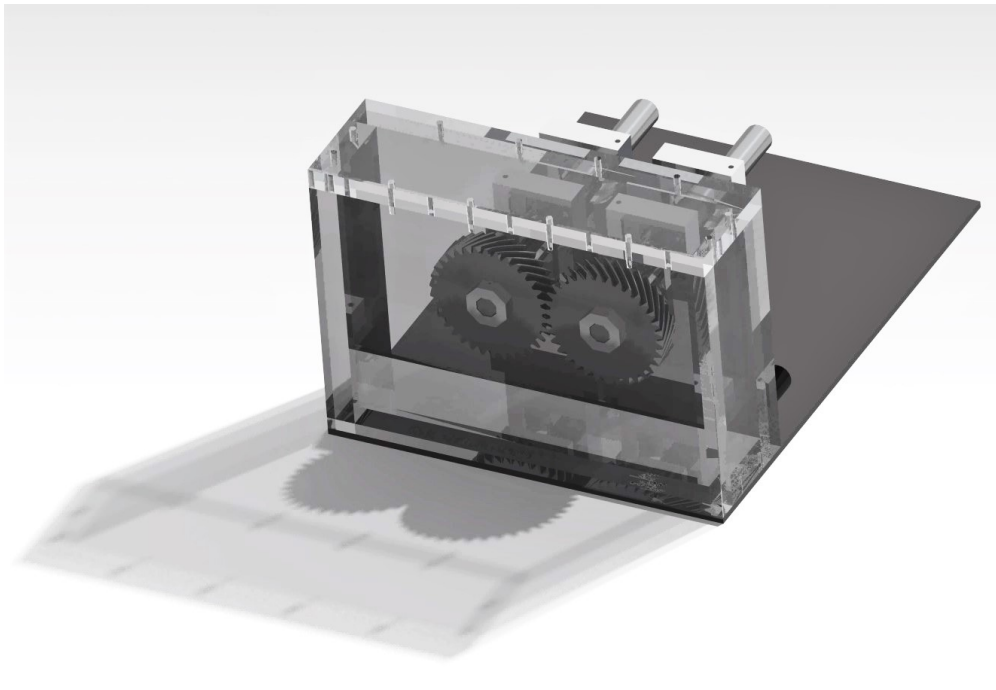




CHALMERS



Virtuell modell av växellåda för visuell kartläggning av interna processer

Framtagning av utrustning för framtida studier inom optimering av verkningsgrad

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet i maskinteknik

Simon Braun

Jonas L. E. Hæg

KANDIDATARBETE 2018:29

Virtuell modell av växellåda för visuell kartläggning av interna processer

Framtagning av utrustning för framtida studier inom optimering av verkningsgrad

SIMON BRAUN
JONAS L. E. HAEG



CHALMERS

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för förbränning och framdrivningssystem
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2019

Virtuell modell av växellåda för visuell kartläggning av interna processer

SIMON BRAUN
JONAS L. E. HAEG

© SIMON BRAUN OCH JONAS L. E. HÆG, 2018.

Handledare:

Sven B. Andersson, Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Examinator:

Petter Dahlander, Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Kandidatarbete 2018:29

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Avdelningen för förbränning och framdrivningssystem

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Bild på framsida: 3D-ritning över en modell av framtagen transparent växellåda.

Komponerat i L^AT_EX

Tryckt av Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2019

Abstract

The background of this Bachelor Thesis is optimizing the efficiency in gearboxes by studying friction and distribution of lubricant in a gearbox. The motive for researching this field is the increasing demand for sustainability and reduced carbon dioxide emissions, which can be related to the efficiency of gearboxes. The aim of our Bachelor Thesis is to instigate further scientific research about optimizing the driveline by providing information regarding how to construct a gearbox which can serve as a fundament for further research. In other words, mapping the activities required for constructing a gearbox. After discussing with CEVT and several postgraduates, a requirement specification was established listing all the needs and desires regarding the study. In order to collect data, a survey was conducted which examined several formerly established gearboxes. The information was then used as references and inspiration for the shaping of our final design. Worth mentioning is that the gearbox will be driven without any load except for the load produced by the lubricant. Having conducted several different design evaluations, it was decided to construct a transparent gearbox in order to maximize the visualization of the ongoing internal processes of the gearbox i.e. the distribution of lubricant on the gears.

The study then continues by determining compatible dimensions of the gearbox components e.g. gears, walls etc. This was done by creating a virtual model in the software Catia v5, setting the adequate constraints and finally running kinematic simulations using the DMU Kinematics function found in Catia. Once the design and dimensions had been defined, the following step was determining which material to use for realizing the virtual model. Using the software CES EduPack along with the requirement specification, the polymer material polycarbonate was selected to use for the walls due to its satisfying mechanical properties, thermal properties and properties for processing.

The study resulted in a virtual model, derived from the defined constraints and criterias, along with detailed information regarding the design process. Since the initial purpose was to provide information and mapping of the activities needed to construct the gearbox, the study achieved its original objective. Moreover, the simulations of the virtual model demonstrate that a physical prototype would function in reality. The Thesis finishes with a discussion on how the construction process was conducted, underlying causes and alternative approaches to certain activities. The study also ends with a conclusion and the authors' input regarding future research.

Förord

Vi vill börja med att framföra vår tacksamhet till vår handledare Sven B. Andersson. Hans hjälp, vägledning och återkoppling har varit ovärderliga vid skrivandet av den här kandidatuppsatsen. Vidare vill vi tacka CEVT som sponsrade oss med kugghjul, axlar och förslag på hur växellådan kan designas. Dessa specifikationer utgjorde underlaget för studiens genomförande och konstruktionsprocessen. Tack även till Valery Chernoray och Göran Brännare som gav oss värdefull kunskap och insikt vid utformningen av designkonceptet och konstruktionen.

Slutligen vill vi tacka våra familjer och vänner som ställt upp för oss.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Metodik	1
1.4	Avgränsning	2
2	Växellådor - teoretisk bakgrund	3
2.1	Allmänt om växellådor	3
2.2	Verkningsgrad	5
2.2.1	Smörjmedets funktion i växellådan	6
2.2.2	Ändring i smörjolvjans viskositet	7
3	Existerande designkoncept av växellådor	9
3.1	Designkoncept 1: Motor Vehicle Gearbox (US4738149)	9
3.2	Designkoncept 2 - Shells transparenta växellåda	10
3.3	Designkoncept 3 - FZG-Testrigg	11
3.4	Designkoncept 4 - existerande CAD-modell	12
3.5	Valt designkoncept för konstruktion	12
4	Kravspecifikation	13
5	Val av material för konstruktion	15
5.1	Programvara för utvärdering av material	15
5.2	Utvärdering och urval av material	15
5.3	Valt material	19
6	Konstruktionsprocess	21
6.1	Systemarkitektur	21
6.2	Tillverkningsprocess	21
6.2.1	Elmotor	21
6.2.2	Transparent låda	22
6.2.3	Lager	23
6.2.4	Rotation	24
6.2.5	Införskaffande av material	26
6.2.6	Virtuell modell	26
6.3	Slutgiltig konstruktion	26
7	Diskussion om vald metodik	31
8	Slutsats	35

Referenser	36
A Bilagor	38
A.1 Ritningsunderlag: Låda	38
A.1.1 Framsida	38
A.1.2 Baksida	39
A.1.3 Bottensida	40
A.1.4 Toppsida	41
A.1.5 Sidovägg	42
A.2 Ritningsunderlag: Fästen för lager	43
A.3 Ritningsunderlag: Hållare för radialtätning	44
A.4 Ritningsunderlag: Stoppring för kugghjul	45
A.5 Ritningsunderlag: Kugghjul	46
A.6 Ritningsunderlag: Axel	47

Lista över använda symboler

I rapporten används flera förkortningar för att redogöra olika begrepp eller samband. De förkortningar som används är:

- τ = skjuvspänning
- τ_1 = ingående moment
- τ_2 = utgående moment
- ω = vinkelhastighet
- r = radie
- η = dynamisk viskositet
- i = utväxling
- v_n = tangentiell hastighet

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I en växellåda påverkar oljans distribution över kugghjulen verkningsgraden och därmed även koldioxidemissionerna. Det globala klimatet blir allt varmare och många aktörer i det globala samhället blir allt mer miljömedvetna och kräver att fordonsindustrin snabbt sänker sina koldioxidemissioner [1]. I dagsläget är koldioxidutsläppen från fordon en av de största bidragande faktorerna till klimatkrisen [2]. I kandidatarbetet genomförs en undersökning på hur man kan ta fram en växellåda i syfte att använda den som underlag för vidare forskning gällande effektivisering av verkningsgraden i drivlinan. Det finns flera alternativ för att reducera koldioxidemissioner bl.a. att elektrifiera drivlinan, men i denna rapport kommer fokus vara på att minska friktionen i växellådan. Genom att reducera förluster relaterade till friktion kan man bl.a. öka verkningsgraden samt reducera emissioner och därmed miljöbelastningen. Denna rapport fokuserar på att framta en modell för oljans distribuering över kugghjulen i en växellåda.

1.2 Syfte

Det saknas i nuläget experimentella data om hur smörjmedel distribueras över kugghjulen. Kandidatarbetets syfte är därför att konstruera en transparent växellåda med två kugghjul för att kunna illustrera smörjmedlets distribution och kartlägga de ingående aktiviteterna i framtagningsprocessen. Motivet är att en transparent design bidrar till en bättre insyn och därmed en tydligare visualisering av växellådans interna processer.

