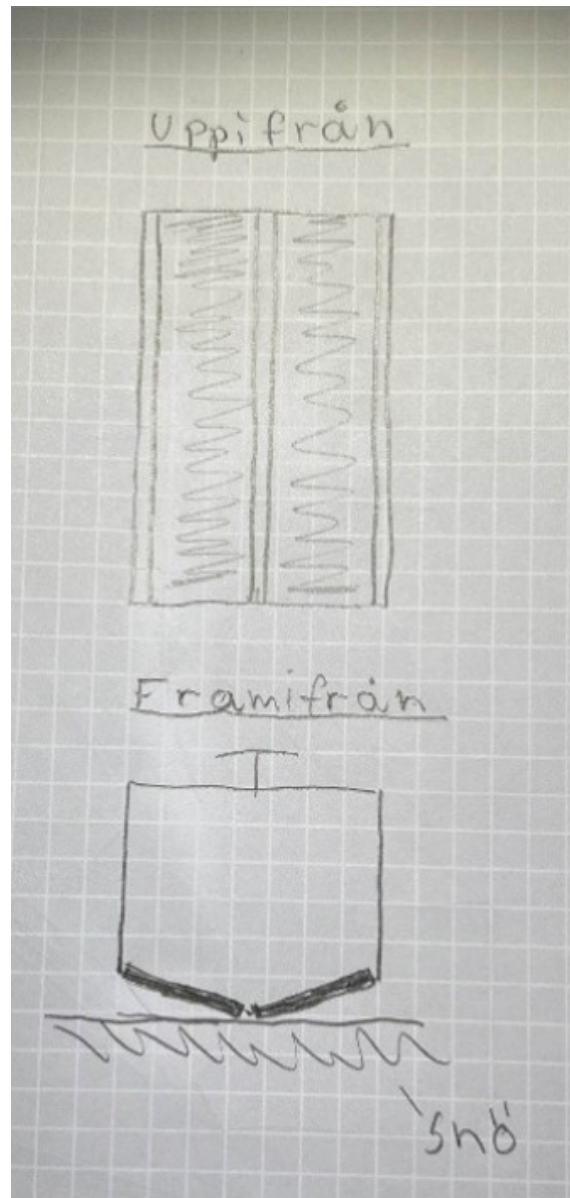
- [14] A. Klein-Paste, N.K. Sinha, "Comparison between rubber–ice and sand–ice friction and the effect of loose snow contamination", *Elsevier*, Vol. 43, ss. 1145-1150, dec. 2009, doi: 10.1016/j.triboint.2009.12.037



