



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

# Moderniserad Design av Klassisk Springergaffel

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik



John Lund

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige, 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

Examensarbete 2024

Moderniserad Design av Klassisk Springergaffel  
Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik

John Lund



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2024

Moderniserad Design av Klassisk Springergaffel  
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik  
John Lund

© John Lund

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige

Omslag: *Rendering av CAD modell av moderniserad springerframgaffel*  
Institutionen för Mekanik och Maritima Vetenskaper  
Göteborg, Sverige, 2024

## Sammandrag

Springerframgaffeln är en beprövad framgaffeldesign som är mycket populär att förlänga inom motorcykelcustomkulturen, vilket ofrånkomligen innebär högre belastning och ofta sämre köregenskaper. Denna rapport presenterar arbetet att designa och tillverka en förbättrad design av en förlängd springerframgaffel. Målet är att undersöka hur en förlängd springerframgaffel avsedd för en choppermotorcykel skall designas för att bibehålla liknande köregenskaper och hållfasthetsprestanda som en original Harley Davidson 1936 EL "Knucklehead" springerframgaffel.

Genom att förlänga framgaffeln introduceras större belastningar på grund av den ökade hävarmen från framhjulet, vilket leder till en kraftigare böjmoment i framgaffeln. För att hantera dessa belastningar föreslås en design med stegvis övergång från tjockare till tunnare materialtjocklek i gaffelbenen, samt högkvalitativt material med hög brottgräns. För att upprätthålla korrekt fjädringsfunktion i den förlängda framgaffeln krävs att rockers har samma längd som för Harley Davidson original. Vidare för att få korrekt styrgeometri bör ett verkligt försprång på cirka 120 mm erhållas genom rake i styrröret eller offset i styrrören. Simuleringsresultat visar att den föreslagna designen presterar väsentligt bättre än den vanligaste typen av förlängda springerframgafflar och även bättre än Harley Davidson's original design. En prototyp av den förlängda framgaffeln har utvecklats och tillverkats för att möta dessa krav, med hjälp av FEM-beräkningar och CAD-design. Rapporten visar hur denna design presterar något bättre än en original Harley Davidson springer framgaffel, och framförallt hur den väsentligt överträffar den vanligaste typen av förlängd springerframgaffel.

## Abstract

The Springer front fork is a proven front fork design that is very popular to extend in the motorcycle custom culture, which inevitably means higher loads and often poorer handling. This report presents the work to design and manufacture an improved design of an extended springer front fork. The aim is to investigate how to design an extended springer front fork for a chopper motorcycle to maintain similar handling and structural performance as the original Harley Davidson 1936 EL 'Knucklehead' springer front fork.

By lengthening the front fork, greater loads are introduced due to the increased leverage from the forces at the front wheel, leading to a more severe bending moment in the front fork. To handle these loads, a design with a stepwise transition from thicker to thinner tube thickness in the fork legs is proposed, as well as high quality material with high tensile strength. To maintain correct suspension function in the extended front fork, it is required that the rockers have the same length as for the Harley Davidson original ones. Furthermore, in order to obtain correct steering geometry, a true trail of about 120 mm should be obtained by rake in the steerer tube or offset in the fork tubes. Simulation results show that the proposed design performs significantly better than the most common type of extended springer front forks and also better than Harley Davidson's original design. A prototype of the extended front fork has been developed and manufactured to meet these requirements, using FEM calculations and CAD design. The report shows how this design performs slightly better than an original Harley Davidson springer front fork, and in particular how it significantly outperforms the most common type of extended springer front fork.

## Förord

Arbetet som presenteras i denna rapport är examensarbetet för min maskiningenjörsexamen. En motiverande och tilltalande tanke bakom arbetet var att kombinera mitt praktiska kunnande och erfarenheter från att arbetat till sjöss i över ett decennium samt mitt brinnande motorcykelintresse med de kunskaper jag fått under maskinteknikutbildningen. Med andra ord, att ta ett projekt från ett idéstadium, genom ett utförligt designarbete mot en tillverkad slutprodukt.

Jag vill ta detta tillfälle i akt och rikta ett stort tack till mina handledare Björn Andersson och Peter Bäckgren, och min examinator Jim Brouzoulis för all hjälp och vägledning under arbetets gång. Jag skulle även vilja tacka Anders Karlsson för att ha låtit mig använda ACE maskinverkstad och Ringö-Martin för hjälpen med fräsningen.

# Innehållsförteckning

<b>Introduktion</b> .....	<b>1</b>
Bakgrund.....	1
Syfte.....	3
Mål.....	3
Avgränsningar.....	3
<b>Metod</b> .....	<b>5</b>
Förstudie.....	5
Designundersökning.....	5
Konstruktion.....	5
Prototyp tillverkning.....	6
<b>Genomförande</b> .....	<b>7</b>
Teori.....	7
Springerframgaffel.....	7
Tvåhjulsdynamik.....	8
Design.....	9
SFG1 – Harley Davidson original.....	10
SFG2 – Förlängd original.....	10
SFG3 – Förbättrad förlängd design.....	11
Dimensionering.....	12
Lastfall och designkriterier.....	12
Beräkningsmodell.....	13
Simuleringsresultat.....	15
Konstruktion.....	21
Detalj lösningar.....	21
Konstruktionsritningar.....	26
Prototyp tillverkning.....	28
Tillverkning.....	28
Assemblering.....	30
<b>Slutsats och sammanfattning</b> .....	<b>31</b>

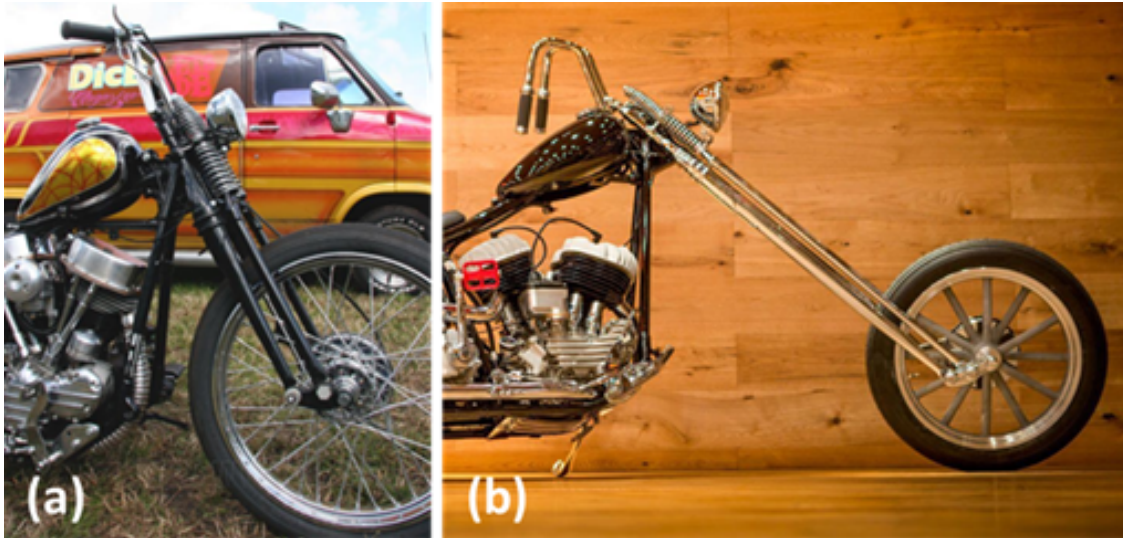
# Introduktion

## Bakgrund

Den första motorcykeln med förbränningsmotor ritades och konstruerades redan år 1885 av Daimler-Maybach och gavs namnet Daimler Reitwagen (Wikipedia, 2024). Denna tidiga motorcykel var gjord i trä och saknade helt fjädring. Dess framgaffel var av enklast möjliga modell, lodrätt monterad utan vare sig komfort eller köregenskaper i åtanke. I takt med förbättringar av både förbränningsmotorer och fordonschassin har motorcykelframgafflar utvecklats avsevärt för att uppnå bättre köregenskaper, strukturell prestanda och komfort. Tidiga varianter av fjädrade framgafflar var ofta så kallade web- och springerframgafflar (SFG's). En web-gaffel är en fjädrande "parallellänk", det vill säga ett fjädrat fackverk, likt länkar i framvagnen på fyrhjuliga fordon. En SFG är en konstruktion med en fjädrande bottenlänk. Motorcyklar utrustade med web-gafflar slutade produceras på 40-talet och med SFG på 60-talet. Dessa ersattes med den idag vanligaste typen av framgaffel, teleskopgaffeln. Denna framgaffel där ett inre och yttre rör glider i varandra, som fjädras och dämpas med inre spiralfjädrar i olja. Trots modernare alternativ återintroducerades SFGn i början av 90-talet i Harley Davidson modellprogram. Då som en viktig designdetalj för en klassiskt nischad modell. (Limebeer & Sharp, 2006)

När gemene man började använda sig av motorcyklar som transportmedel kom i ett tidigt skede också ett intresse för att modifiera och förbättra motorcyklarna för att göra dem snabbare och lättare. I 40-talets USA började motorcykelentusiaster skruva av så mycket delar som möjligt dels för att öka prestandan men också för att få ett mer minimalistisk utseende, en s.k. bobbermotorcykel. Intresset för att modifiera sin motorcykel växte under den senare delen av 50-talet då det blev populärt att kraftigt och markant bygga om sin motorcykel för att ge den ett eget utseende och sin egen prägel. I dessa modifikationer var det vanligt att kapa och svetsa i ramen för att få en längre, högre eller lägre motorcykel. Denna typ av kraftigt modifierade motorcyklar kallas chopper, från engelskans *chop* (kapa). En av de mest kännetecknande modifikationerna hos en chopper är en förlängd framgaffel. Detta kan åstadkommas genom att montera en framgaffel från en annan motorcykelmodell, modifiera motorcykelns originalframgaffel, eller specialtillverka en framgaffel för den modifierade ramen.

De vanligast förekommande modifierade SFG's är förlängda varianter av en framgaffel som Harley Davidson lanserade på modell EL 1936, se Figur 1a. Ursprungligen förlängdes dessa genom att använda länkar från framvagnen på en Ford model A, se Figur 1b.



Figur 1: a) Harley Davidsson original SFG (W&W Cycles, 2024). b) typiskt exempel på förlängd SFG (W&W Cycles, 2024).

Modifikationen skede genom att kapa av originalgaffeln och svetsa fast de längre fordlänkarmarna. SFGn blir då betydligt längre vilket är fördelaktigt för chopperestetiken, men modifikationen medför flera stora nackdelar. Däribland att den strukturella belastningen ökar i och med att kraften från framhjulet får en längre hävarm, samt att en potentiellt kritisk svetsfog introduceras där belastningen i framgaffeln är som störst. Även köregenskaperna försämras i och med att motorcykelns styrgeometri nu ger en självstabiliserande effekt så stark att motorcykelns kurvtagningsförmåga skadas. I dagligt tal benämns detta med att motorcykeln blir "tung-" eller "trögstyrd". Även fjädringsfunktionen i framgaffeln försämras då framgaffelns flackare lutning gör att krafterna som fjädringen utsätts för nu avviker väsentligt från de fjädringen ursprungligen designats för. Sammantaget leder detta till att det är vanligt förekommande att choppers har kraftigt försämrade köregenskaper och även stor risk att dessa förlängda framgafflar havererar. Figur 2 visar ett exempel på en SFG som brustit i svetsfogen där de förlängda gaffelbenen svetsats samman.



Figur 2: Havererad SFG (The Eazy Company, 2022)

## Syfte

Det primära syftet för denna studie är att undersöka huruvida det är möjligt att designa en kraftigt förlängd SFG med klassisk chopperestetik som bibehåller köregenskaper och hållfasthet likvärdigt en original, icke-förlängd SFG. Svenska Transportstyrelsen tillåter registrering av amatörbyggda motorcyklar, där ibland motorcyklar av choppermodell, att registreras för att framföras i trafik. Riktlinjer för hur en kraftigt förlängd SFG bör utformas kan därför avsevärt förbättra trafiksäkerheten för framtida chopperbyggen.

## Mål

Målet med detta examensarbete är att designa och tillverka en lång SFG med goda köregenskaper och god hållfasthet. Designen sker utifrån givna parametrar från en existerande customtillverkad motorcykelram som SFGn skall monteras i. Genom analytiska och numeriska beräkningar skall designen på framgaffeln jämföras mot två referenser: en konventionell (icke-förlängd original) samt den enklaste versionen av förlängd SFG. Målsättningen är att framgaffeln designas och tillverkas i detta examensarbete skall ha betydligt bättre prestanda än den enklaste typen av förlängd SFG, allra helst prestanda likvärdig en konventionell original Harley Davidson SFG.

Harley Davidsons 1930-tals design av SFG har använts i närmare ett århundrade och har i originalutförande bevisligen tillräckligt god funktion och prestanda. Detta är något som förlängda original SFGar ofta saknar. Därav frågeställningen, hur bör en förlängd SFG utformas för att få hållfasthet och kördynamik likvärdigt en icke-förlängd original SFG?