Utrustningen kan sedan användas som fundament för framtida experiment och därmed generera experimentella data gällande t.ex. isolering av faktorer som påverkar verkningsgraden. Mer information kring detta ges i det avslutande kapitlet där framtida studier diskuteras.

1.3 Metodik

Studien initieras med en bakgrund till varför kandidatarbetet behandlar temat optimering av drivlinan. Därefter följer en problembeskrivning till ämnet och syftet med studien. Det ges sedan en allmän introduktion till vad en växellåda är för att läsare med mindre förkunskaper om ämnet ska kunna erhålla bättre förståelse av det behandlade temat. Därefter ges en introduktion av olika faktorer som kan influera verkningsgraden. Bland dessa redogörs smörjmedlets funktion i växellådan och hur det påverkar gränssnitt mellan kugghjul, distribuering av värme

samt skydd mot korrosion. Sedan redovisas fyra olika existerande designkoncept av växellådor, för att illustrera vad som inspirerade till den slutgiltiga designen. I nästa steg definieras en kravspecifikation med ingående krav och önskemål.

När kravspecifikationen fastställts, genomfördes en undersökning över vilka material som kunde uppfylla de uppställda kriterierna. Programvaran CES EduPack användes här för att utvärdera och vikta material mot varandra och generera olika alternativ som uppnår specifikationen. Urvalet baserade sig på krav på transparens, hållfasthet, densitet, termiska egenskaper och även pris pga. studiens budget. Fem alternativa material genererades, och dessa sattes i kontrast gentemot varandra i en Pugh-matris, med resultatet att polykarbonat ansågs vara det överlägsna materialet

Efter att ha definierat materialet, beskrivs olika ingående delsystem i växellådans systemarkitektur med avseende på hur de kan konstrueras. En preliminär detaljkonstruktion ställs sedan upp kring hur materialet kan införskaffas, varav en slutlig reviderad version sedan presenteras. En virtuell modell framtogs sedan för att verifiera att de ingående parametrarna inte gav upphov till någon underskärning och att konceptet fungerar i verkligheten.

Studien avslutas med en diskussion av projektets process, där varje aktivitet i studien motiveras samt alternativa tillvägagångssätt presenteras.

1.4 Avgränsning

För att kandidatarbetet ska hållas inom rimliga gränser med avseende på tid, resurser och mål definieras vissa avgränsningar. Avgränsningar är:

- Kandidatarbetet är översiktligt och syftar till att inspirera mer studier inom området. Vi inkluderar därför inte momentförlusten och andra korrelationer i analysen.
- Kandidatarbetet är tidsbegränsat till 15 veckor och ingen färdig modell hin- ner därför tillverkas, utan bara vissa konstruktionselement.

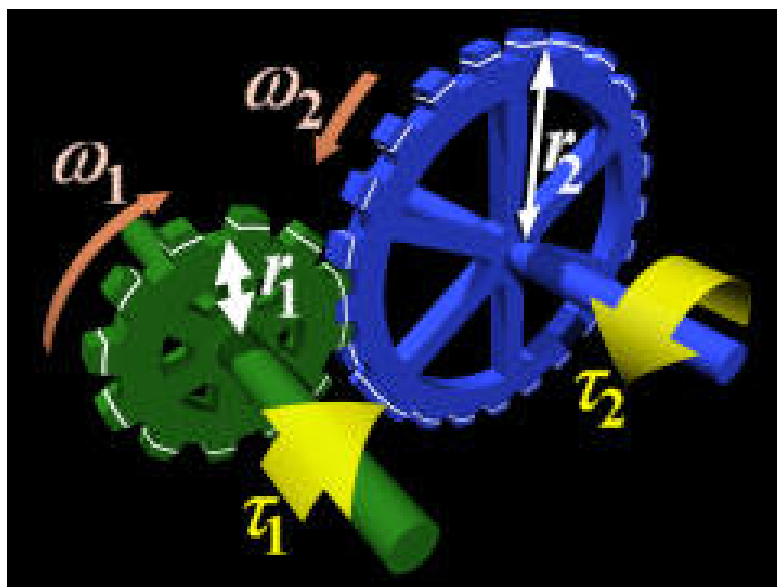
2 Växellådor - teoretisk bakgrund

I detta kapitel ges en allmän introduktion om växellådor och en teoretisk förankring om verkningsgraden för att skapa en bild på vilka faktorer som inverkar på verkningsgraden. Vidare tas det upp hur smörjmedlet och kugghjulen påverkar växellådans totala verkningsgrad.

2.1 Allmänt om växellådor

Växellådan är den del i en maskin som hanterar transmissionen mellan motor och drivhjul. Dess funktion är att reglera utväxlingen utifrån vinkelhastighet eller moment. Ett vanligt sätt att göra detta på är att använda sig av olika kombinationer av kugghjul, eftersom att olika storlekar på kugghjulen påverkar vinkelhastigheten och vridmomentet. För att kugghjulen skall följas åt, måste den tangentiella hastigheten i ingreppet vara densamma för båda kugghjulen [3, s 415]. Den tangentiella hastigheten ($v_n = \omega r$) är proportionell mot vinkelhastigheten och radien, vilket leder till följande samband för utväxlingen (se Figur 1):

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$



Figur 1: Utväxling mellan två kugghjul. Från [4], CC-BY-SA

Kraften som verkar på kuggarna blir samma för båda kugghjulen enligt Newtons tredje lag. Med radien som hävarm kan man se att vridmomentet är proportionellt mot kugghjulets radie

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (2)$$

Slutligen sätts Ekvation 2 in i Ekvation 1 och sambandet mellan vridmoment och vinkelhastighet erhålls då enligt Ekvation 3.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (3)$$

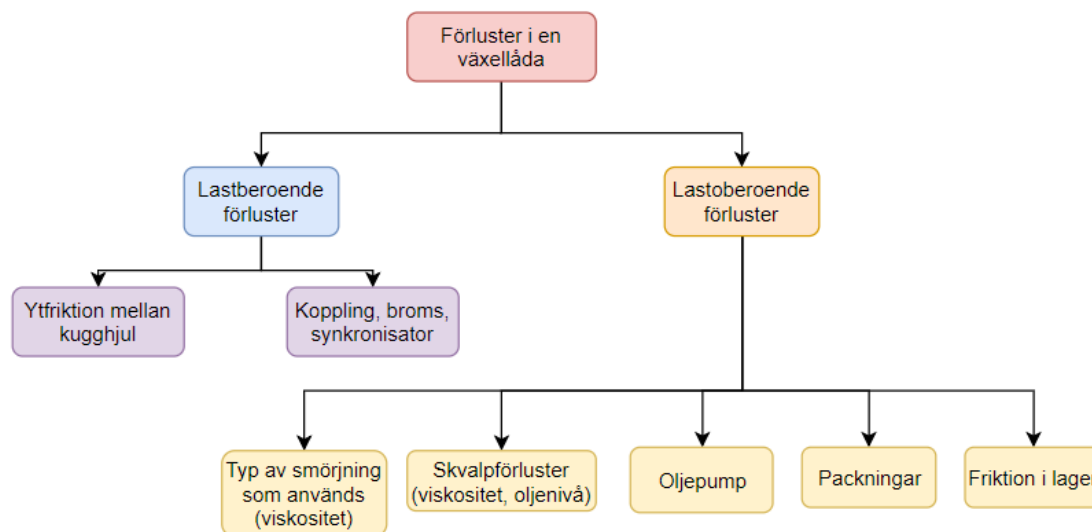
Dock gäller detta samband endast i det ideala fallet då man inte har någon mekanisk förlust, som t.ex. ytfriktion mellan kuggarna [4].

I Figur 1 visas en illustration på hur två kuggjul samverkar med t.ex. ingående moment och vinkelhastighet på det gröna kugghjulet respektive utgående på det blå kugghjulet. I detta fall, enligt Ekvation 1 och 2, erhålls en utväxling i form av ett ökat utgående vridmoment, men med en reducerad vinkelhastighet. Detta på grund av att det blå kugghjulet har en större radie än det gröna kugghjulet. Om man istället applicerar ingående moment och vinkelhastighet på det blå kugghjulet erhålls en utväxling med en högre utgående vinkelhastighet, men med ett reducerat vridmoment.

Om kugghjulen smörjs med ett smörjningsmedel och kugghjulen roterar med smörjfilmen så uppstår en viss friktion och därmed en energiförlust då en viss del av den kinetiska energin från kugghjulen övergår till termisk energi (värme). Detta medför att verkningsgraden minskar. Den generella verkningsgraden i mekaniska växellådor med smörjning i passagerarfordon är mellan 92-97 procent i Tyskland. Automatiska växellådor med varierande kugghjulspar, i Tyskland, uppnår i snitt en effektivitet på 90-95 procent [5, s.67].

2.2 Verkningsgrad

Enligt tidigare forskning kan man genom att välja ett smörjmedel med passande viskositet minska växellådans totala förluster med upp till 20 procent [6]. Smörjmedlet har med andra ord mycket stor påverkan på växellådans totala verkningsgrad. Verkningsgraden i en växellåda beror på många olika faktorer, där några av de mest centrala visas i Figur 2 [7].