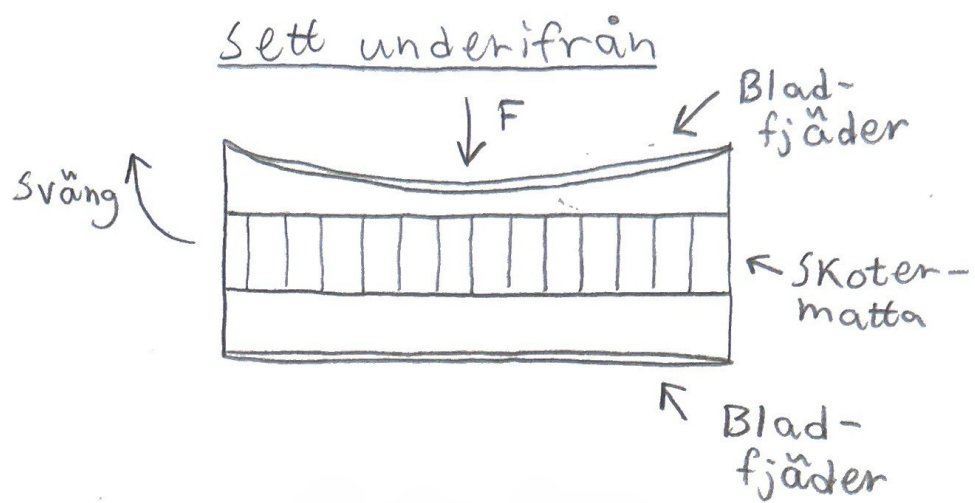




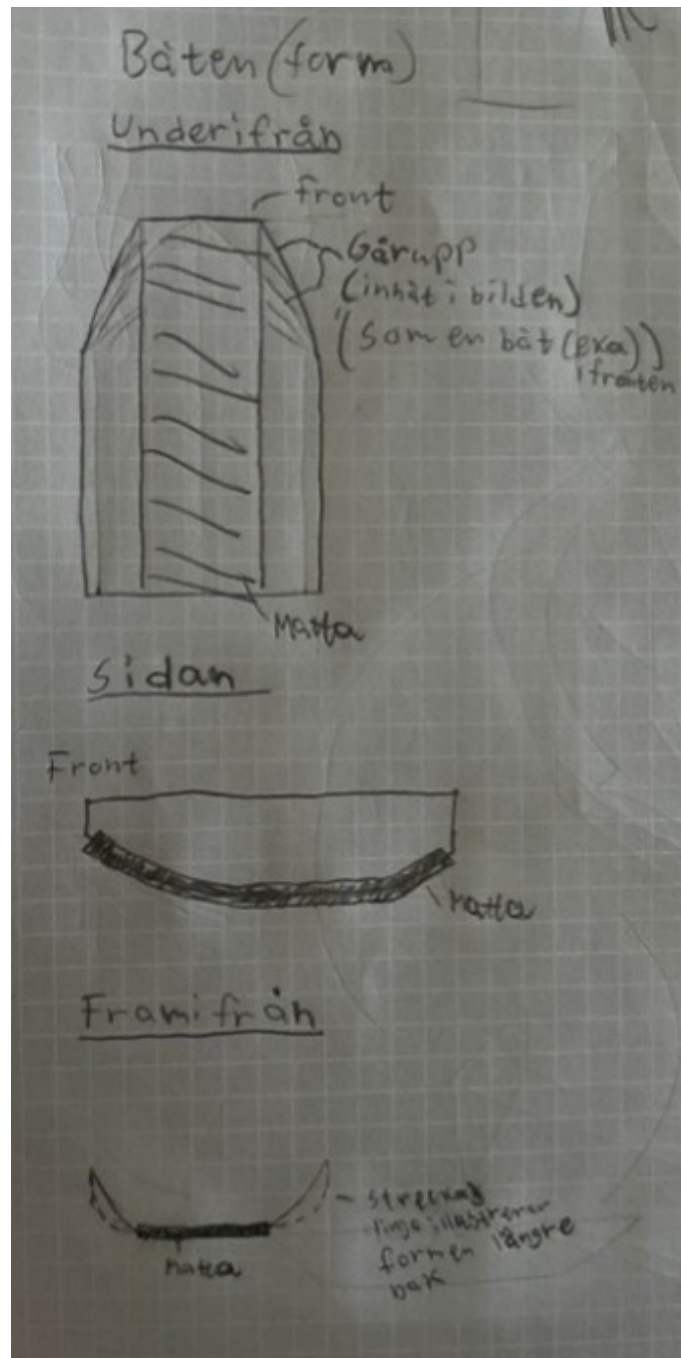
## Bilaga B - Två mattor



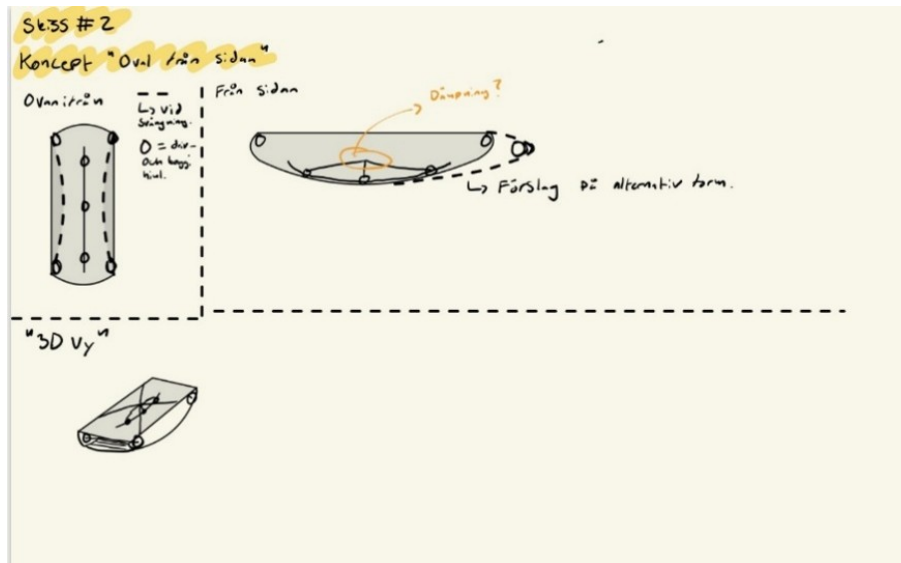
## Bilaga C - Carving med bladfjäder



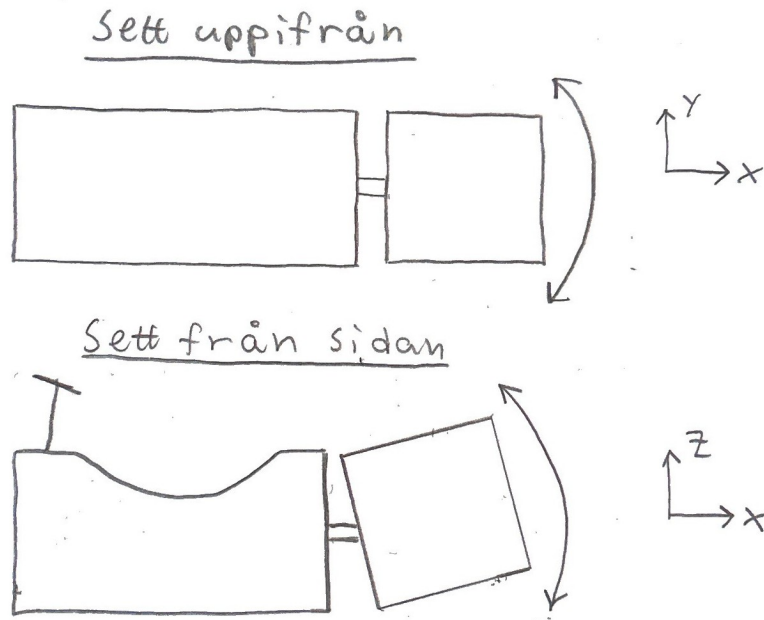
## Bilaga D - Båtform



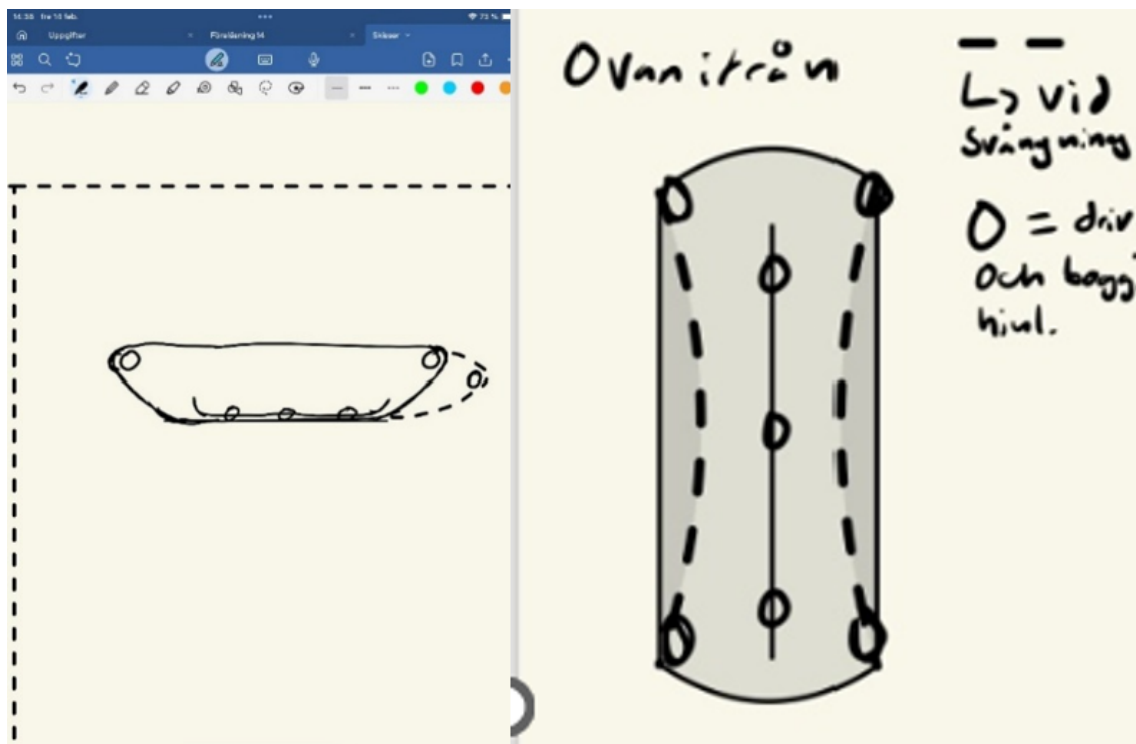
## Bilaga E - Oval från sidan



## Bilaga F - Ledad



## Bilaga G - Carvingformad matta



## Bilaga H - Tabell över massa för komponenter

Part	Massa (kg)		Massa (kg)
Matta	19		
<b>Främre Drivaxel</b>			
Axel Främre	1,95		
Drivhjul	1,4		
Lager	0,3	<b>Totalt:</b>	
Mattspänning	0,2	<b>Indraget läge</b>	68,755
Lagerhus	0,75	<b>Utdraget läge</b>	69,099
Fästelement	0,2		
<b>Bakre drivaxel</b>		<b>Total utan matta:</b>	
Axel Bakre	2,33	<b>Indraget läge</b>	49,755
Drivhjul	1,4	<b>Utdraget läge</b>	50,099
Lager	0,3		
Lagerhus	0,65		
Fästelement	0,2		
<b>Boggieskena/enhet</b>			
Dämpare	3,5		
Sving	5,6		
Kopparbussning	0,1		
Stålhylsa	0,2		
Hållare skena/sving	0,1		
Stag/axel infästning dämp	2		
Övre boggiehjul	0,4		
Vändhjul	0,65		
Distanser vändhjul	0,2		
Nedre boggiehjul	1,2		
Distanser boggiehjul	0,2		
<b>Chassi/tunnel</b>			
Tunnel / Main frame	15,5		
<b>Egna delar</b>			
Inre skena	4,73		
Yttreskena	3,908		
Standrad boggie axel	4 *0,363		
Inreskena boggie axel	0,344	(används bara i utdraget läge)	
Yttresken boggie axel	0,335	(används i båda lägena)	

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**