## Avgränsningar

Framgaffeln som byggs och designas i detta examensarbete är avsedd att fungera för endast en befintlig ram, se Figur 3, som används i författarens pågående chopperbygge. Denna ram är i grunden byggd som den ram Harley Davidson introducerade 1936 och som tillverkades från 30 till 50-talet, se Figur 4, men med en modifierad geometri. Det som skiljer från original utförandet är vinkeln och position på styrhuvudet. Vinkeln på styrhuvudet har ökats från 30 till 36 grader och dess position har flyttats uppåt och framåt 114 mm respektive 69 mm.

Dimensionering av framgaffeln sker endast statiskt, därmed tas inga dynamiska eller utmattningsslaster i beaktning. Detta främst på grund av att tillförlitlig lastdata för denna typ av motorcykel ej är tillgänglig. Vid dimensionering av SFGn anses motorcykelns chassikomponenter vara stelkroppar, däribland ram och motorcykelns hjul. Detta antagande anses konservativt med avseende på dimensionering av SFGn då eventuell deformation i ram ger SFGn en mindre styv inspänning.

Lastfallskombinationer kommer inte att avhandlas. Kördynamisk analys beaktas endast genom geometriska parametrar såsom försprångets längd (engelska caster trail, en styrande parameter för tvåhjuliga fordons stabilitet). Optimala dimensioner och design kommer att vägas mot tillverkningsbarhet med befintlig maskinpark samt tillgängligt tillverkningsmaterial (materialkvalité och dimensioner).

Förspänning av fjädrar i SFG's fjäderpaket kommer inte att beaktas. Evaluering av fjädring-funktion görs utifrån kvantitativ jämförelse mellan beräkningsmodeller, där beräkningsmodell för original SFG utgör referens.



*Figur 3: Custom chopperram till vilken en förlängd SFG skall designas*



*Figur 4: Original Harley Davidson El ram, vilken leverades med SFG (Calles Chopperdelar, 2024).*

# Metod

## Förstudie

Under uppstart- och planeringsfasen av arbetet genomförs en enklare litteraturstudie i syfte att ta fram det teoretiska och tekniska underlag som kommer krävas i jämförelsen av olika SFG-designer och utvecklingen av den slutgiltiga designen. Denna förstudie avser att kartlägga de för projektet mest relevanta begrepp och principer, samt att även identifiera lämpliga värden på designparametrar.

## Designundersökning

Designarbetet utgår från befintlig customram, se Figur 2. En jämförelse kommer att göras mellan tre varianter av SFG; 1) original, 2) förlängd original och 3) förbättrad SFG, nedan benämns dessa SFG1, SFG2 och SFG3. Jämförelsen avser hållfasthet, fjädringsfunktion och kördynamik, där målet är att den förbättrade designen av SFG3 skall i största möjliga mån skall prestera likvärdigt med Harley Davidsons ursprungliga SFG1.

Första steget i arbetet innefattar att skapa CAD-modeller av de tre SFG varianterna. Utifrån dessa jämförs och fastställs geometriska designparametrar för köregenskaper och fjädringsfunktion för SFG3. Därefter skall de tre varianterna analyseras med hjälp av Finita element metoden (FEM). Simuleringsresultat från SFG1 och SFG2 kommer utgöra mål- och referensvärde för den förbättrade designen av SFG3. Dimensionerande lastfall för dessa simuleringar kommer att fastställas genom ingenjörsmässigt resonemang. De FE-analyser som kommer utföras är statiskt maxlast, fjädringskrafter och egenfrekvens. Materialdata för dimensionering kommer att hämtas från materialdatabaser och materialleverantörer.

## Konstruktion

När design och geometriska parametrar är fastställda påbörjas det andra steget i arbetet, färdigställande av komplett CAD modell och tillverkningsritningar för SFG3. Detta arbete innefattar att designa detaljlösningar för funktion, montering och tillverkning. Med funktion avses val av lager för komponenter med rörliga gränssnitt, låsningar av skruvförband, lösningar för montering, demontering av framgaffeln på motorcykelns ram samt möjlighet till justering av lagerspel och fjädringsfunktion.

Detaljlösningar och komponentdesign med avseende på montering innefattar både säkerställande av att tillverkade komponenter kommer kunna monteras ihop. Mindre kritiska komponenter för SFG3's design, såsom skruvförband, axeltappar och lagerelement kommer i största möjliga mån utgöras av standardkomponenter. Designarbetet skall även ta i beaktning tillverkningsmöjligheter i tillgänglig maskinpark, till exempel är den skärande bearbetningen begränsad till en konventionell verkstad med manuell svarv och manuell 3-axlig fräs och dess möjligheter.

## Prototyp tillverkning

Det tredje och sista steget i arbetet är prototyp tillverkning av SFG3. Utifrån tillverkningsritningar skall framgaffelns olika komponenter tillverkas och monteras samman. Tillverkning av komponenter kommer att göras manuellt med hjälp av ovannämnda svarv och fräs. Komponenter kommer att sammanfogas med hjälp av TIG svetsning, lödning, samt skruvförband. För att korrekt passform och precision skall kunna säkerställas kommer fixturer för sammanfogning att tillverkas. Eftersom SFG3 innehåller olika typer av förband kommer även olika toleranser för varje läge och förband tas i beaktning. Den tillverkade prototypens funktion kommer verifieras via enklare tester samt okulärt.

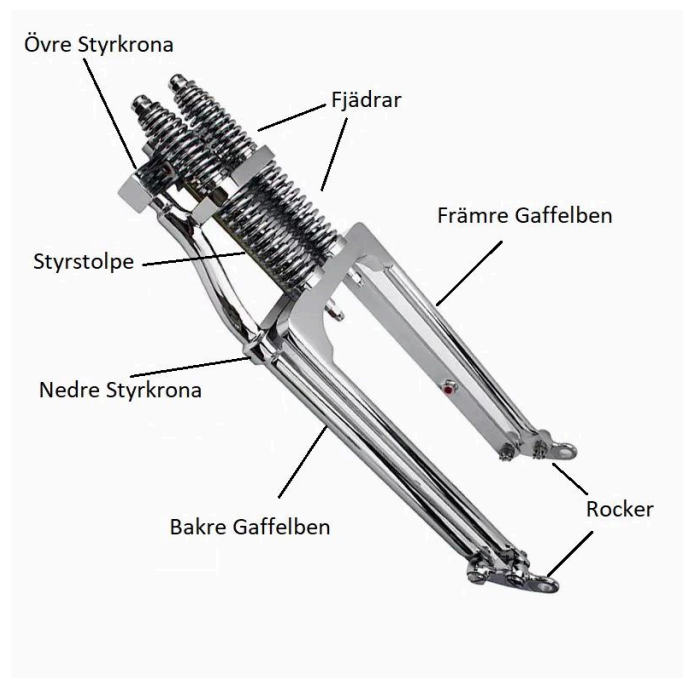
# Genomförande

## Teori

En motorcykelframgaffels primära funktioner är att styra motorcykeln, dvs svänga framgaffel och framhjul, och fjädra motorcykeln, både för komfort och för att förbättra framhjulets kontakt med underlaget. Framgaffeln svänger genom att den roterar i motorcykelramens styrhuvud och den fjädrar genom att den tillåter vertikal rörelse av framhjulet utan att resten av motorcykeln rör sig. Detta kapitel beskriver SFG's huvudsakliga komponenter och fjädringsfunktion, samt de styrande geometriska designparametrarna för en motorcykels stabilitet

## Springerframgaffel

En SFG består huvudsakligen av sju komponenter illustrerade i Figur 5. Styrstolpen (bakom fjäderpaketet i bilden) är den del som kopplar samman framgaffeln med motorcykelns ram och mellan dessa sitter lagringar som tillåter framgaffeln att vrida sig. Styrstoplen sitter monterad i övre och undre styrkronan, vilka i sin tur sitter infästa i de bakre gaffelbenen, utöver vridningen kring styrstolpen är de bakre gaffelbenen stumt monterade. Längst ner på främre och bakre gaffelbenen sitter en bottenlänk kallad rocker. Rockern har ledade infästningar i gaffelbenen och på grund av att de bakre gaffelbenen är stumt monterade medans de främre är fjädrande så får rockern en pivotpunkt i infästningen i det bakre gaffelbenet. Längst fram på rockern sitter framhjulsaxeln.



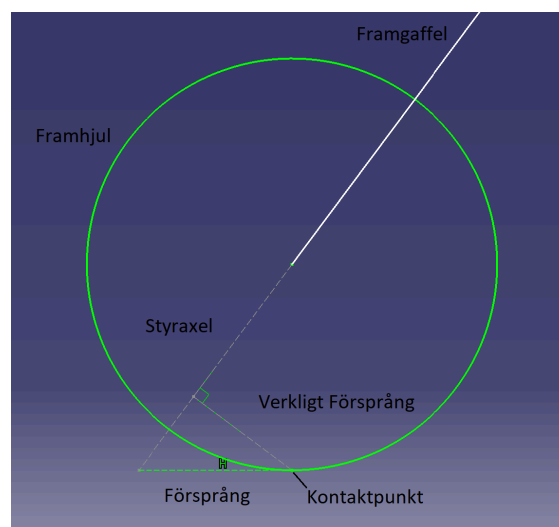
Figur 5: SFG, förklaring av begrepp

Den fjädrande funktionen hos en motorcykelframgaffel är viktig inte bara för komfort utan även för körbarhet och säkerhet. Motorcykelns styrförmåga, och därmed stabilitet, är

beroende på hjulens kontakt med underlaget för att kunna justera färdriktning och i och med styraxelns lutning, också motorcykelns lutning. Fjädringen på en SFG fungerar genom att de bakre gaffelbenen är stumt monterade i styrkronorna medan de främre gaffelbenen fjädrat infästa och genom att båda rockers är ledade i infästningarna till gaffelbenen. När rockern roterar kring sin pivotpunkt komprimerar den, via de främre gaffelbenen, fjäderpaketet. En fjädrande funktion erhålls då genom att framhjulet kan translateras vertikalt utan att de bakre gaffelbenen, fast monterade i motorcykeln, rör sig. Framhjulet kan därmed passera ojämnheter i underlaget utan att stötar från dessa förs vidare till motorcykeln.

## Tvåhjulsdynamik

Att tvåhjuliga fordon är instabila stillaståendes, dvs de välter omkull, men är (mer) stabila då de framförs beror på flera orsaker, främst på grund av lutningen på framgaffelns styraxel. Denna lutning gör att framhjulets anläggningspunkt mot underlaget är något bakom den punkt där styraxeln skär markplanet, dvs framhjulets kontaktpunkt ligger ett visst avstånd bakom punkten hjulet svänger kring, illustrerat i Figur 6. Avståndet mellan dessa punkter kallas *försprång* och är en av de viktiga designparametrarna när ram och framgaffel skall utformas. Längden på försprånget påverkar motorcykelns stabilitet och kurvtagningsförmåga på grund av att detta utgör en hävarm för krafterna i kontaktpunkten med avseende på hjulets vridningsaxel. Viktigt att notera är att hävarmens längd är det vinkelräta avståndet från kontaktpunkten till dess vridningsaxel, dvs framgaffelns styraxel, detta avstånd benämns verkligt försprång. Vid körning rakt fram ger kontaktkrafterna via försprånget ett vridande moment som centrerar framhjulet då momentet är motriktat hjulets vridning. Detta stabiliserar motorcykeln och gör att motorcykeln fortsätter rakt i färdriktningen även om föraren släpper styret. Vid kurvtagning svänger en motorcykel främst genom så kallad motstyrning, vilket innebär att en liten vridning av styret motsatt kurvans riktning gör att motorcykeln faller inåt i kurvan och då svänger i kurvans riktning. (Foale & Willoughby, 2002 och Limebeer & Sharp, 2006)



Figur 6: Illustration av försprång

Ett långt försprång ger vid körning rakt fram en motorcykeln med en starkt stabiliserande effekt och gör att den blir svår att vinkla ned för att svänga genom en kurva. Väl i en kurva

flyttas kontaktpunkten något vilket gör att när det tidigare stabiliserande momentet nu rätar upp framhjulet, dvs vrider hjulet motsatt kurvans riktning, fås en motstyrande effekt och motorcykeln tenderar att falla inåt i kurvan. Ett långt försprång gör således, något motsägelsefullt, både att motorcykeln blir svår att vinkla ned för att initiera en sväng genom en kurva och att den blir svår att vinkla upp i, och ur, en kurva. På motsvarande vis ger ett kort försprång en motorcykel en svag självstabiliserande effekt och ett lågt motstånd för att initiera en sväng genom en kurva. Detta kan göra att motorcykeln upplevs instabil och orolig att köra. Därav tenderar motorcyklar fokuserade på komfort ha ett något längre försprång, medan motorcyklar fokuserade på racing ha ett något kortare. Sammanställningar från olika motorcyklar och tillverkare visar att försprång kan variera mellan 80 och 170 mm och verkligt försprång mellan 75 och 140 mm, där majoriteten har ett verkligt försprång mellan 90 och 120 mm. Denna data visar tydliga trender där motorcyklar med längre hjulbas, flackare gaffelvinkel och högre vikt har längre försprång (Cossalter, 2006). Eftersom motorcykeln som detta examensarbete skall designa en SFG för är lång, tung, och har flack gaffelvinkel antas ett riktvärde för försprånget på 120 mm vara rimligt.