Figur 2: Vanliga förluster i en växellåda

Förlusterna kan delas in i två huvudkategorier: lastberoende och lastoberoende förluster. De lastoberoende förlusterna uppstår då kugghjulen roterar i oljan för att smörjas utan att någon last eller moment överförs. Sådana förluster kan t.ex. vara skvalpförluster eller förluster på grund av friktion i packningar och lager. De lastberoende förlusterna kan delas in i förluster i koppling broms och synkronisator, och förluster på grund av friktion mellan kuggarna då dessa uppstår då man för över en last.

För att uppnå hög verkningsgrad kan man från Ekvation 4 (ekvation för momentförlust) se att man rent geometrisk måste välja kugghjul med stora kuggtal, låga ingreppstal och låg friktion (god smörjning). Momentförlusten för cylindriska rakkuggväxlar ges enligt följande [3, s.443]:

$$f_M \approx \frac{\mu\pi\epsilon}{2} \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \quad (4)$$

De ingående variablerna i Ekvation 4 defineras som:

z =kuggtal

μ =friktionskoefficient

ϵ =ingreppstal

En viktig observation är att Ekvation 4 endast behandlar friktionen mellan kuggarna. I växellådan tillkommer också, som nämnt tidigare, skvalpförluster vilket beror på kugghjulens rotationshastighet och anses vara minst lika stora som momentförlusterna.

2.2.1 Smörjmedets funktion i växellådan

Det förekommer generellt smörjmedel i växellådor på grund av de funktioner smörjningen uppfyller. Smörjmedet i en växellåda har generellt tre huvuduppgifter där dessa är:

- Smörjning:

Att hålla friktionsytorna mellan kugghjulen åtskilda. Oljan läggs som en film på kugghjulen, vilket minskar friktionen när kontakt mellan kugghjulstånderna initieras. Detta medför minskad nötning på kugghjulstånderna som skulle kunna uppstå.

- Kylning

Att transportera bort värme från kugghjulen. Efter att tänderna i kugghjulen initierat kontakt med varandra, kommer detta att alstra termisk energi i form av att kugghjulstanden blir varmare. Detta är på grund av att friktionen från kontakten mellan kugghjulstånderna genererar värme. Oljans funktion kan därför ses som ett sätt att transportera bort den skapade värmen från kugghjulen och distribuera den till omgivningen.

- Korrosionsskydd

Att förebygga uppkomsten av korrosion i konstruktionen. Om omgivningen är fuktig kan korrosion uppstå om metall eller metallegeringar används som materialval till konstruktionen. Denna korrosion kan förebyggas om olja används för att förhindra kontakt mellan metallytan och vattnet.

2.2.2 Ändring i smörjoljans viskositet

Oljans viskositet påverkar, som tidigare nämnt, den totala verkningsgraden i form av bland annat skvalpförluster. Under drift kommer temperaturen i smörjmedlet att variera pga. den uppkomna friktionsförlusten. För att ta hänsyn till den dynamiska viskositeten η , som beror på temperaturen T och trycket p , används följande samband [3, s.48]:

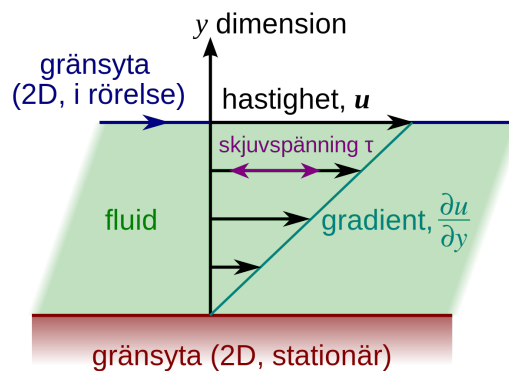
$$\eta = \eta_{ref} e^{\alpha p - \beta T} \quad (5)$$

Där η_{ref} är referensviskositeten vid rumstemperatur och atmosfärstryck. Termen α är viskositets-tryckhetsindex och β är viskositets-temperaturindex, dessa index beror på trycket och temperaturen i smörjmedlet. Ekvation 5 gäller för rimliga temperaturer och tryck ($T < 150^\circ C$ och $p < 100$ MPa).

Fortsättningsvis påverkas skjuvspänningen τ av den dynamiska viskositeten enligt följande konstitutiva samband:

$$\tau = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \quad (6)$$

där u , för ett litet volymselement, är den lokala hastighetskomponenten till smörjmedlet längs flödesriktningen och y är avståndet från gränssytan (se Figur 3). Man kan från ekvation 6 se att skjuvspänningen mellan smörjmedlet och kugghjulet är proportionell mot hastighetsgradienten där den dynamiska viskositeten fungerar som proportionalitetskonstant [3, s.46-47].



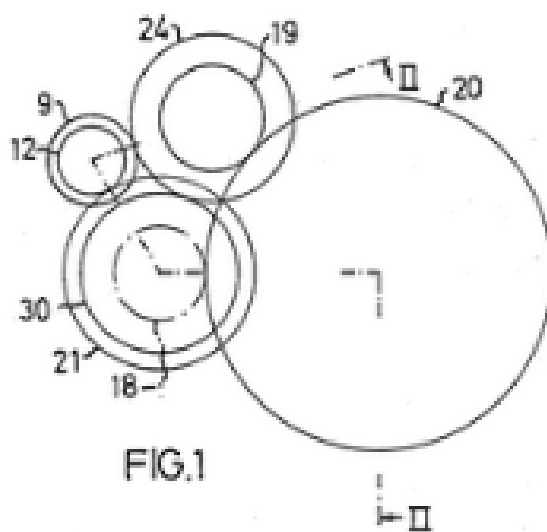
Figur 3: Storheter i definitionen för skjuvspänning. Från [8], CC BY-SA 3.0

3 Existerande designkoncept av växellådor

En litteraturundersökning genomfördes av existerande koncept för framtagning och konstruktion av en växellåda. I detta kapitel redovisas koncepten för att åskådliggöra hur olika typer av växellådor ser ut. Motivet är att koncepten kan bidra och inspirera till utformningen av en funktionell och tillverkningsbar växellåda och utgör med detta underlag för slutdesignen och konstruktionen.

3.1 Designkoncept 1: Motor Vehicle Gearbox (US4738149)

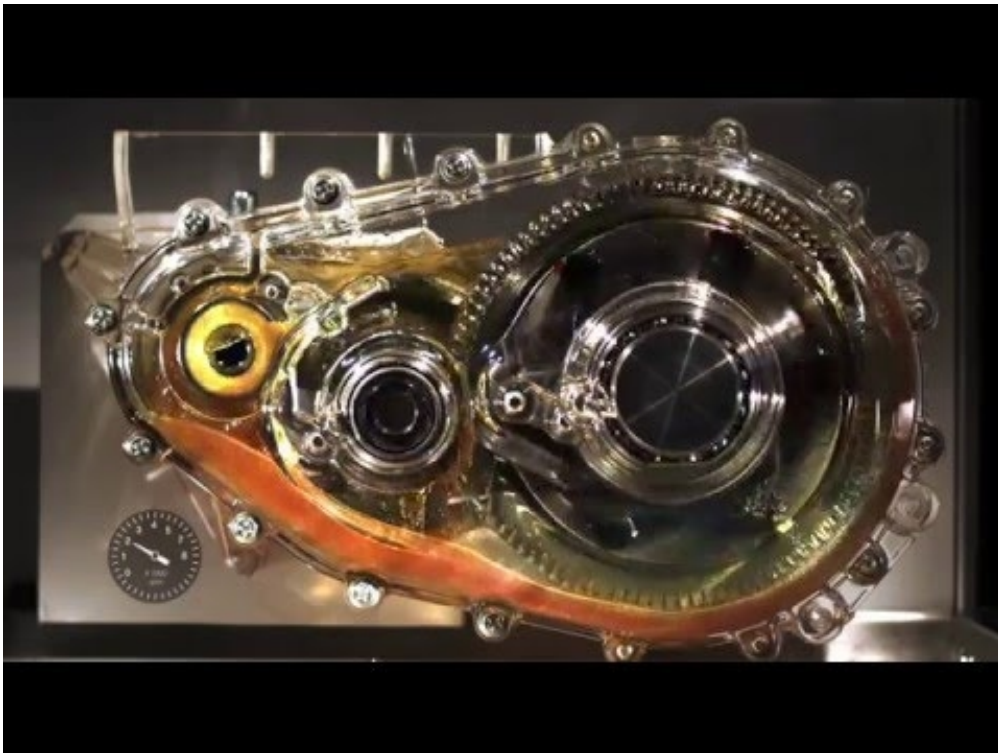
Konceptet relaterar till en växellåda för ett motordrivet fordon [9]. Denna växellåda har två ingångsaxlar anordnade att drivas växelvis. Vidare finns det även två mellanaxlar som har ingripande kugghjul med ingångsaxlarnas. Här är tanken att åtminstone ett kugghjul i varje par är frigörbara från sin axel. Värt att notera är att detta patent citeras i flera andra patent som tagits fram av företag främst verksamma inom automotivindustrin bland annat Volvo, Honda, General Motors, Volkswagen, Ford, Toyota m.m



Figur 4: Bild av designkoncept 1. Från [9]

3.2 Designkoncept 2 - Shells transparenta växellåda

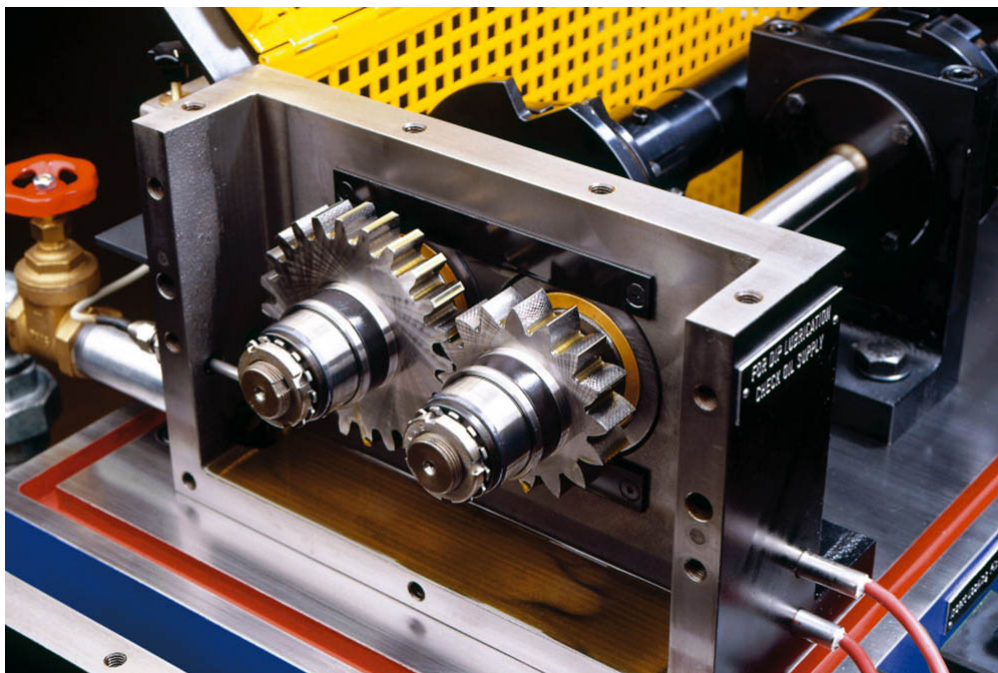
Shell har utvecklat en transparent växellåda för att illustrera hur funktionella deras smörjolja är. Växellådan består av tre kugghjul. En vinkelhastighet och ett moment appliceras på det minsta kugghjulet som sedan driver de resterande två kugghjulen. Den transparenta lådan gör det enkelt att se hur smörjoljan distribueras över kugghjulen. En bild på konceptet visas i Figur 5.



Figur 5: Smörjning i transparent växellåda från Shell. Från [10]

3.3 Designkoncept 3 - FZG-Testrigg

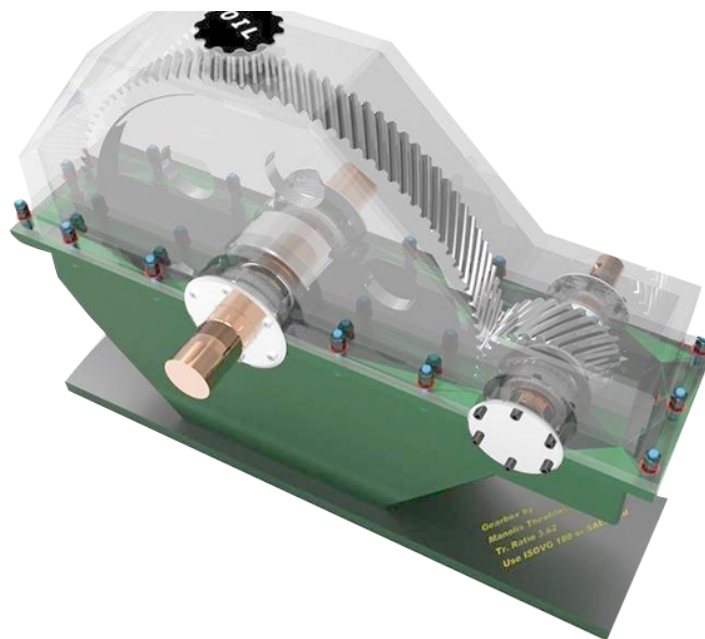
FZG testrigg för kugghjul valdes även som ett designkoncept. Testriggen har en rektangulär geometri och lagren är fästade i båda fram- och bakväggen. Testriggen har även två axlar: en utgående och en ingående, samt utrustning för att kunna mäta momentet på båda axlarna. Det hela drivs av en elektrisk motor där rotationshastighet kan regleras från 0 - 3000 rpm. Fortsättningsvis har testriggen ett axelavstånd på 91.5 mm, samt en maximal oljetemperatur på 120 °C[11].



Figur 6: FZG-testrigg. Från [11]

3.4 Designkoncept 4 - existerande CAD-modell

En modell med en mer komplex geometri undersöktes med avseende på insyn och utformning. En aspekt som observerades var att transparensen endast möjliggör okulär observation av växellådans överdel men inte den undre delen vilket kan ses i Figur 7.



Figur 7: "Halv"-transparent växellåda från Grabcad. Från [12]

3.5 Valt designkoncept för konstruktion

Från de olika patenten och modeller som redan finns tillgängliga på marknaden valdes lämpliga designkoncept som underlag för konstruktionsprocessen. Efter att ha granskat och utvärderat de olika patenten och existerade modeller genererades ett designkoncept som en kombination av koncept 2 och koncept 3. Motiveringen är att designkoncept 2 har en väldigt illustrativ karakteristik medan koncept 3 har en geometri som är enklare att realisera utifrån de verktyg som finns tillgängliga. Det slutgiltiga konceptet illustreras längre fram i rapporten, i Figur 16-18 i kapitel 6 efter att andra parametrar har definierats.

4 Kravspecifikation

En kravspecifikation gjordes för att på ett organiserat sätt säkerställa att konceptet uppnår intressentens krav och önskemål. Krav är här kriterier som konceptet måste uppfylla, medan önskemål ej nödvändigtvis behövs uppfyllas även om det är önskvärt. Vissa av kraven är bestämda a priori av kandidatgruppen, intressenter och handledare. De ingående kriterierna i kravspecifikationen illustreras i Tabell 1.

Kriterier	Krav/Önskemål	Målvärde	Enhet	Verifiering	Referens
1. Insyn					
1.1 Transparans	Krav	Ge tydlig insyn	Optisk enhet	Analys	CEVT
2. Material					
2.1. Duktilitet	Önskemål	>2	MPa.m ^{0,5}	Analys	Projektgrupp
2.2. Temperaturegenskaper	Krav	>50	C	Analys	Projektgrupp
2.3. Densitet	Önskemål	<1500	kg/m ³	Analys	Projektgrupp
2.4. Sträckgräns	Krav	>30	MPa	Analys	Projektgrupp
3. Kugghjul					
3.1. Rakkugg	Önskemål	Funktionell	Typ av kugghjul	Analys	Projektgrupp
3.2. Snedkugg	Önskemål	Funktionell	Typ av kugghjul	Uppskattning	CEVT
3.3. Kuggantal	Krav	2	Kugghjul	Analys	Projektgrupp
4. Geometri och design					
4.1. Storlek på låda	Önskemål	300x200	mm	Uppskattning	Projektgrupp
4.2 Storlek på kugghjul	Önskemål	40	mm	Uppskattning	Projektgrupp
4.3. Axelavstånd	Krav	85,04	mm	Analys	CEVT
4.4. Luftventil	Önskemål	<pi*15*15	mm	Uppskattning	Projektgrupp
4.5. Temperaturmätare	Önskemål	-	C	Analys	CEVT
4.6. Kylsystem	Önskemål	-	C	Analys	CEVT
4.7. Portabel	Krav	<500x500x500	mm	Uppskattning	Projektgrupp
4.8. Dränage	Krav	<pi*15*15	mm	Uppskattning	Projektgrupp
5. Prestanda					
5.1. Distribuera olja över kugghjul	Krav	-	-	Analys	CEVT
5.2. Ge insyn under process	Krav	-	-	Analys	CEVT
5.3. Utbytbara kugghjul	Önskemål	-	-	Analys	Projektgrupp
6. Kostnader					
6.1. Materialkostnad	Krav	<1500	SEK	Analys	Projektgrupp
6.2. Tillverkningskostnad	Krav	<3500	SEK	Uppskattning	Projektgrupp

Tabell 1: Kravspecifikation över de krav och önskemål som togs fram av projektgruppen och CEVT

Kriterierna delas in i kategorierna: insyn, material, kugghjul, geometri och design, prestanda och kostnader. Lådans transparans fastställs som krav, detta för att ge tydlig insyn av lådans interna processer. Fortsättningsvis sätts krav på att materialet ska klara av en viss arbetstemperatur samtidigt som en undre sträckgräns definieras. Antalet kugghjul sätts till 2, då det är tillräckligt att observera oljans distribution mellan två kugghjul. För att verifiera att kraven uppfylls kontrolleras dessa i den slutliga konstruktionen.

Önskemål är erhållna från projektgruppen och CEVT. De flesta önskemålen är kopplade till konstruktionens design, geometri eller material. Dessa utvärderas dock i andra hand då de inte kan uppfyllas på bekostnad av kraven. Centrala önskemål är bl.a. implementering av kylsystem för att kyla ner oljan under drift, temperaturmätare för att kunna mäta aktuell temperatur under drift efter en viss tid, luftventil för att undvika för högt tryck i lådan under drift, samt storleken på lådan.