Försprångets längd beror på hur framgaffelns geometri är utformad i kombination med utformningen av ramen som den är monterad i. Vid design av framgaffel och ram kan olika försprång erhållas genom att förskjuta framhjulets kontaktpunkt i förhållande till punkten där styraxeln skär markplanet, se Figur 6. För en SFG kan försprånget i en given ram justeras med tre metoder; offset av gaffelben i styrkronor, ändring av styrstolpens vinkel i förhållande till gaffelbenen, s.k. rake, eller genom att längden på SFG's rockers justeras. Dessa metoder påverkar försprånget på följande vis:

- En offset av gaffelbenens infästning i styrkronan innebär att gaffelbenen parallellförskjuts så att de inte längre ligger i linje med styrstolpen utan framför. Denna förskjutning gör att det verkliga försprånget minskar lika mycket som längden på offseten i och med att framhjulets kontaktpunkt flyttas framåt.
- Med rake i styrstolpe är denna inte längre parallell med gaffelbenen. Detta ger effekten att framhjulets kontaktpunkt flyttas framåt, närmare styraxelns skärningspunkt med markplanet, vilket ger ett kortare försprång.
- En ändring av längden på rockers i en SFG flyttar framhjulet framåt eller bakåt, vilket således flyttar dess kontaktpunkt och därmed ändrar försprånget. Det är dock viktigt att notera att en ändring av längden på rockers ändrar hävarmen på den fjädrande kraften från framhjulet.

Vilken metod, eller kombination av metoder, som används är en fråga om utseende, tillverkningssvårighet och köregenskaper (främst fjädringsfunktion).

## Design

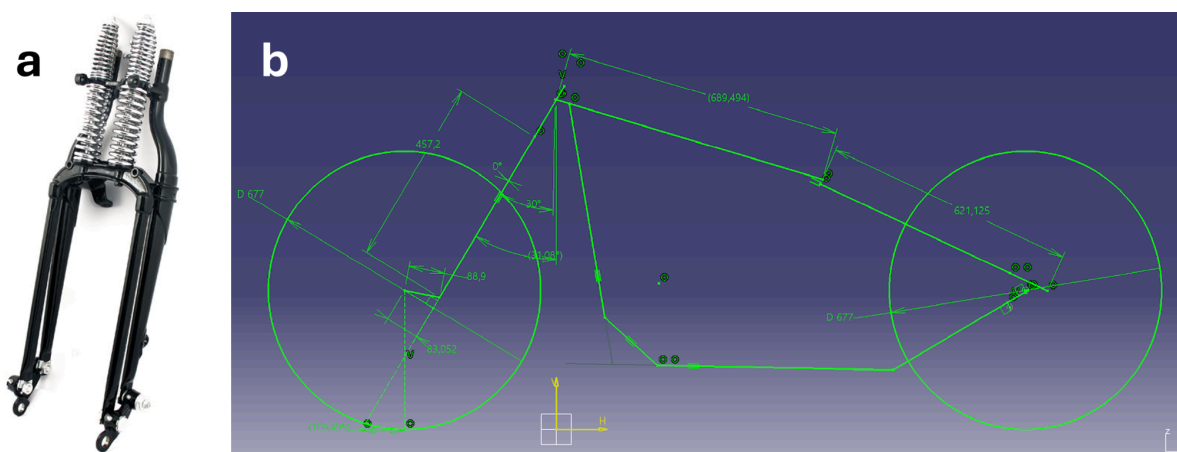
I följande kapitel beskrivs de tre olika SFG designkoncept som studeras i arbetet; original Harley Davidson EL 1936 SFG (SFG1), på enklast möjliga vis förlängd SFG (SFG2), samt en förbättrad design av förlängd SFG (SFG3). Nedan beskrivs dimensioner och kördynamiska parametrar för de olika designkoncepten.

## SFG1 – Harley Davidson original

En original Harley Davidson SFG visas i Figur 7a. I denna design har styrstolen har ingen rake utan är parallell med gaffelbenen. Från nedre gaffelkrona till bakre axelinfästning (gaffelbenslängden) är avståndet 457 mm. De bakre gaffelbenen är av en elliptisk profil i med måtten 28x48 mm vid undre styrkronan och avsmalnar kontinuerligt ner mot rockerinfästningen. Främre gaffelbenen är runda profiler med en diameter på 19 mm. Rockerlängden mätt från hjulaxel till bakre gaffelbensinfästning är 89 mm.

De kördynamiska parametrarna från en originalram med avseende på framgaffelns geometri bestäms med hjälp av en 2D ritning av originalramen och SFG1. 2D ritningen för dessa visas i Figur 7b. Från ritningen framgår att försprånget är 106,5 mm längs markplanet och 83 mm vinkelrät från framhjulets kontaktpunkt till styraxeln.

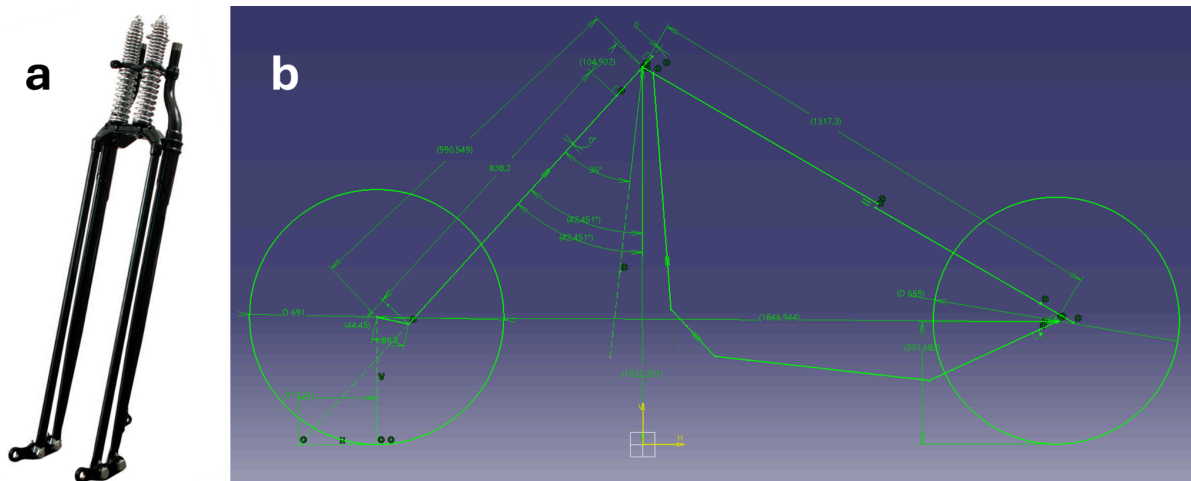
Vilken materialkvalitet som användes vid tillverkning av SFG1 har inte kunnat fastställas. Den antas därför vara av stål motsvarande S220, vars materialegenskaper är typiska för det stål som användes i fordonsindustri under denna tidsepok (Masubuchi, 2013).



Figur 7: a) SFG1 - original Harley Davidson SFG. b) 2D vy av original Harley Davidson motorcykelram med SFG1.

## SFG2 – Förlängd original

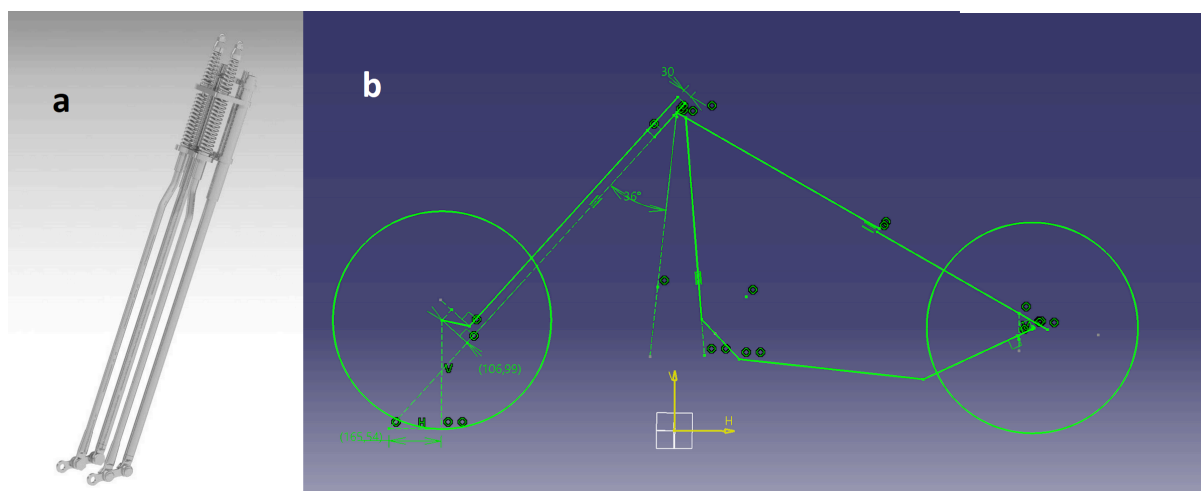
SFG2 är i grunden en SFG1 med med förlängda gaffelben, se Figur 8a. Förlängningen av de bakre gaffelbenen görs direkt under den nedre styrkronan där profilen på gaffelbenet är som störst. I detta tvärsnitt kapas original gaffelben av och längre svetsas dit. För en SFG2 design anpassad till ramen som visas i Figur 3 innebär detta att gaffelbenen förlängs med 330 mm. Detta ger en total längd på 787 mm från nedre styrkronan till bakre rockerinfästningen. Som visas i 2D vyn i Figur 8b gör denna längre framgaffel att ramen reser sig, vilket ger en flackare lutning av styraxeln. Som beskrivet tidigare förskjuter detta styraxelns skärningspunkt med markplanet framåt vilket ger ett längre försprång än med SFG1. Det leder till att försprånget blir 211 mm. Detta försprång är avsevärt längre än på någon fabriksstillverkad motorcykel och ger därmed mycket dåliga köregenskaper i form av en mycket trögstyrd motorcykel.



Figur 8: a) SFG2 - förlängd original Harley Davidson SFG. b) 2D vy av custom motorcykelram med SFG2.

### SFG3 – Förbättrad förlängd design

SFG3 är den SFG design detta examensarbete avser ta fram. Designen skiljer från SFG1 och SFG2 i flera avseenden. Komponenterna är de samma men har något annorlunda utformning vilket illustreras i Figur 9a. För att få korrekt försprång har gaffelkronorna en offset på 30 mm och ingen rake på styrstolpen, illustrerat i Figur 9b. De bakre gaffelbenen är förstärkta med rörhylsor och insticksrör vilket ger en stegvis övergång av effektiv godstjocklek på 5.6, 4.0 och 2.4 mm. De främre gaffelbenen har en diameter på 19 mm. Längden på rocker är 89 mm. Sammantaget ger detta ett försprång på 165.5 mm och ett verkligt försprång på 124 mm. Bakre gaffelbenen tillverkas av Docol R8 och Cromoly stålrör och övriga detaljer av S355 stålplåt (SSAB, 2024).



Figur 9: a) CAD rendering av SFG3, en förbättrad design av förlängd SFG. b) 2D vy av custom motorcykelram med SFG3 monterad.

De primära skillnaderna mellan SFG3 och SFG2 är dels motiverade av att få en elegantare design och dels av, vad som är fokus i denna rapport, att få en robustare design. En robustare design erhålls den stegvisa övergången av effektiv godstjocklek i de bakre gaffelbenen samt att dessa tillverkas i material med avsevärt högre flyt- och brottgräns än

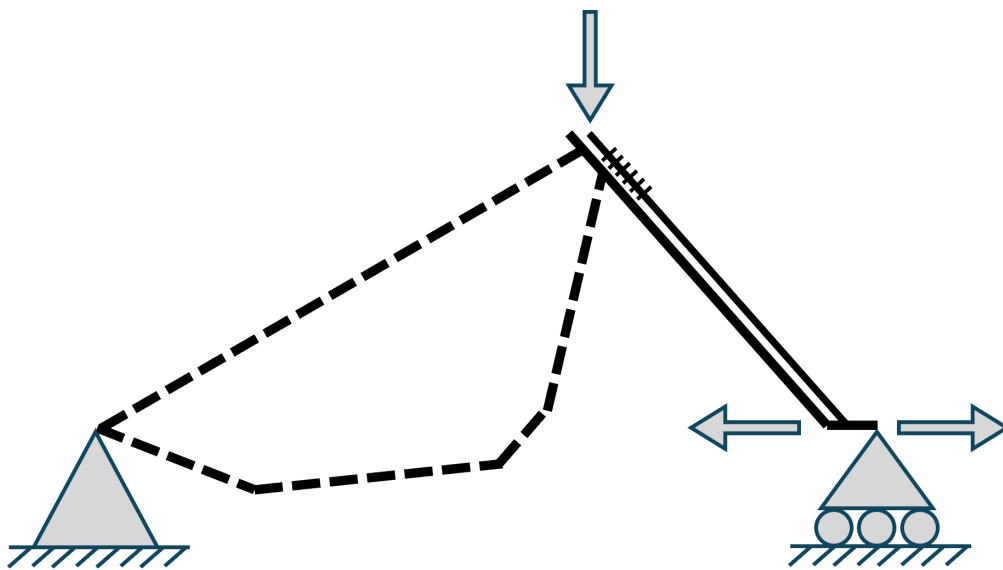
materialet i SFG2. Arbetet för att fastställa gaffelbenens dimensioner (godstjocklek och längd på förstärkande rör) och vilken material- kvalitet som krävs är beskrivet i detalj i nästkommande kapitel.