5 Val av material för konstruktion

I detta avsnitt behandlas vilka underliggande kriterier som ligger till grund för valet av materialet för växellådan. Utvärderingsprocessen illustreras både i textform och med figurer. Vidare avslutas kapitlet med det slutgiltiga materialet som valdes för konstruktionen.

5.1 Programvara för utvärdering av material

Programvaran CES EduPack har använts för att vikta och utvärdera olika materials egenskaper. CES EduPack har en databas bestående av en stor mängd olika material där varje materials egenskaper presenteras gällande t.ex. optiska egenskaper (transparent), mekaniska och termiska egenskaper, pris per enhet m.m. Genom att använda sig av dessa ingående parametrarna för varje material, kan man vikta dem gentemot varandra och erhålla vilket eller vilka material som uppnår ens kriterier. Detta är motivet för att programvaran valdes att användas för att utvärdera olika material för växellådan. De olika utvärderingsstegen redovisas i avsnitt 5.2.

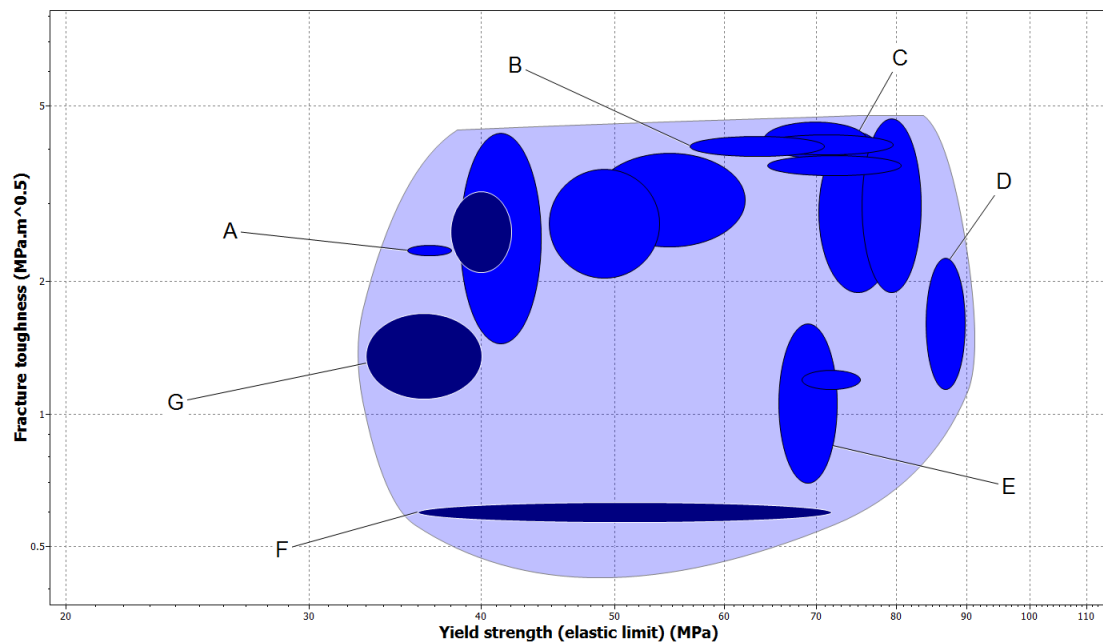
5.2 Utvärdering och urval av material

Vid val av material för växellådan användes flera analyser för att kunna jämföra vilka material som är lämpligast utifrån de faktorer som ansågs mest relevanta för studien. Efter att ha genomfört en enkel analys av materialgruppernas typiska egenskaper, ansågs polymergruppen vara mest lämpad för tillverkning av utrustningen. En av dessa faktorer var transparent för insyn och duktilitet för bearbetning.

De listade materialen är olika typer av polymerer kompatibla med oljor och deras respektive egenskaper utvärderas i figurerna nedan. De olika materialegenskaperna är hämtade från materialdatabasen CES EduPack och några centrala egenskaper visas i Figur 8 - 10. De parametrar som valdes för att utvärdera materialen motiveras.

Hållfasthet:

Polymerernas hållfasthet påverkar hur de interagerar med oljan och därmed hela processen t.ex. om plasten är amorf eller kristallin, duktil eller spröd etc. För att undvika sprickbildning vid bearbetning (t.ex. vid borrning av hål för in- och utgående axlar) och för att klara av en tryckökning i lådan behövs ett duktilt och hållfast material. Ett diagram över materialens duktilitet och sträckgräns visas i Figur 8. Man kan från figuren observera att polykarbonat (C) har hög duktilitet och en hög sträckgräns jämfört med resterande material.

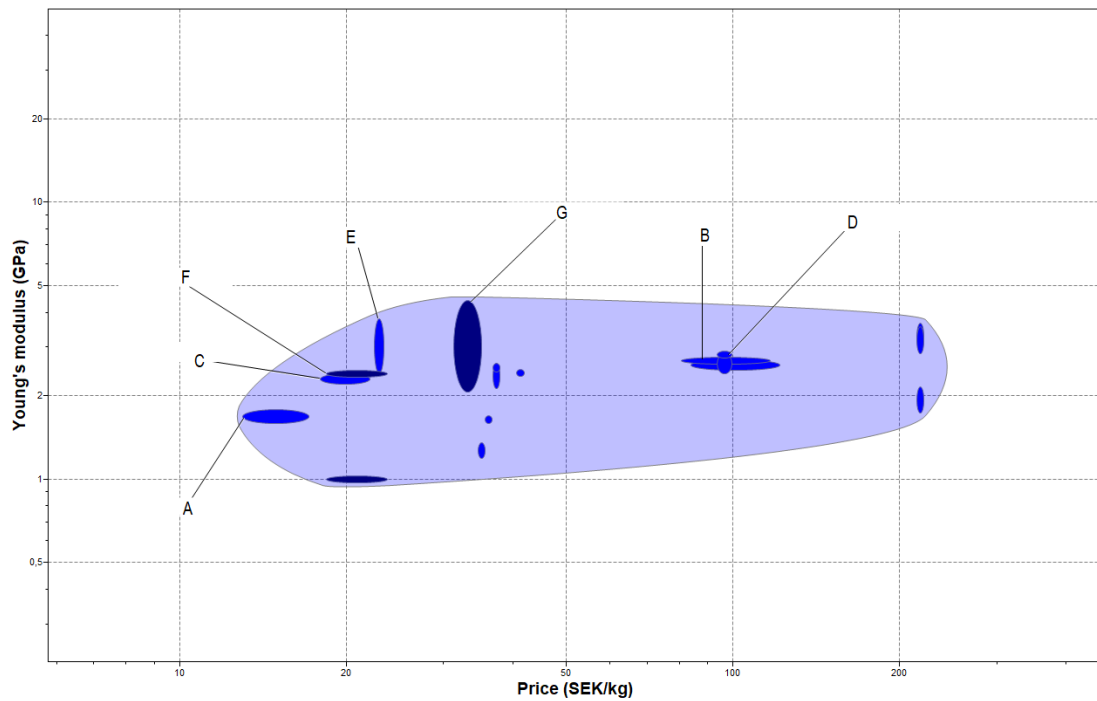


Figur 8: Diagram över de polymera materialens duktilitet och sträckgräns.

- A: PP (homopolymer, clarified/nucleated)
- B: PA transparent (part-cycloaliphatic, amorphous, mid Tg)
- C: PC (copolymer, heat resistant)
- D: PESU (general purpose)
- E: PMMA (heat resistant)
- F: Epoxy resin (unfilled)
- G: Polyester (cast, rigid)

Pris:

De monetära resurserna begränsar materialvalen och därmed konstruktionen. Denna parameter inkluderas därför som en av de egenskaper som påverkade materialvalet. I Figur 9 jämförs materialets kostnad och E-modul. Materialen har ungefär samma E-modul (1-4 GPa), medan kostnaden varierar från c:a 15 - 200 kr/kg. De minst kostsamma materialen är i detta fall polykarbonat (C) och polypropen (A).



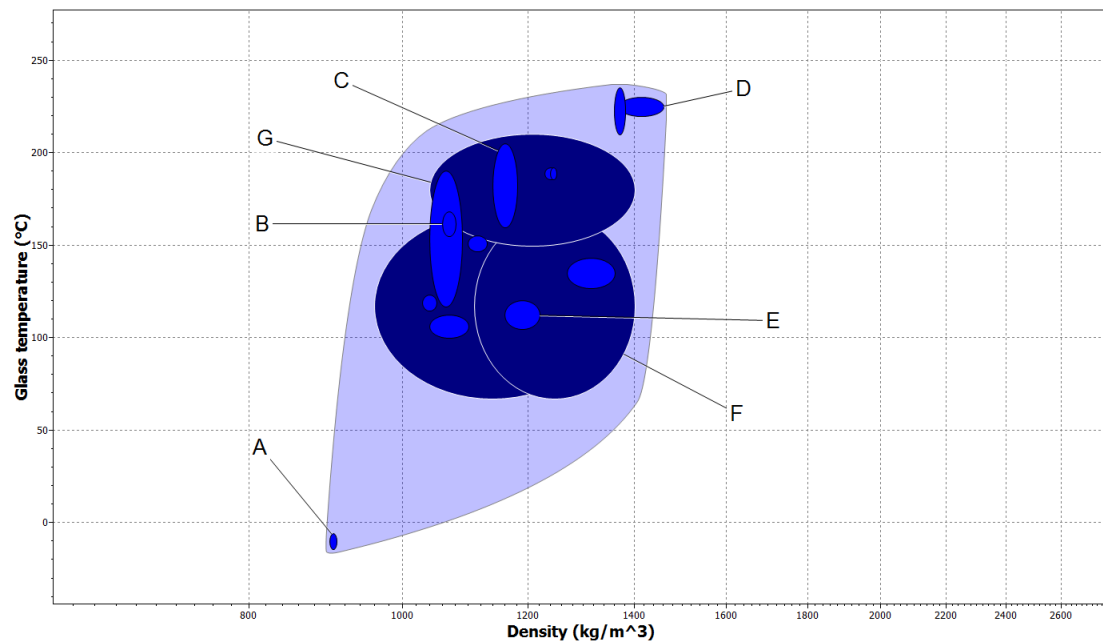
Figur 9: Diagram över de polymera materialens E-modul och pris

Glasomvandlingstemperatur och densitet:

Vid höga rotationshastigheter är sannolikheten högre att polymeren smälter pga. den ökade temperaturen som uppstår av friktionen. Glasomvandlingstemperatur används för att benämna när polymerer börjar övergå från solid form till vätskeform dvs. när de börjar deformeras (smälta) och förlorar sina mekaniska egenskaper.