## Dimensionering

För att uppnå projektets mål undersöks och jämförs i detta kapitel max lastkapacitet och fjädrande last för SFG1, SFG2 och SFG3 med hjälp av numeriska simuleringar. I arbetet används de kommersiella programvarorna Ansa och Meta (från Beta CAE) för pre- och postprocessering. Simuleringarna görs i programvaran Abaqus och postprocessering av data med hjälp av Python.

### Lastfall och designkriterier

Max lastkapacitet simuleras i två lastfall, ett för horisontell last och ett för vertikal last. Lastfallen illustreras i Figur 10. Figuren visar hur infästningen av motorcykelns bakre hjulaxel är låst med ledat randvillkor och hur framhjulets infästning är låst med ett horisontellt rullande stöd. Det bakre randvillkoret är även låst i rotation kring färdriktningens axel för att hindra att motorcykeln välter.



Figur 10: Schematisk illustration av motorcykelram, SFG, randvillkor och lastfall.

För det vertikala lastkapacitetlastfallet appliceras en styrd vertikal förskjutning i motorcykelns övre styrkrona. Denna förskjutning låter först fjädringen komprimeras för att sedan börja deformera framgaffeln tills den kollapsar. På samma sätt appliceras en horisontell styrd förskjutning i framhjulets infästning för det horisontella lastfallet. Både horisontellt tryck och drag studeras. I samtliga fall utläses reaktionskraften i den punkt som förskjutningen appliceras.

Fjädringsfunktionen studeras genom att 50 mm vertikal förskjutning appliceras i framgaffelns övre styrkrona och den resulterande kraften i framgaffelns fjäderpaket utläses. Notera att detta är samma typ av lastfall som för vertikal lastkapacitet lastfallet, men med en

förskjutning som endast komprimerar fjäderpaketet, dvs. framgaffeln deformeras inte avsiktligt.

Den från simuleringarna uppmätta prestandan av SFG2 och SFG3 jämförs mot den hos SFG1. Prestandan för SFG1 är således designkriterierna som SFG3 ska, om möjligt, överträffa. Uppmätt prestanda för SFG2 utgör en referens för hur den vanligaste typen av förlängd SFG presterar.

## Beräkningsmodell

Simuleringsmodellerna för SFG1, SFG2, och SFG3 är skalmodeller baserade på respektive CAD modell, men med vissa konservativa förenklingar så som att inte inkludera icke strukturella detaljer samt inte modellera små radier. Simuleringsmodellerna visas i Figur 11 och består av andra ordningens element med karakteristisk elementlängd 2 mm. Skruvar och stänger modelleras med hjälp av balkelement. Dessa kopplas till skalelementen med hjälp av kraftdistribuerande kopplingar för att inte införa fiktiva styvheter, som från t.ex. styva kopplingar.



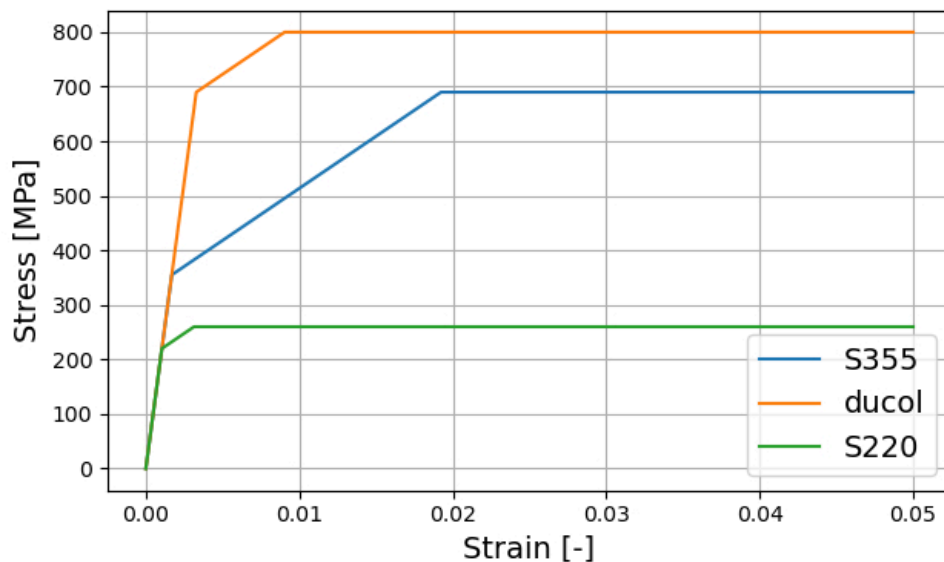
Figur 11: FE-modeller för SFG1, SFG2 och SFG3. De olika färgerna i figuren representerar olika godstjocklekar i respektive SFG-modell. Skalelementens tjocklek är illustrerad i figuren.

Fjädringsfunktionen modelleras med hjälp av olika FE-element från Abaqus bibliotek av kopplingselement (connector elements), för att representera de olika typer av bussningar, fjädrar och leder som utgör fjädringsfunktionen i en SFG. Att SFG's rockers är ledat infästa i främre och bakre gaffelben modelleras med hjälp av gångjärnselement (hinge elements). De främre gaffelbenens möjlighet att glida och vridas i dess infästning i övre styrkronan modelleras med glidelement (slide elements) kopplade till distribuerade kopplingar med fria

frihetsgrader för rotation. Att fjäderpaketet skall fjädra med max 50 mm komprimering och därefter vara axiellt stumma, dvs fjädrarna bottnar, modelleras genom att parallellkoppla fjäder- och axialstoppelement (spring and axial connector elements).

Motorcykelns ram modelleras som en stelkropp kopplad till styrstolpens övre och undre styrlager samt till bakaxelinfästningens randvillkor. På så vis kan ramen endast rotera kring dess bakaxel.

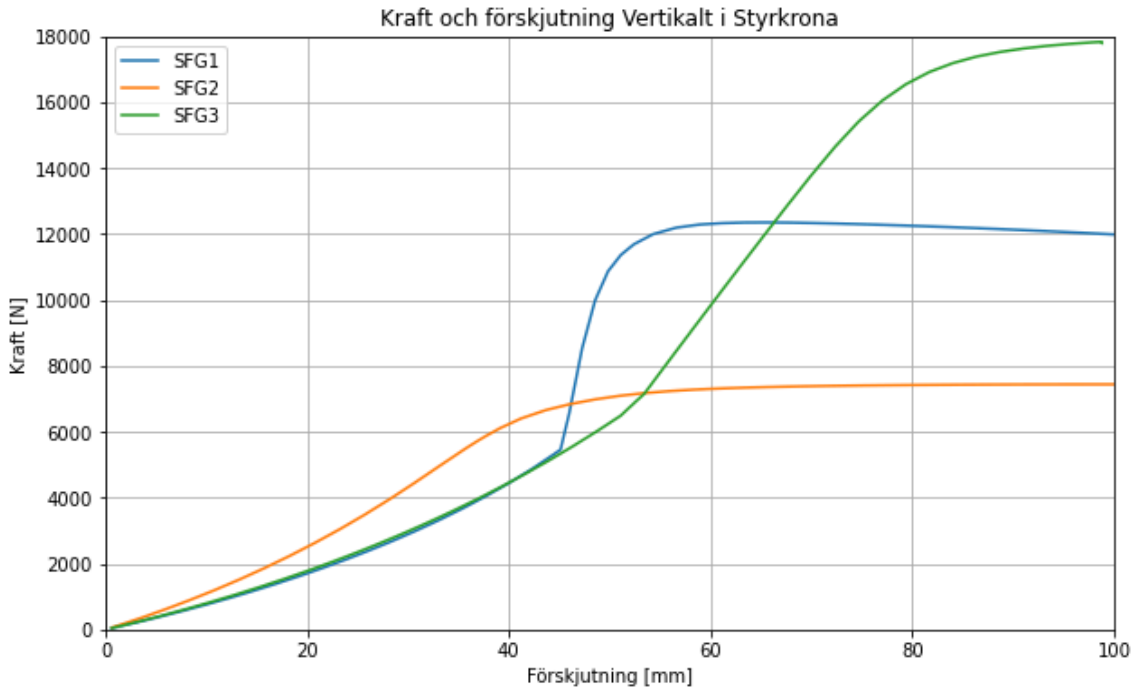
Analyserna körs till strukturell kollaps, det vill säga tills ökning av föreskriven deformation inte ger någon ökning av motsvarande reaktionskraft. För att modellera detta används en materialmodell med linjärt isotropiskt hårdnande följt av ideal plasticitet. Figur 12 visar spännings-töjningskurvor för de materialkvaliteter som används i de studerade SFG:erna. Hårdnandemodulen för de olika materialen antas vara en tiondel av materialets initiala styvhet, d.v.s  $E_{tangent} = 1/10 \cdot E$ . Flyt- och brottgränser är tagna från materialtillverkare (Ovako, 2024 och SSAB, 2024) och från litteratur för SFG1 och SFG2 (Masubuchi, 2013).



Figur 12: Spänning-töjningskurvor för de materialmodeller som används i simuleringarna.

## Simuleringsresultat

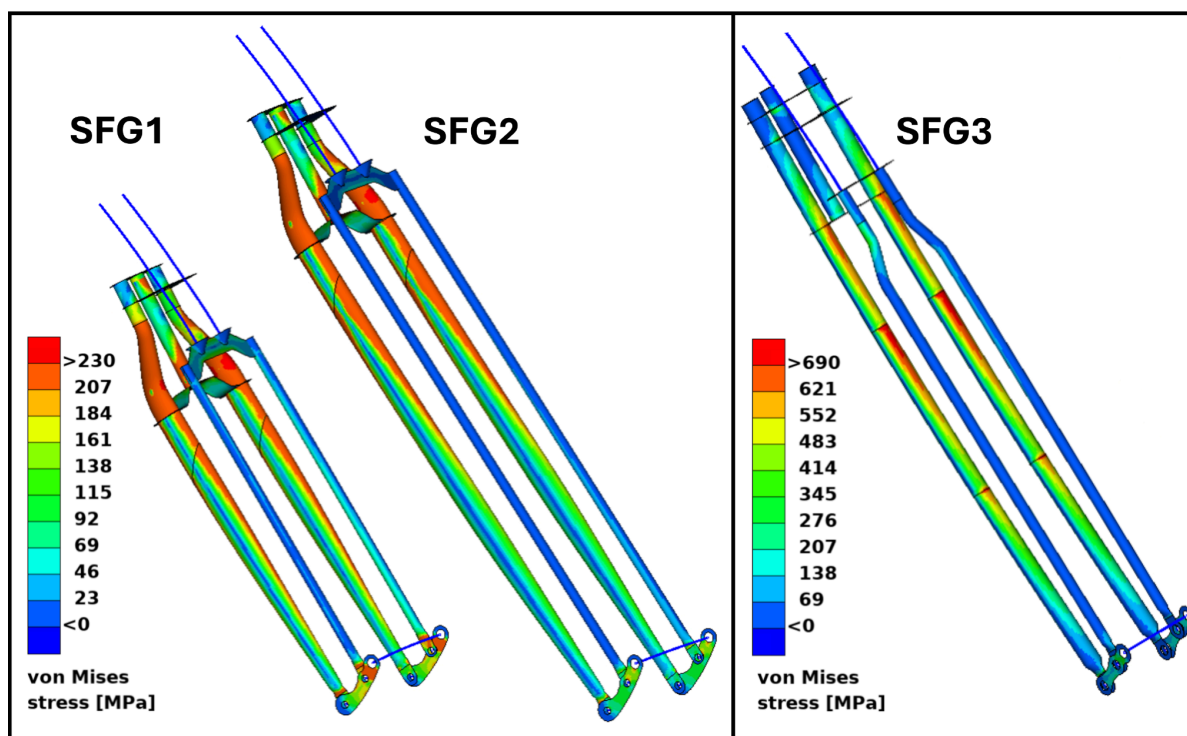
Figur 13 visar kraft-förskjutningskurvor för det vertikala lastfallet. För vardera SFG plottas vertikal reaktionskraft mot vertikal förskjutning för styrhuvudet där förskjutningen föreskrivs. Graferna visar tydligt tre olika faser, först komprimeras SFG's fjäderpaketet och reaktionskraftens ökning motsvarar fjäderkraften. I nästa fas efter cirka 50 mm vertikal förskjutning når fjäderpaketet max komprimering och all fortsatt förskjutning leder till att SFGn deformeras. Detta ger en markant ökning i reaktionskraft då kraften som krävs för att deformera framgaffeln är betydligt större än den för att komprimera fjäderpaketet. För sista fasen plasticerar materialet i SFGn varvid ökningen av reaktionskraft avtar. Kurvorna visar hur materialet i respektive SFG tillslut genomplasticerar varvid ingen ökning av reaktionskraft sker vid fortsatt ökad deformation. Notera att för SFG2 sker ytterst lite elastisk deformation från det att fjäderpaketet komprimerats tills dess att max lastkapacitet nås.



Figur 13: Reaktionskraftsgraf. Föreskriven tryckande vertikal förskjutning av framgaffelns styrhuvud och resulterande reaktionskraft i samma punkt.

Jämförelse av kraft-förskjutningskurvorna för SFG1, SFG2 och SFG3 i det vertikala lastfallet visar hur SFG1 kollapsar vid en vertikal kraft på cirka 12 500 N. Samt hur SFG2 slutar att bära ytterligare last redan vid 7 500 N. Slutligen hur SFG3 kollapsar vid 17 500 N vertikal last. I relativa termer innebär detta att SFG2 40% lägre maxlastkapacitet än SFG1 och SFG3 40% högre. Värt att notera är dock att kraft-förskjutningskurvan för SFG3 i den andra fasen, deformationsfasen, är något flackare än den för SFG1. Detta beror på den brantare gaffellutningen hos SFG1. En brantare lutning ger en deformationsmod med mer axiell last jämfört med mer böjande last med SFG3s flackare gaffellutning. Detta innebär att för en given belastning, över ca 5 000 N, kommer SFG3 att ge mer elastisk deformation och eventuellt upplevas som något mer flexande än SFG1.

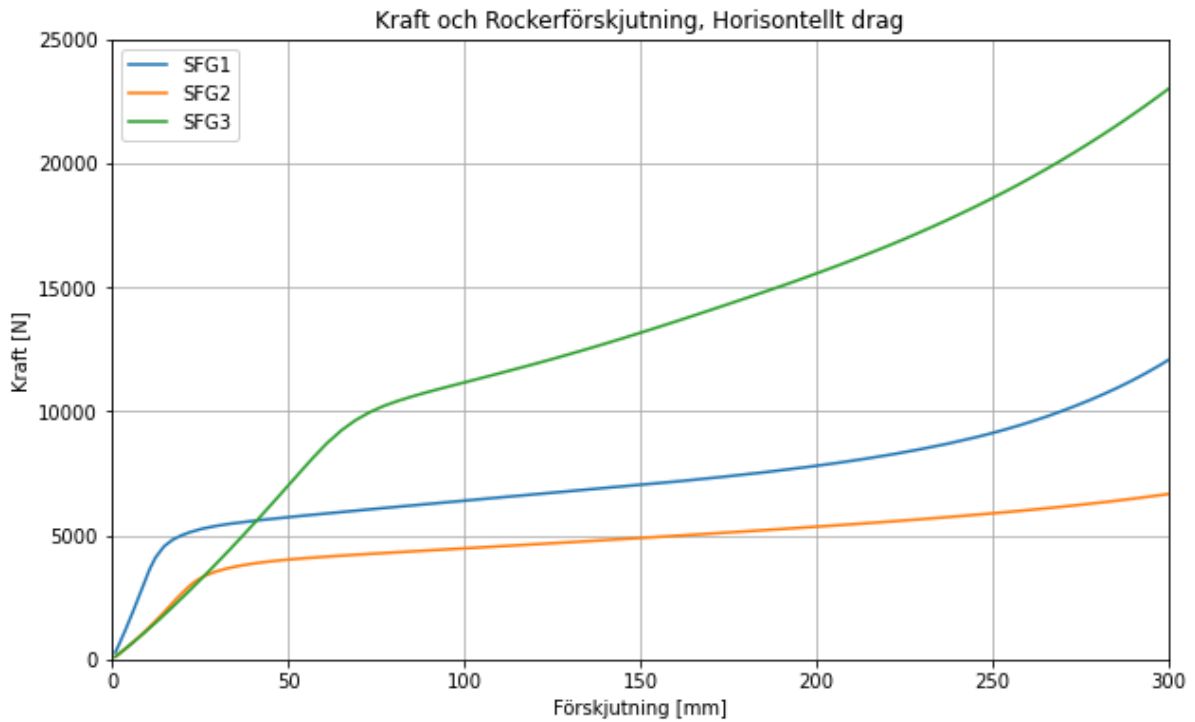
Figur 14 visar von Mises effektivspänningsplottar för SFG1, SFG2 och SFG3, vid 60 mm vertikal förskjutning av ramens styrhuvud. Figuren visar hur deformationsmoden vid kollaps skiljer för de olika designerna. Notera att SFG3 plottas med annan färgskala då dess material har högre flytgräns. Flytgränserna för S220 och Ducol stål används som högsta värde när färgskalorna plottas.



Figur 14: von Mises spänning [MPa] i SFG1, SFG2 och SFG3 för lastfallet vertikal förskjutning, vid 60 mm förskjutning av styrhuvudet.

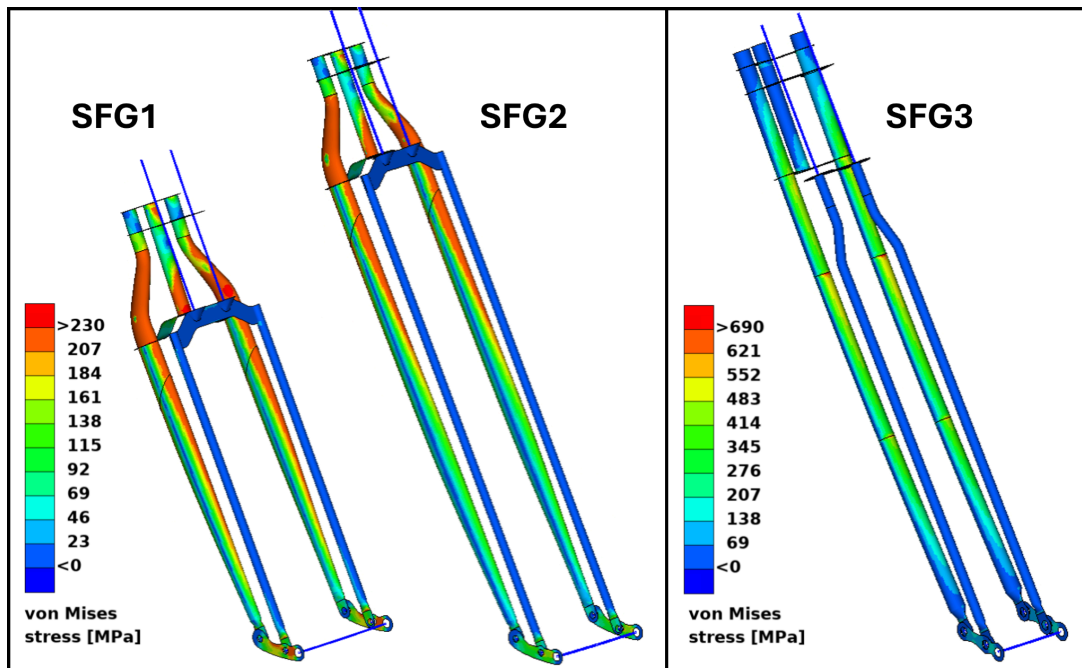
I figuren visas tydligt hur spänningarna i bakre gaffelbenen för SFG2 uppnår materialets maxspänning genom hela tvärsnittet vid gaffelbenens infästning i undre gaffelkronan. Figuren visar även hur SFG1 och SFG2 har liknande deformationsmoder vid kollaps. För SFG3 framgår tydligt hur effektiv den stegvisa övergången av godstjocklek i de bakre gaffelbenen är för att ge en mer jämn belastning av materialet i gaffelbenens längdriktning.

Figur 15 visar kraft-förskjutningskurvor för horisontellt drag, dvs. föreskriven deformation av framhjulets infästning i SFGn i färdriktning. Horisontell reaktionskraft är uppmätt i framhjulets infästning och plottas mot dess förskjutning. Graferna i figuren visar, till skillnad från det vertikala belastningsfallet, bara två faser, elastisk deformation och plasticering. Detta beror på att fjädringen inte tar upp någon kraft vid horisontellt drag. Från figuren kan utläsas hur SFG2 når sin maxkapacitet vid 3000 N, SFG1 vid 5000 N och SFG3 vid 10000 N. Figuren visar även att SFG1 har relativt SFG2 och SFG3 initialt en kraftigare ökning av reaktionskraft. Detta är en effekt av dess kortare gaffelbenen och vilka ger en styvare respons. Vid simulering i horisontellt drag och tryck ger, till skillnad från det vertikala lastfallet, mer böjande last för SFG1 på grund av den flackare gaffelvinkeln. Slutligen visar figuren hur SFG2 och SFG3 följer samma kurva då de har samma längd och gaffelvinkel. I jämförelse med SFG1 har SFG2 60% lägre dragkapacitet och SFG3 100% mer.



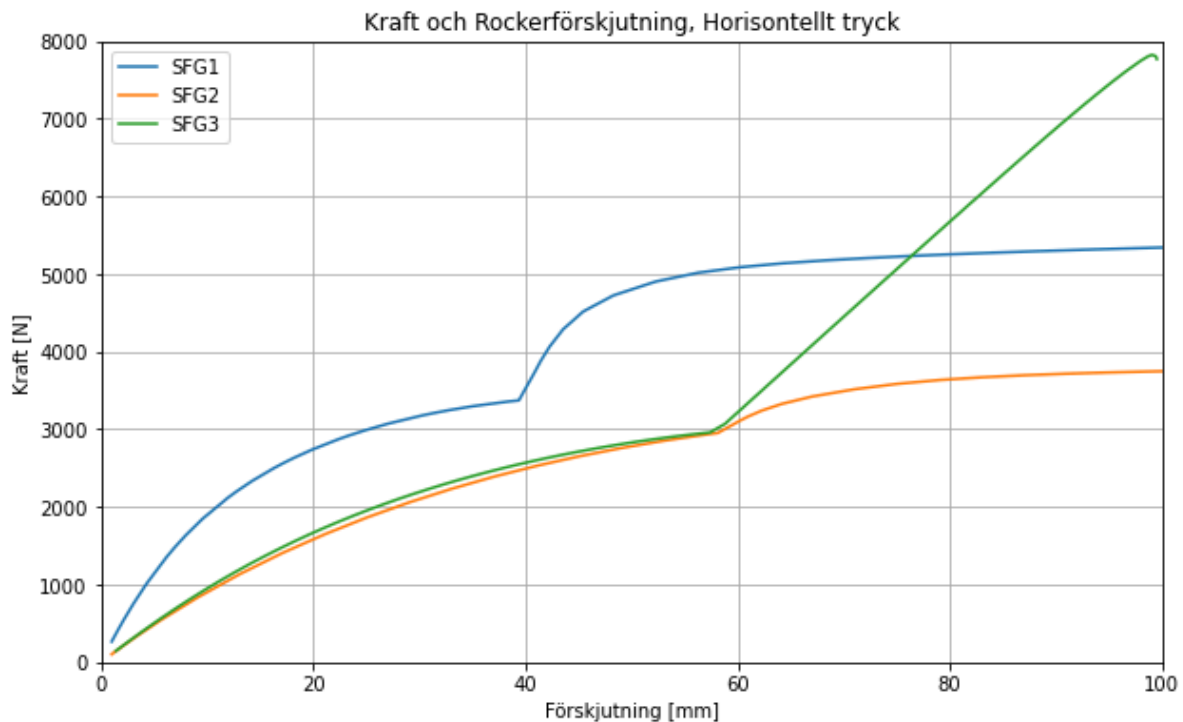
Figur 15: Reaktionskraftsgraf. Föreskriven dragande horisontell förskjutning av framhjulets axel och resulterande reaktionskraft i samma punkt

I Figur 16 visas von Mises spänning vid horisontellt drag 60 mm applicerat på hjulaxeln. Av figuren framgår att SFG1 och SFG2 plasticerar kraftigt medan SFG3 vid detta skede fortfarande deformerar mestadels elastiskt.



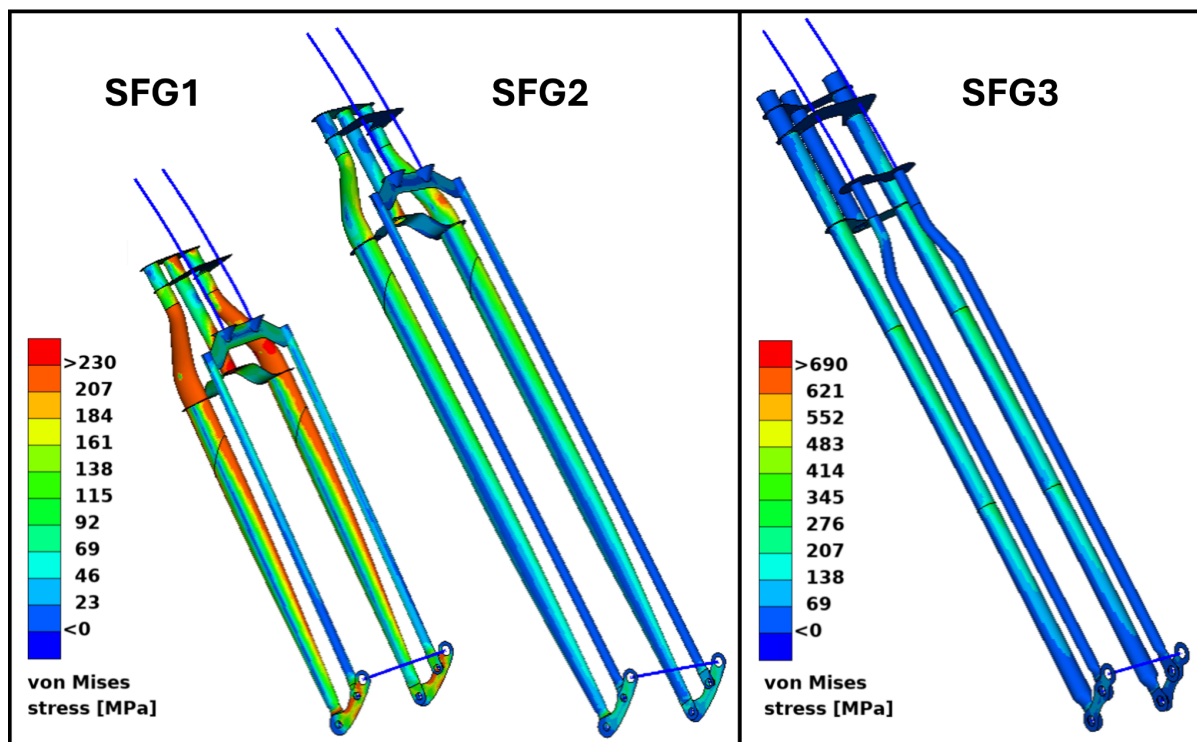
Figur 16: von Mises spänning [MPa] i SFG1, SFG2 och SFG3 för lastfallet horisontellt drag, vid 60 mm vertikal förskjutning av hjulaxeln.