Plastens densitet påverkar vilken geometri som kan användas vid designen av växellådan samt materialkostnaden. Vid exempelvis hög densitet kan lägre dimensioner användas vid tillverkningen dvs. tunnare väggar.

Från Figur 10 kan man se att polyester (G), polyamid (B) och polykarbonat (C) är de material med högst glasomvandringstemperatur och lägst densitet.



Figur 10: Diagram över de polymera materialens glastemperatur och densitet

5.3 Valt material

Efter att ha utvärderat materialslagen sammanställdes de mest lovande alternativen i en Pugh-matris som illustreras i Tabell 2 för val av lämplig transparent polymert material till lådan.

Kriterier:	Alternativa material				
	Referens (PMMA)	Polycarbonat (PC)	Polyester	Epoxy	Polyethersulfone (PESU)
Densitet	0	0	+	-	-
Sträckgräns	0	0	-	-	+
Duktilitet	0	+	0	-	+
Arbetstemperatur	0	+	+	-	+
E-modul	0	-	+	-	0
Pris	0	+	-	+	-
Summa +	0	3	3	1	3
Summa 0	6	2	1	0	1
Summa -	0	1	2	5	2
Nettovärde	0	2	1	-4	1
Rangordning	3	1	2	4	2

Tabell 2: Pugh-matris som illustrerar utvärdering och rangordning av de olika polymera materialen

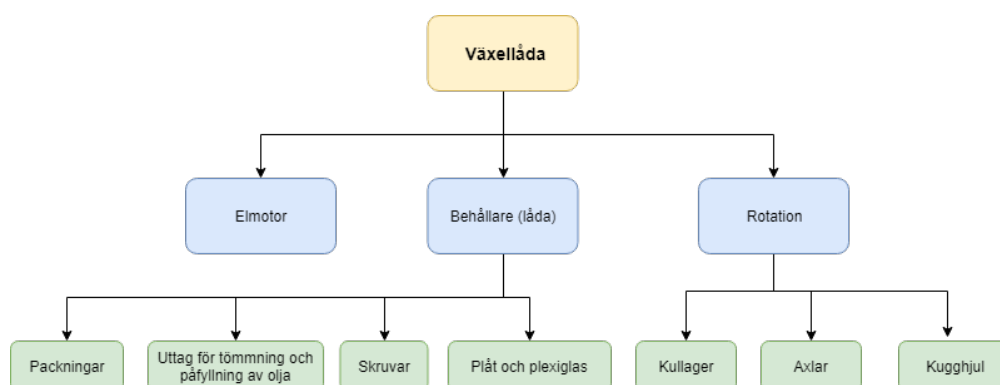
Utifrån matrisen kan man se att polykarbonat (PC) överträffar de andra materialen gällande duktilitet, arbetstemperatur och pris. Duktiliteten är relevant då materialet behöver bearbetas utan att sprickor initieras. Arbetstemperaturen är viktig då materialet måste klara av den termiska belastningen under drift. Med varje materials för- och nackdelar som underlag valdes därför polykarbonat som material för tillverkningen.

6 Konstruktionsprocess

Kapitlet startar med en introduktion till växellådans systemarkitektur och vilka egenskaper de ingående delsystemen behöver ha för att uppnå kravspecifikationen. Vidare diskuteras hur materialet kan införskaffas, antingen externt eller in-house. Avslutningsvis ges en slutgiltig konstruktion.

6.1 Systemarkitektur

Systemarkitekturen ämnar att definiera ingående delsystem i strukturen och hur dessa ska behandlas för att konstruera växellådan på ett tillfredsställande sätt. Systemet har delats in i delsystemen: elmotor, låda och rotation. Dessa delsystem, med tillhörande komponenter, illustreras i Figur 11.



Figur 11: Systemarkitektur för växellåda

6.2 Tillverkningsprocess

Vid tillverkning av växellådan kommer polykarbonat användas för att bygga lådan. Delkonstruktionen i polykarbonat kommer att införskaffas externt efter önskvärda geometrier. Dessa geometrier definieras av de verktyg vi har tillgång till vid den fysiska tillverkningen.

6.2.1 Elmotor

Elmotorn är den del som driver hela systemet. Denna kommer inte att konstrueras utan snarare att införskaffas externt. Elmotorn kommer anpassas efter de ingående delsystemens geometri och vad som efterfrågas av moment och vinkelhastighet. Maximala rotationshastigheten bestäms till 600 rpm och momentet sätts till 1 Nm för att övervinna trögheten i systemet och oljans motstånd [13].

För att beräkna effekten i tidsenheten sekunder, omvandlas rpm till rps genom att dividera med 60. Effekten kan beräknas enligt följande samband:

$$P = M \frac{\omega}{60} \cdot 2\pi = 1 \cdot \frac{600}{60} \cdot 2\pi \quad (7)$$

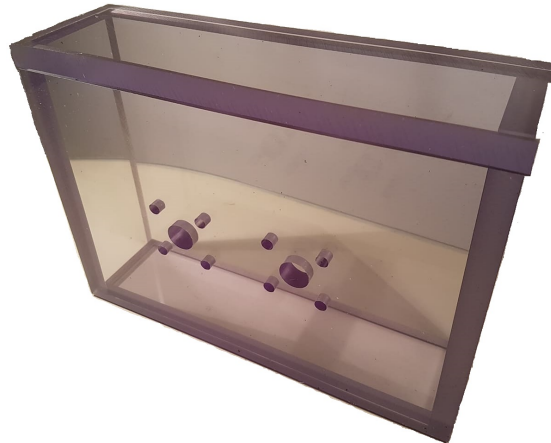
Med framtagen vinkelhastighet och moment fås en önskad effekt på elmotorn på $P = 62.8W$. Denna parameter används som beslutsunderlag vid val av lämplig elmotor.

6.2.2 Transparent låda

För att observera den inre processen konstrueras lådan så att den är transparent. Som nämnts innan har polykarbonat valts som lämpligt material på grund av dess önskvärda egenskaper (se kapitel 5 för hur urvalet gick till). Till lådan kommer att ingå en underdel bestående utav två sidoväggar, undersida, framsida och baksida, samt en separat överdel som kan skruvas fast och fungerar som ett lock. Efter att dessa har konstruerats ska komponenterna till underdelen kunna sammanföras m.h.a ett adhesivt medel. Alla delarna har valts att konstrueras i polykarbonat på grund av den visuella insynen som ges av ett transparent material, se Figur 12 och 13. Vidare är polykarbonat duktilt vilket påvisades under materialutvärderingen. Detta reducerar risken för sprickinitiering under bearbetning och montering.



Figur 12: Frontvy av laserskurna väggar av polykarbonat



Figur 13: Isometrisk vy av laserskurna väggar av polykarbonat

Radialtätningar monteras på lådan i egna hållare, vilka skruvas fast med fyra skruvar på lådans baksida. Dessa radialtätningar gör lådan tät och förhindrar att olja rinner ur hålen för ingående- och utgående axel. Tätning läggs också mellan lådans separata överdel och underdel.

Slutligen görs ett hål för att kunna tömma ur oljan i växellådan på lådans undersida och ett hål för luftning i den separata övre delen.

6.2.3 Lager

Lager är viktiga att specificera i detta fall eftersom att de kommer användas som underlag för utformning av den ingående axeln. Arbetshastigheten och de dynamiska lasterna som uppstår när lådan är i drift är relativt låga. I princip alla kullager från SKF klarar av dessa påkänningar så lagrets dimensioner bestäms baserad på uppskattningar. Valt lager är ett 6004 SKF Deep Groove kullager med lagerdata enligt Tabell 3.