Figur 17 visar kraft-förskjutningskurvor för horisontellt tryck. Förskjutningen är föreskrivern på samma sätt som vid fallet med horisontellt drag men med motsatt riktning. Enligt figuren har deformationsförloppet två faser, först fjäderkomprimering kombinerat med deformation följt av plastisk deformation. Den flackare gaffelvinkeln för SFG2 och SFG3 resulterar i mer axiell belastning av dess gaffelben, medan för SFG1 resulterar förskjutningen i mer böjmoment i gaffelbenen. För SFG2 och SFG3 resulterar 60 mm förskjutning i maximal fjäderkompression medans SFG1 40 mm. Från figur 17 når SFG1 max kapacitet vid 4500 N, SFG2 vid 3000 N och SFG3 vid 7800 N. Det betyder att SFG2 har 67% mindre kapacitet jämfört med SFG1 och SFG3 73% högre kapacitet.



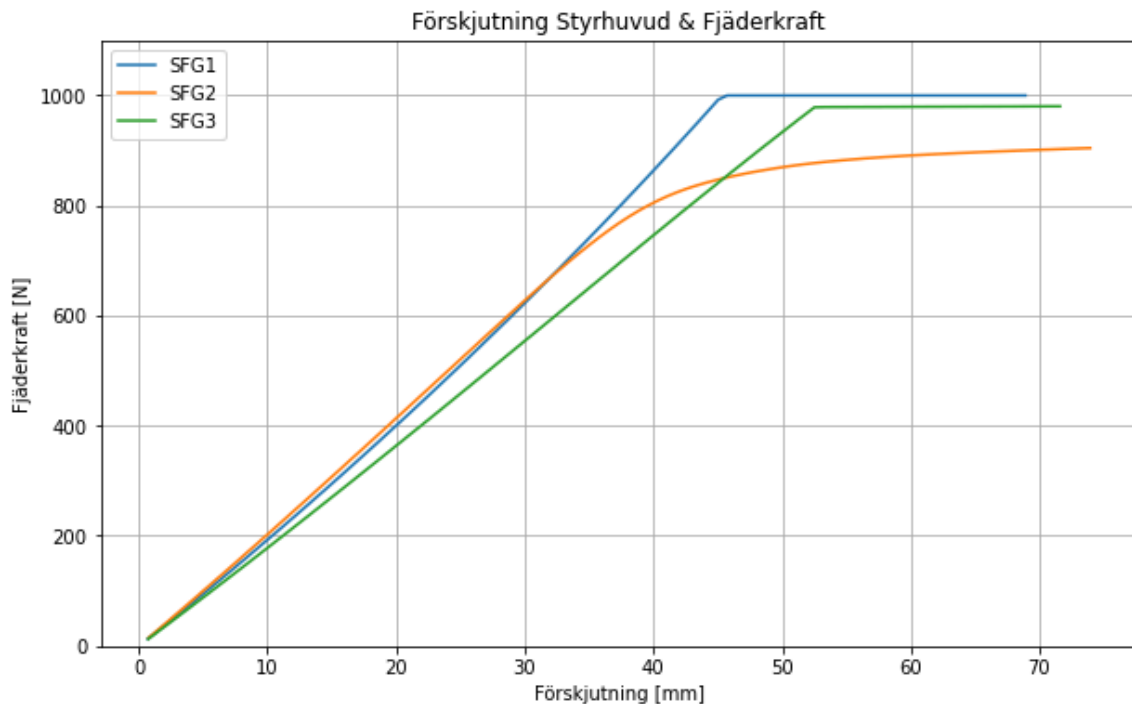
Figur 17: Reaktionskraftsgraf. Föreskriven tryckande horisontell förskjutning av framhjulets axel och resulterande reaktionskraft i samma punkt.

I Figur 18 ses Von Mises spänning vid horisontellt tryck. Spänningstillståndet efter 60 mm förskjutning av hjulaxeln. Här visas tydligt hur den flackare gaffelvinkeln hos SFG1 ger styvare respons och därmed redan genomplasticerat vid nedre gaffelkronan.



Figur 18: von Mises spänning [MPa] i SFG1, SFG2 och SFG3 för lastfallet horisontellt tryck, vid 10 mm förskjutning av hjulaxeln.

Figur 19 visar fjäderkraft-förskjutningskurvor. Fjäderkraften vid styrkronorna är plottad mot vertikal förskjutningen föreskriven vid styrhuvudet. Kraften är utläst ur en av SFG-fjäderpaketets fyra fjädrar. Den linjära delen av kurvorna representerar fjäderkompression. När fjädrarna når max kompression, dvs de bottnar, vid ca 1000 N för SFG1 och SFG3 kan de därefter inte bära mer fjädrande kraft utan överför därefter all kraft ofjädrat till fjäderpaketets infästning. Därav den horisontella delen av kraft-förskjutningskurvorna. Grafen visar tydligt hur SFG2 har inte en lika tydlig punkt då fjädringen bottnar, vilket beror på dess vekare konstruktion. Den föreskriva förskjutningen orsakar inte enbart kompression av fjädrarna utan även böjande deformation av gaffelbenen i SFG2. Ökning av fjädringskraften avtar därför successivt från 700 N när förskjutningen nu resulterar i ett böjmoment. För SFG3 resulterar förskjutningen av styrhuvudet till fjäderkraft linjärt upp till 980 N. Jämförelsen mellan de linjära delarna av graferna är det som beskriver fjädringsfunktionen. Fjädringskapaciteten hos SFG2 är 70% av SFG1 och SFG3 98%. Den strikt linjära responsen i fjäderkraft tyder på att designen av SFG3 är tillräckligt styv för att krafter från framhjulet skall tas upp av fjäderpaketet snarare än, som för SFG2, orsaka deformation i gaffelbenen.



Figur 19: Fjäderkraftgraf, föreskriven förskjutning av styrhuvud och resulterande fjäderkraft

För att bedöma resultatet från analyserna av max lastkapacitet bör dessa sättas i relation till de laster som en SFG kan tänkas utsättas för i drift när motorcykeln framförs. I ett rudimentärt resonemang kan vikten av en choppermotorcykel med förare och packning kan uppskattas till 500 kg fördelat lika mellan fram och bakhjul. Vidare kan generisk statisk maxlast för dimensionering hjulupphängnings- komponenter antas till 5G vertikalt och 2G horisontellt som separata lastfall (Lee et al., 2011). Detta ger maxlaster på framhjulet av 12 500 N vertikalt och 5 000 N horisontellt för framhjulet. Figurer 13, 15 och 17 visar att SFG1 och SFG3 kan motstå dessa laster innan kollaps. Vilket SFG2 inte klarar av. Notera att detta är ett förenklat resonemang som antar att viktfordelningen mellan fram och bakhjul är konstant. Notera även hur väl dessa generiska maxlaster stämmer överens med maxkapaciteten för SFG1, utvecklad och dimensionerad under 1930-talet.

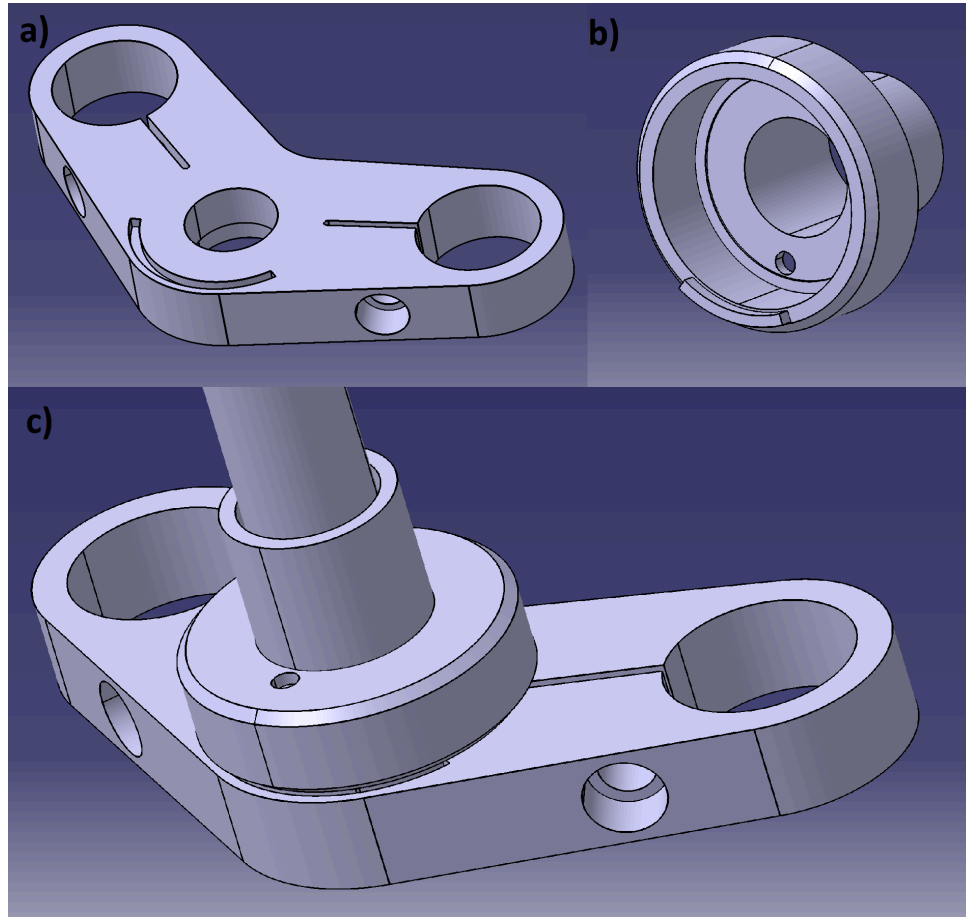
## Konstruktion

Med dimensioner på lastbärande och dimensionerande komponenter fastställda uppdateras och färdigställs den ursprungliga CAD-modellen för SFG3. För att förenkla arbetet med tillverkningen och antalet egenhändigt tillverkade detaljer anpassas konstruktionen efter kommersiellt tillgängliga maskinelement såsom fjädrar, bussningar, muttrar och lagringar.

### Detaljlösningar

Den nedre styrkronan har flera funktioner utöver att fästa samman styrcolpen och gaffelbenen. Som tidigare beskrivit, för att kunna vrida på framgaffeln behöver den vara lagrad i ramens styrhuvud. Detta sker genom två stycken vinkelkontaktlager monterade i vardera ända av styrcolpen. Dessa ligger an mot övre- respektive nedre styrkronan. För att möjliggöra justering av lagerspel behöver avståndet mellan övre och nedre styrkrona kunna

justeras. Detta erhålls genom att den nedre styrkronan fixeras i gaffelbenen med klämförband, som visas i Figur 20 a) och c). Gaffelbenet har glidpassning i nedre styrkronan. Med axiellt lagerspel för styrlager injusterat ansätts en skruv vid vardera gaffelbens glidpassning varpå en grepppassning uppnås och därmed är gaffelben, styrkronor och styrstolpe fast inspända i varandra.

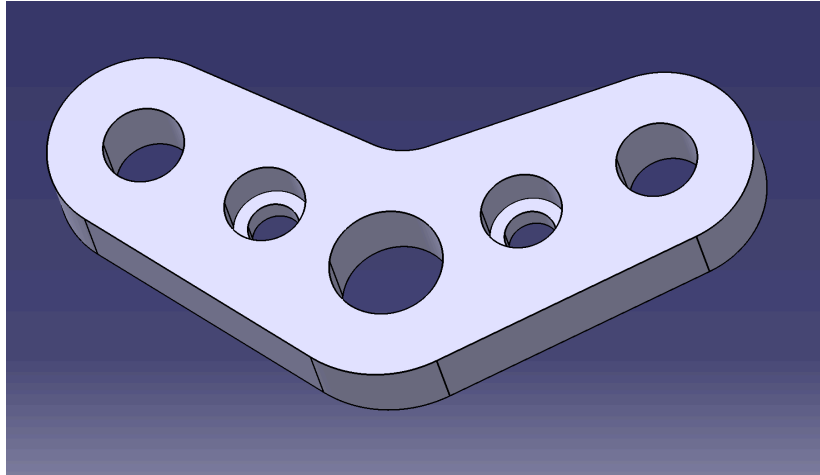


*Figur 20: CAD geometrier; a) undre gaffelkrona. b) lagerskål med inbyggt styrstopp. c) undre gaffelkrona och lagerskål monterade samman.*

Ytterligare funktioner för nedre styrkronan innefattar att vridningen av SFGn behöver begränsas för att gaffelbenen inte skall gå i kontakt emot ramen vid fullt styrutslag, detta brukar benämnas som ett styrstopp. Denna komponent består vanligen av stopplackar monterade på styrkronan som tar emot ramen vid önskat styrutslag. Ett mindre vanligt och mer elegant alternativ är ett invändigt styrstopp, där denna funktion är integrerad i befintliga komponenter och därmed dold. För att åstadkomma detta har den nedre styrlagerskålen för SFG3, se Figur 20b) försetts med en stopplack och ett hål för ett låstift. Låstiftet hindrar rotation av styrlagerskålen i ramens styrhuvud. I den undre styrkronan finns ett ufräst spår där stopplacken kan löpa fritt tills den nått ändarna av det ufrästa spåret och därmed hindrar fortsatt vridning av SFGn innan den går i kontakt med motorcykelns ram.