Tabell 3: Data för valt kullager (6004 SKF Deep Groove kullager)

Ytterdiameter	$D = 42 \text{ mm}$
Innerdiameter	$d = 20 \text{ mm}$
Bredd	$B = 12 \text{ mm}$
Arbetshastighet	$24\,000 \text{ r/min}$

6.2.4 Rotation

Rotationen påverkas av kugghjul, axlar och kullager. Systemet kommer bestå av två kugghjul. Kugghjulen kommer inte vara av polykarbonat utan snarare metall eller annat polymert material. Kugghjulens geometri och egenskaper kommer utformas efter erhållna krav och önskemål i kravspecifikationen. Vidare kommer delsystemet bestå utav två axlar: en ingående axel som drivs av en elmotor och en utgående axel där det finns möjlighet att montera mätutrustning för mätning av det utgående momentet. Kullager kommer även att inkluderas, där dessa utformas enligt uppskattad rotationshastighet och dimension på axeln. Axelavståndet har definierats till 85,04 mm i enlighet med önskemålen från CEVT. Kugghjulen och modulen har beräknats utifrån ekvation 8 (kugghjul med utväxling 1:1).

$$a = m \cdot z \quad (8)$$

där

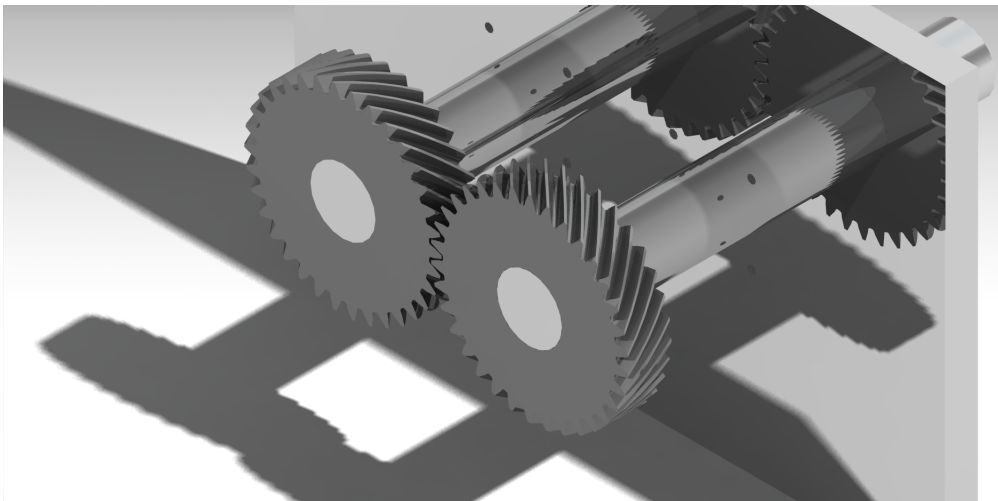
a = axelavstånd

z = kuggtal

m = modul

Två kugghjul erhålls då med modul $m = 2.501$ och kuggtal $z = 34$.

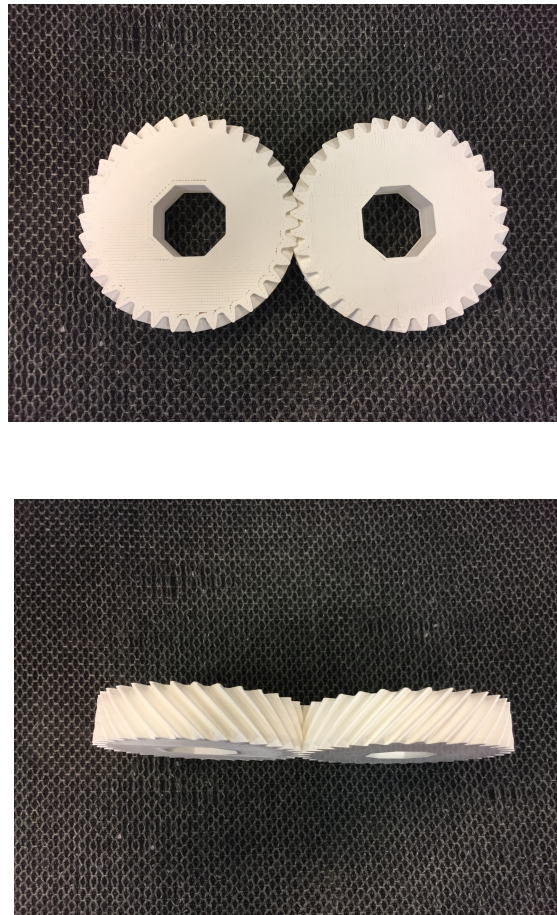
Innan kugghjulen kan tillverkas genomförs simuleringar i Catia av hur de två kugghjulen samverkar, där bland annat underskärning kontrolleras. Bild från denna simulering visas i Figur 14.



Figur 14: Visuell modell av kugghjulen från simulering i Catia

Om allt ser tillfredsställande ut i simuleringen och underskärning ej inträffar kan kugghjulen tillverkas. I detta fall 3D-printas detaljerna då tillverkningskostnaden är låg och man har möjlighet att göra ändringar i sin konstruktion efter fysiska tester.

Resultatet från 3D-printingen visas i Figur 15. Använt material är ABS-plast. Dock har ABS-plast begränsad användning i organiska solventer på grund av att kompatibiliteten inte är optimal. Anledningen till att vi valt att 3D-printa kugghjulen i just ABS-plast är att det enbart finns ett begränsat urval av material som man kan 3D-printa med. Som tidigare nämnts är syftet med kandidatarbetet inte att ta fram en ideal fysisk växellåda utan snarare att illustrera smörjmedlets distribution över kugghjulen och tillhandahålla ett underlag för framtida undersökningar.



Figur 15: 3D-printade kugghjul i olika vyer

6.2.5 Införskaffande av material

Tillverkningen av växellådan väggar skedde externt. Anledningen var att det inte fanns tillgång till de verktyg och material som behövdes för att på ett korrekt sätt kunna bearbeta materialet. Det bestämdes därför att beställa framvägg, bakre vägg, sidoväggar, toppsida och botten sida utifrån definierade geometrier. Väggarna var tillverkade i polykarbonat, som enligt tidigare materialanalyser var bland de mest lämpliga materialen för konstruktionen. Dessa delar bearbetades med laserskärning enligt tillverkaren.

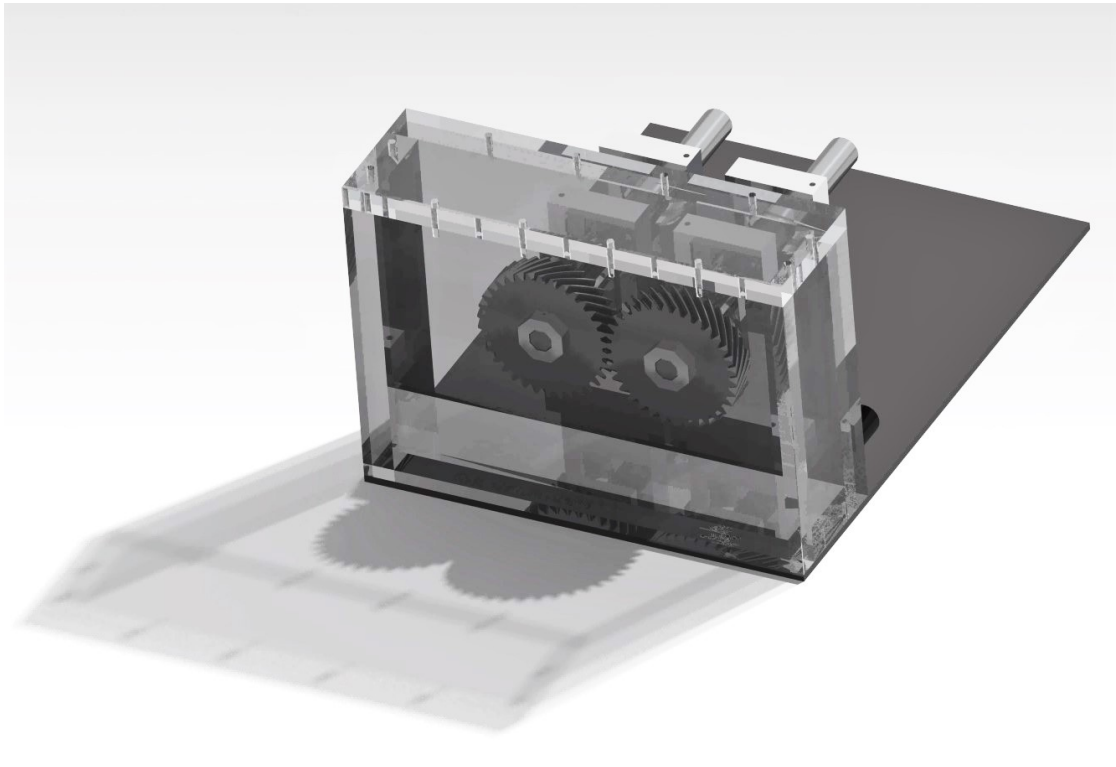
Kugghjulen 3D-printades i ABS-plast med diametern 91,04 mm. Dimensionen valdes eftersom att kugghjulen behöver passa det fördefinierade axelavståndet som är 85,04 mm samtidigt som man inkluderar kugghjulståndernas ingrep i varandra.