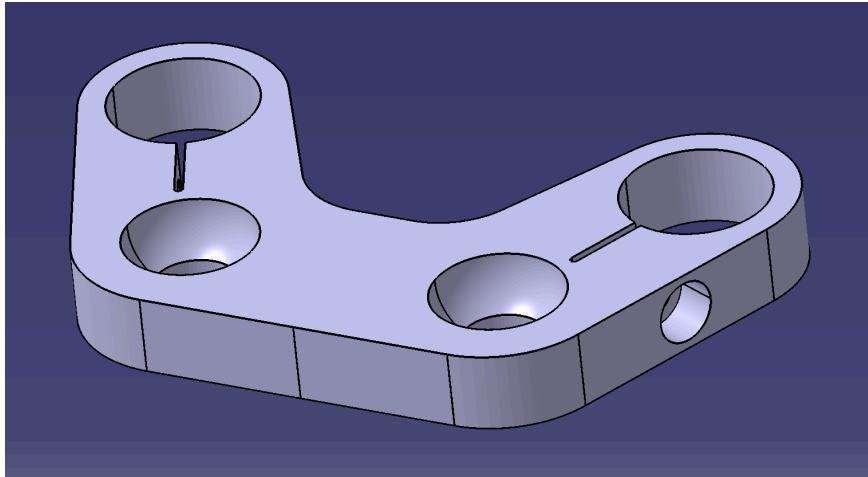
Övre gaffelkrona fäster samman de bakre gaffelbenen med styrstolpen och har infästningar för ett styre, se Figur 21. Gaffelbenen fixeras i den övre styrkronan genom ett skruvförband. Gaffelbenen har en gängad infästning i dess övre ände, se Figur 23 a), denna har glidpassning i den övre styrkronan, infästningen monteras i styrkronan underifrån och låses

med en skruv från ovansidan. Den övre styrkronan är även klämd i ett skruvförband på styrstolpen. Styrstolpen är försedd med två muttrar en undre och övre. Styrkronan och den övre mutter sätter an förbandet på ovansidan styrkronan. Styret sitter skruvad från undersidan av styrkronan. För att ge plats för styrlager har skruvhålen cylindriska försänkningar, se figur 21. Detta ger styrlager och styrlagerskål ett plant anlägg.



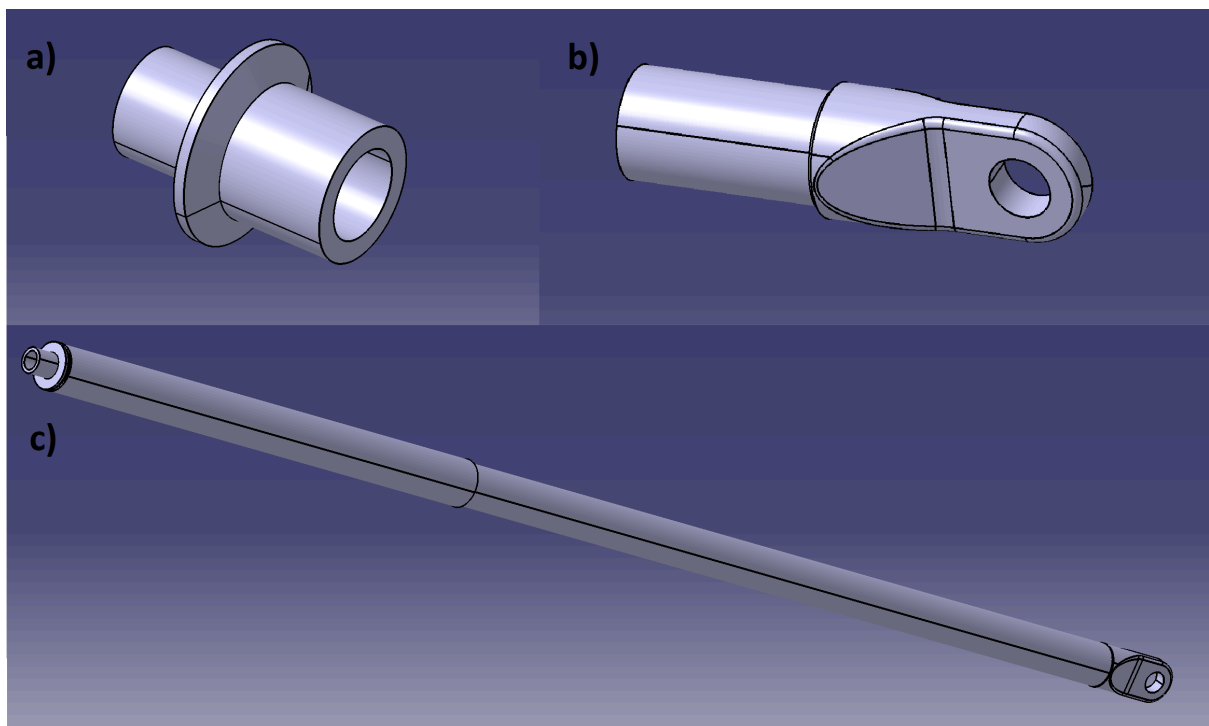
*Figur 21: CAD geometri för SFGns övre gaffelkrona sedd från undersidan*

Som beskrivit tidigare skall fjäderpaketet absorbera fjäderingskrafterna som uppstår mellan de främre och bakre gaffelbenen då dessa är ledat sammankopplade via SFGns rockers, se Figur 5. Fjäderpaketet består av totalt 8 spiralfjädrar; 2 större nedre, 2 större övre och 4 inre fjädrar som sitter innanför de större fjädrarna. Fjäderpaketet fästes mellan de övre och undre gaffelkronorna via en fjäderkrona, se Figur 22. För att fjädringen skall fungera optimalt är det viktigt att SFGns rockers är parallella med markplanet när motorcykeln står upprätt och är lastade med dess tjänstevikt plus förare och eventuell packning. Detta tillåter rockers att rotera lika mycket uppåt och nedåt, och därmed kan fjädringen arbeta lika mycket i kompression som expansion. För att säkerställa att rockers i sitt initiala läge är parallella med markplanet förses fjäderpaketets infästning i det bakre gaffelbenen, dvs dess fjäderkrona, med klämförband, likt den ovan beskrivna infästningen av den undre styrkronan. Detta möjliggör att fjäderpaketets infästning mellan övre och undre styrkrona kan justeras och därmed förskjuta de främre gaffelbenen uppåt eller nedåt vilket således vinklar upp eller ned SFGns rockers. Figur 22 visar fjäderkronan klämförband samt uttag för de sfäriskt axiella lager som möjliggör att de främre gaffelbenens fjäderinfästningar kan löpa genom fjäderkronan.



*Figur 22: CAD geometri för SFGns fjäderkrona vilken fäster fjäderpaketet i de bakre gaffelbenen*

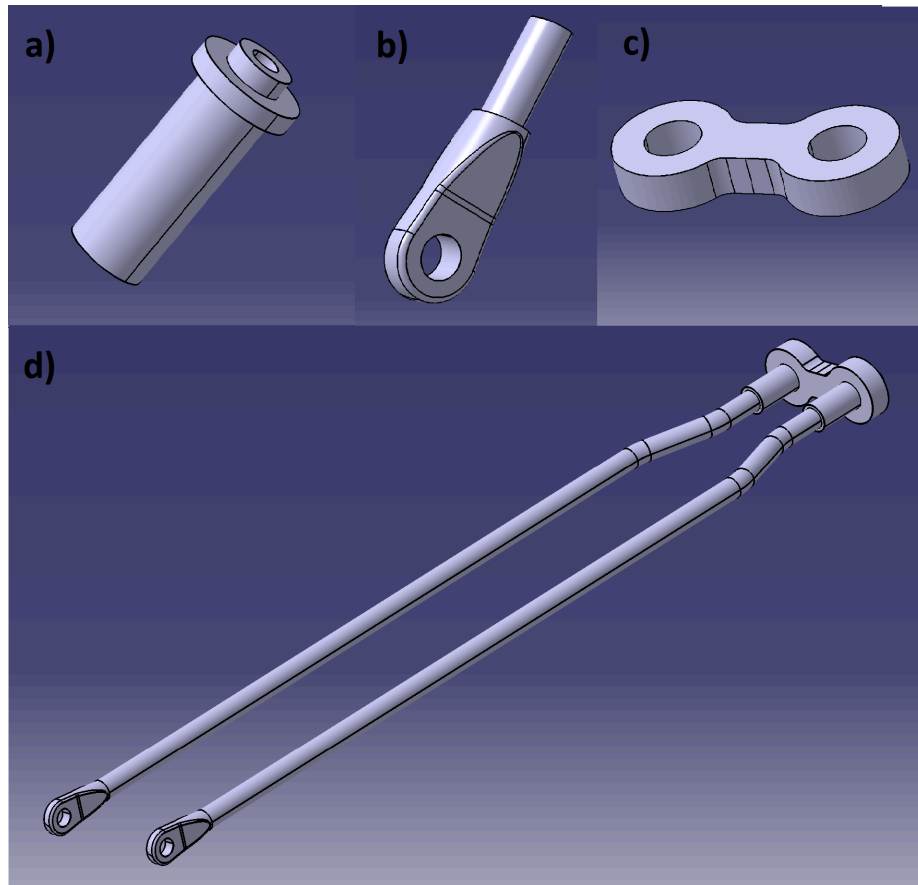
De bakre gaffelbenen består, som beskrivit tidigare, av tre ihopsatta rör för att få en stegvis övergång av effektiv godstjocklek. För att dess nedre ände skall fästas ledat i SFGns rocker förses denna ände med en axelfästning, se Figur 23 b). Låsningen av gaffelben i styrkronorna görs genom de tidigare nämnda klämförbanden och den gängade infästningen, Figur 23 a).



*Figur 23: CAD geometri för SFGns bakre gaffelben, a) Infästning för övre gaffelkrona, b) Axelfästning, c) Komplet bakre gaffelben.*

SFGns främre gaffelben sitter monterade i rockers och i fjäderpaket. Infästningen till rockers görs på samma sätt som för de bakre gaffelbenen, med axelfästningar, enligt Figur 24 b). De främre gaffelben är sammanbundna genom dess infästning i fjäderbryggan, se Figur 24 a) och c). Infästningen har försetts med en invändig gänga för att kunna sammankoppla de

främre gaffelbenen och fjäderpaketet. Fjäderbryggan mellan de två främre gaffelbenen tvingar höger och vänster rocker att röra sig parallellt.



*Figur 24: CAD geometri för SFGns främre gaffelben, a) Infästning fjäderbrygga, b) Axelfästning, c) Fjäderbrygga, d) Komplet främre gaffel*

Sammanställning av samtliga detaljlösningar för hela SFG3 visas i Figur 25.



*Figur 25: 3D Rendering av SFG3*

## Konstruktionsritningar

Med fastställda dimensioner och detaljlösningar designade skapas konstruktionsritningar till stöd för prototyp tillverkningen. Konstruktionen delas upp i tre större delassembleringar, de bakre gaffelbenen, främre gaffelbenen och styrkronor. Delassembleringarna består totalt av 51 komponenter. Av dessa är 19 komponenter designade i projektarbetet och resterande standardkomponenter samt komponenter från SFG1. De bakre gaffelbenen består av 5 olika komponenter och totalt 10 delar i och med SFG's två gaffelben. Komponenterna är; gaffelben, insticksrör, förstärkningshylsa, nedre axelfästning och infästning för övre gaffelkrona. Alla dessa detaljer tillverkas eller bearbetas individuellt, monteras ihop och

sammanfogas med hjälp svetsning. På liknande sätt tillverkas främre gaffelben och nedre styrkronan. För att tillverka en delassemblering krävs ritningar för att tillverka varje enskild ingående detalj samt en sammanställningsritning för att montera ihop alla delassembleringens ingående komponenter.

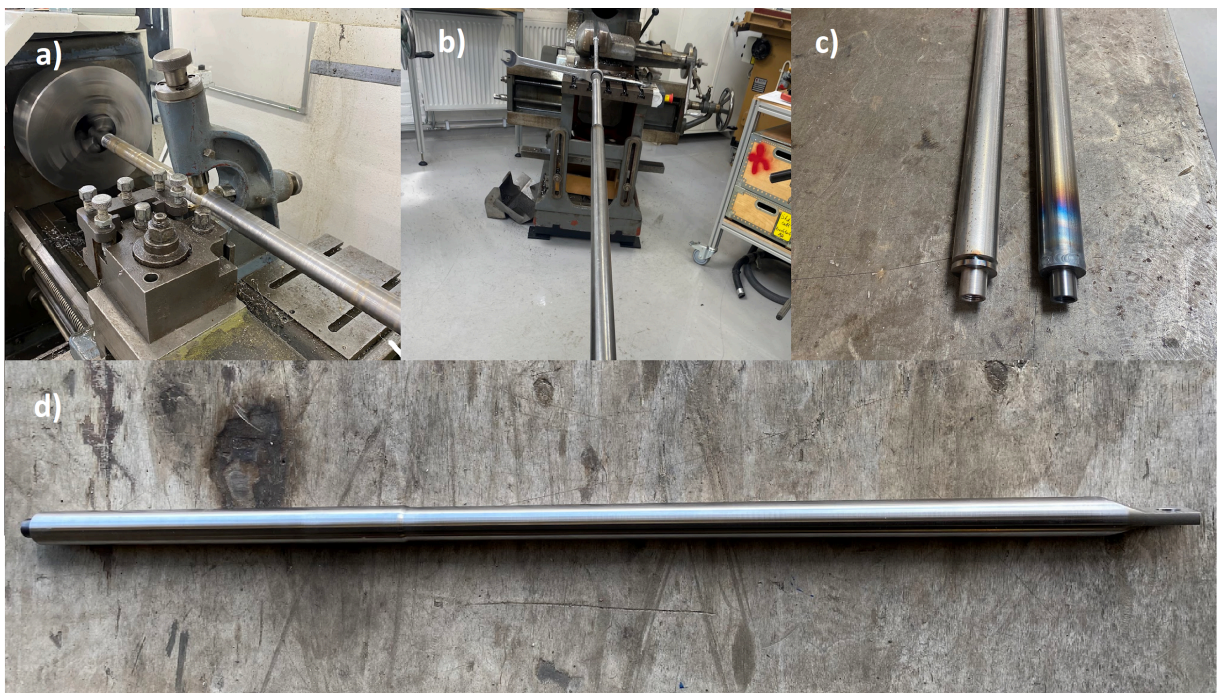
För att skydda mot korrosion och ge en estetiskt tilltalande ytfinish kommer de tillverkade detaljerna att förkromas. Med denna ytbehandling appliceras ett lager med nickel, följt av ett lager med krom via två elektrolytprocesser. Ytbehandlingen gör att samtliga komponenters yttermått växer vilket måste kompenseras för under tillverkningen. Toleranser och marginaler för det tillkommande materialet måste tas hänsyn till. Empiriska riktlinjer från företag i plåteringsbranschen anger att ökade toleranser av cirka 0.05 mm är eftersträva. Detta tas i beaktning under detaljtillverkning och ställer således höga krav på precision och noggrannhet.

## Prototyp tillverkning

Följande kapitel beskriver prototyp tillverkningen av SFG3 så långt den färdigställts i vid tidpunkten då examensarbetsrapporten skrivs. På grund av ambitiöst satta mål i kombination med oförutsett slitage av tillgänglig maskinpark har en komplett prototyp av SFG3 inte kunnat färdigställas. Merjobb till följd av slitage, och således försämrade precision, av tillgänglig svarv fördröjdes tillverkningen.

### Tillverkning

För att tillverka de bakre gaffelbenen svarvas de tre ingående rören i flera steg. Detta på grund av de tillgängliga dimensionerna för rör av Docol R8 och Chromoly inte passar i varandra. Röret med hela gaffelbenets längd och diameter på 31.75 mm har en godstjocklek på 2.41 mm vilket ger en nominell innerdiameter på 26.93 mm. Då Docol R8 är ett rullformat och svetsat rör är detta ovallt invändigt och med en svets skarv att ta hänsyn till. Som insticksrör används ett Chromoly rör med diameter 28.58 mm och godstjocklek på 3.05 mm. Då detta pressas in i fullängdsröret behövs det svarvas för att passa innerdiametern och ett spår fräsas för att ge rum för svets skarven. För att kunna bearbeta ett långt och slankt rör behövs en svarv med medlöpande stöddocka användas för att kunna stabilisera arbetsstycket, svarv och medlöpande stöd visas i Figur 26 a). För att erhålla en god passform mellan insticksrör och gaffelben passas insticksröret in genom att avverkning av några få hundradels millimetrar åt gången tills att det går att pressa in i det yttre röret med hjälp av en lång gängstång, se Figur 26 b). Arbetsmomentet med inpassning av de två rören är mycket tidskrävande då grepp och passningen från det invändigt ovala fullängds gaffelbenet är mycket svårt att beräkna på förhand då detta inte är konstant längs röret.



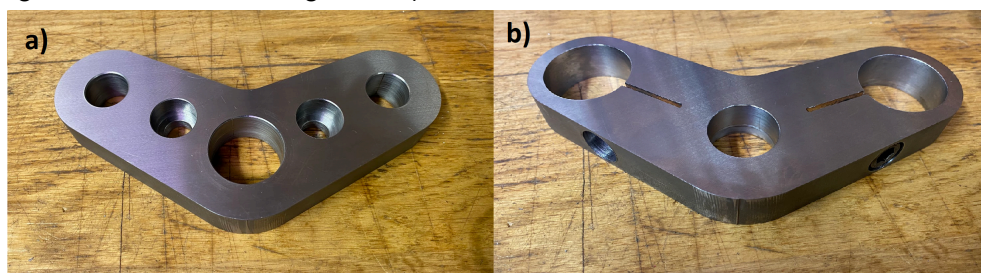
Figur 26: Tillverkning av gaffelben, a) Svarvning med medlöpande stöddocka, b) Inpressning av insticksben, c) Svetsning av gaffelben. d) Färdigställt gaffelben

De detaljer som tillverkas av plåt skärs ut med hjälp av vattenskrärare, se Figur 27 a). För att få korrekt tjocklek och även ökad ytfinitet planslipas dessa detaljer, se Figurer 27 b) och c) för resultat före och efter planslipning. .



*Figur 27: Plåt detaljer a) Vattenskrurna detaljer, b) Samma detaljer vid planslipning, c) Detaljer färdiga för individuell bearbetning*

Figurer 28 a) och 28 b) visar övre och undre gaffelkronor efter att dessa har bearbetats. Övre styrkronan har bearbetats genom att borraras, ändplansförsänka och arborras, allt i ett plan och i en och samma uppspanning i metallfräs, se Figur 28 a). Den nedre styrkronan har på samma vis arborrats i en uppspanning och därefter spänts in vertikalt, vinkelrätt mot klämförbandet slits. Där denna borraras, gängas och ändplansförsänks för klämförbandets ansättningskruv som visas i Figur 28 b).



*Figur 28: Styrkronor, a) Övre styrkrona, b) Nedre styrkrona*

I Figur 29 visas fjäderkronan, denna har arborrats för de bakre gaffelbenen. Bussningslägen har skålförmade försänkningar för att passa de sfäriska bussningarna. Försänkningarna har försetts med ett tvärgående borrhål sammankopplat med en smörjnippel på undersidan av fjäderkronan. På detta sätt är smörjning av bussningarna möjlig utan demontering.



*Figur 29: Fjäderkrona*

## Assemblering

På grund av ovan nämnda oförutsedda slitage av tillgänglig maskinpark medfördes tidskrävande svårigheter att erhålla tillräcklig tolerans. Därav har samtliga delkomponenter ännu inte kunnat bearbetats tillräckligt för att i skrivande stund möjliggöra assemblering av SFGn. Författaren kommer självklart att fullfölja arbetet efter att examensarbetet avslutats.

# Slutsats och sammanfattning

Arbetet presenterat i denna rapport har utförts som examensarbete i Maskinteknik vid Chalmers högskoleingenjörsutbildning. Syftet är att undersöka hur en förlängd springerframgaffel avsedd för ett chopper motorcykelbygge skall designas för att få likvärdiga köregenskaper och hållfasthetsprestanda som en original Harley Davidson 1936 EL "Knucklehead" springerframgaffel. I korthet, undersöka hur en springerframgaffel kan förlängas utan att försämrats. Slutmålet för examensarbetet innefattar även prototyp tillverkning av framtagna design.

Som väntat medför en förlängd framgaffel större belastningar då kraften från framhjulet får längre hävarm och ger således ett kraftigare böjmoment vid framgaffelns infästning i motorcykelramens styrhuvud. Som generella designriktlinjer för att tåla denna belastning föreslås en design med stegvis, teleskoplik övergång från grövre till tunnare godstjocklek i framgaffelns lastbärande gaffelben. Samt en materialkvalité med hög flyt- och brottgräns. På så vis erhålls grövre godstjocklek där belastningen är som störst och tunnare där lasten är som lägst, detta håller även nere vikten på framgaffeln.

Tillgång och utbud av fjäderkomponenter för springerframgafflar är begränsade. De mest tillgängliga och vanligast förekommande är originalfjädrar från Harley Davidson 1936 EL. För att dessa skall ge korrekt fjädringsfunktion i en förlängd springerframgaffel krävs att dess rockers är av samma längd som i Harley Davidson springerframgaffel. Föga förvånande med tanke på att rockerlängden utgör hävarmen för kraften från framhjulet till fjädrarna. Att förlänga rockers i en förlängd springerframgaffel är därför inte ett möjligt alternativ för att erhålla ett korrekt försprång. Ett försprång som ger motorcykeln enkel och smidig kurvtagning bör erhållas genom att framgaffeln designas med rake i styrstolpe eller offset av gaffelben i styrkronor. Det senare innebär betydligt enklare tillverkning då styrstolpen är vinkelrät mot styrkronorna.

För en befintlig ram, i författarens pågående chopperbygge, har en prototyp av en korrekt fungerande förlängd springerframgaffel designats och tillverkats. Design och dimensionering har fastställts med hjälp av FEM beräkningar som jämför original och förlängd springerframgaffel. Med ovan beskrivna designriktlinjer får den förlängda framgaffeln likvärdig fjädringsfunktion, accepterbart försprång och högre maximal lastkapacitet innan kollaps. Designen uppfyller därmed examensarbetets mål och syfte. Konstruktionsritningar och tillverkningsinstruktioner för denna design tagits fram med hjälp av CAD. Prototypen har tillverkats i manuella svarv- och fräsmaskiner.

Studien presenterar även jämförelse mot den vanligast förekommande designen av förlängd springerframgaffel, utan hänsynstagande för ökade laster och försämrade styrgeometri. Simuleringsresultat visar hur denna presterar avsevärt sämre än original ur alla avseenden och, framför allt, hur den inte möter generiska dimensioneringsriktlinjer för fordonshjulupphängningskomponenter. Vilket den i projektet framtagna designen av springergaffel gör med god marginal. Sammantaget belyser studien vikten av att följa de designriktlinjer presenterade i detta examensarbete vid tillverkning av förlängda springerframgafflar för choppermotorcyklar.

## Referenser

- Calles Chopperdelar. (2024, 05 01). *Rigid Frame FL 30deg Wishbone*. Calles Chopperdelar.  
<https://www.calleschopperdelar.com/product/vg-rigid-frame-bt52-53-fl-30deg-wishbone>
- Cossalter, V. (2006). *Motorcycle Dynamics* (2nd ed.). Vittore Cossalter.
- The Eazy Company. (2022). *The Eazy Company*. The Eazy Companys.  
<https://www.theeazyco.com/>
- Foale, T., & Willoughby, V. (2002). *Motorcycle Chassis Design: The Art and Science*. Osprey.
- Lee, Y.-L., Barkey, M. E., & Kang, H.-T. (2011). *Metal Fatigue Analysis Handbook: Practical Problem-solving Techniques for Computer-aided Engineering*. Elsevier Science.
- Limebeer, D.J.N., & Sharp, R.S. (2006). Bicycles, motorcycles, and models. *IEEE Control Systems Magazine*, 26(5), 34-61.
- Masubuchi, K. (2013). *Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion, and Their Consequences* (D. W. Hopkins, Ed.; Vol. 33). Elsevier Science.
- Ovako. (2024, 02 29). *S355JR Steel*. matweb.  
<https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=95b1c3e21c734db3b976e0d50389dccb>
- Pacejka, H. B., & Pacejka, H. (2005). *Tire and Vehicle Dynamics*. Elsevier Science.
- Rana, R., & Singh, S. B. (Eds.). (2016). *Automotive Steels: Design, Metallurgy, Processing and Applications*. Elsevier Science.
- SSAB. (2024, Feb 06). *SSAB Docol Tube R8*. SSAB high-strength steel - sheet, plate, coil, tube, profile - SSAB.  
<https://www.ssab.com/sv-se/varumarken-och-produkter/docol/fordonsstalsorter/ror/r8>
- Verma, M.K. (1978). *Theoretical and Experimental Investigations of Motorcycle Dynamics*. PhD Thesis, University of Michigan.
- Wikipedia. (2024, 4 3). *Daimler Reitwagen*. Wikipedia. Retrieved June 5, 2024, from  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Daimler\\_Reitwagen&oldid=1217043909](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Daimler_Reitwagen&oldid=1217043909)

W&W Cycles. (2024, 01). *Springer forks*. W&W Cycles. Retrieved 1 15, 2024, from  
[www.wwag.com](http://www.wwag.com)