6.2.6 Virtuellt modell

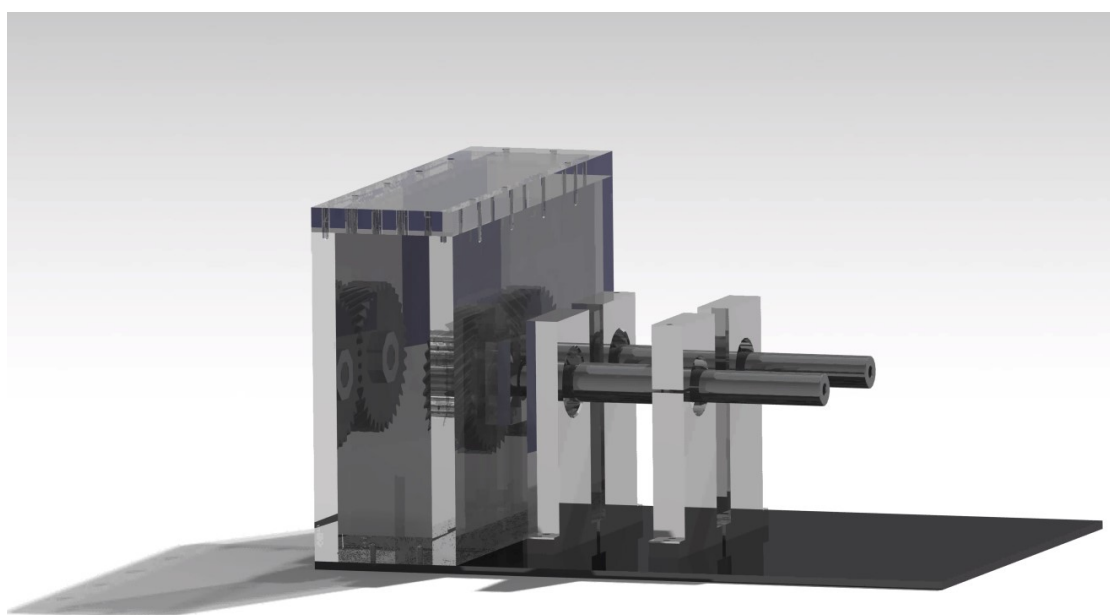
För att säkerställa att de ingående parametrarna var korrekta, konstruerades en virtuell modell för att simulera om produkten de facto var funktionell i programvaran Catia V5. För att genomföra en kinematisk simulering användes programmets funktion DMU Kinematics vilket visade att de ingående parametrarna gällande bl.a. kugghjulsgeometri och axelavstånd var funktionella och kompatibla med varandra. Simuleringen visade därmed att modellen fungerar i verkligheten. Den virtuella modellen illustreras ur tre olika vyer, se Figur 16 -18.

6.3 Slutgiltig konstruktion

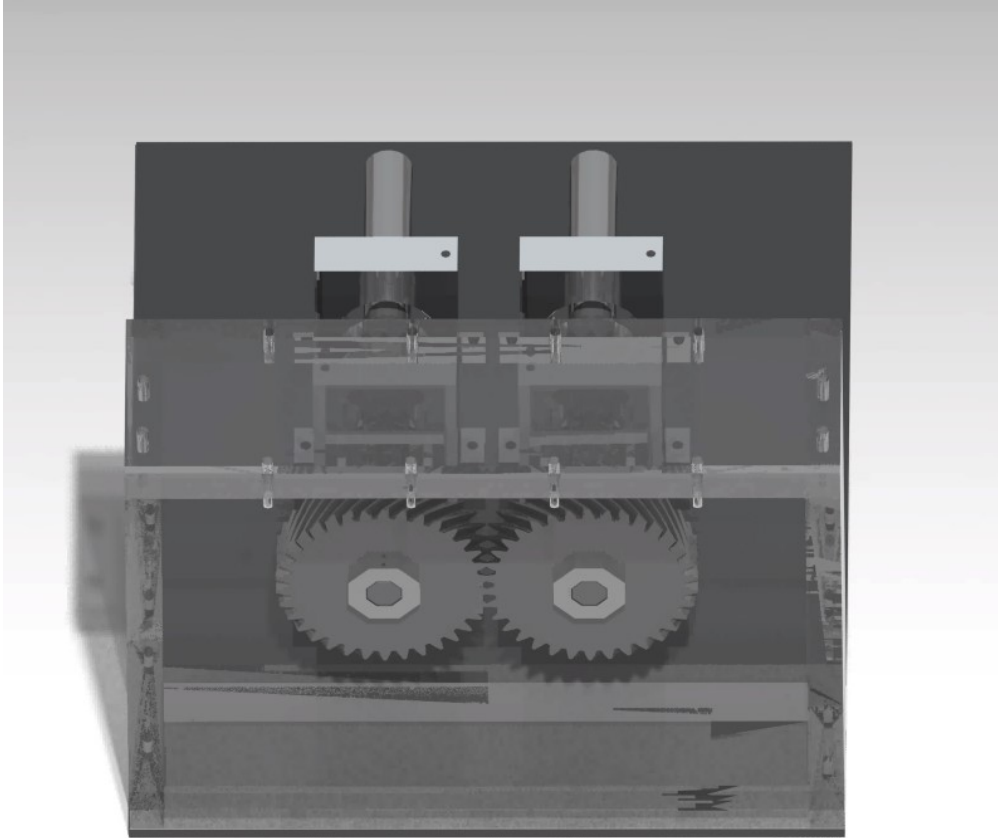
Växellådans väggar har införskaffats enligt definierade specifikationer gällande dimensioner och material. Kugghjulsparen har 3D-printats i ABS-plast med diametern 91,04 mm, vilket beräknades utifrån det fördefinierade axelavståndet på 85,04mm och kugghjulens ingrepp. Den framtagna virtuella modellen verifierar att en fysisk modell av designkonceptet skulle fungera i verkligheten. Ritningsunderlag på de ingående komponenterna till den framtagna växellådan är bifogade som bilagor.



Figur 16: Isometrisk vy av den virtuella modellen



Figur 17: Sidovy över den virtuella modellen av växellådan



Figur 18: Frontvy över den virtuella modellen av växellådan

7 Diskussion om vald metodik

Denna rapport illustrerar hur man kan designa en transparent växellåda utifrån ett visst antal krav definierade a priori i kravspecifikationen. I början gavs en introduktion kring vad en växellåda är och en teoretisk bakgrund till olika faktorer som influerar verkningsgraden och smörjmedlets funktion i växellådan. Anledningen till att dessa betonas är att studiens syfte är, som tidigare nämnt, att designa en transparent växellåda som kan illustrera de interna processerna utan att utrustningen i sig påverkar processen alltför mycket. Teorin introducerade vissa kriterier som utrustningen behövde uppnå för att kunna fungera funktionellt exempelvis tåla ökade temperaturändringar till följd av energiförluster. Genom att tydliggöra vad det är som designas och i vilket syfte, faciliteras förhoppningsvis förståelsen för de läsare som inte är lika insatta i ämnet. Här kunde man gett en mer djupgående förklaring kring växellådor och de faktorer som påverkar hur hög dess verkningsgrad är genom bl.a. fler matematiska modeller. Dock är utrustningen tänkt att utgöra ett fundament för vidare studier och experiment kring ämnet verkningsgrad, och ansågs därför inte heller behöva en djupare extensiv teoretisk beskrivning. Vidare är studien mer av en konkret karaktär än teoretisk och betonar själva konstruktionen av växellådan snarare än de bakomliggande teoretiska sambanden. En annan anledning är att en alltför fördjupad förklaring kan leda till förvirring hos läsaren, och eftersom studien även riktar sig mot de som inte är lika insatta, ansågs detta vara tillräckligt.

Efter introduktionen till ämnet, genomfördes en undersökning av redan etablerade designkoncept av växellådor med motivet att åskådliggöra hur olika typer av designkoncept för växellådor kan se ut. De undersökta koncepten användes sedan som underlag för inspiration kring hur växellådan kunde utformas och konstrueras. De koncept som ansågs mest relevanta var Shells transparenta växellåda och FZG testrigg pga. deras geometriska utformning, och dessa användes som underlag när slutdesignen genererades. En mer omfattande undersökning kunde ha gjorts för att hitta fler kompatibla designkoncept, dock ansågs dessa koncept vara mest relevanta med hänsyn till studiens natur dvs. att designa en transparent växellåda. Trots det stora utbudet av växellådor, fanns det bara ett begränsat antal vars geometri kunde användas för visualisering av smörjmedlets distribution över kugghjulen.

Efter att ha fastställt olika designkoncept, genererades en kravspecifikation för att definiera vilka krav och önskemål som det slutgiltiga konceptet behövde uppnå. Kravspecifikationen utgick från kriterier som var fördefinierade av projektgruppen, CEVT och handledaren. De flesta av kriterierna var kopplade till konstruktionens design, geometri eller materialslag i form av ett numeriskt värde på vissa mekaniska egenskaper, visade i Tabell 1. Vissa kriterier såsom val av snedkuggar bestämdes utifrån vad som är mest eftertraktat i industrin. Det ansågs överflödigt att framta kriterier enbart utifrån hur lätta de är att uppnå men som ingen kommer använda eftersom att studien syftar till att designa utrustning bl.a. utifrån industriellt motiv.

När kravspecifikationen definierats, genomfördes undersökningar och analyser kring vilka material som skulle kunna uppnå de fastställda kriterierna. För att kunna vika materialen mot varandra användes programvaran CES EduPack. Det finns även andra program som kan jämföra material och analysera dem, men CES EduPack valdes på grund av tidigare erfarenhet med programmet vilket faciliterar användningen av det. I början av urvalet, bestämdes polymerer tidigt som den materialgrupp som var mest aktuell, främst utifrån de transparenta egenskaperna. Det finns även andra materialgrupper som har transparenta material t.ex. glas, men eftersom att även andra krav gällande bl.a. hållfasthet, densitet och termiska egenskaper föreligger, ansågs polymera material som överlägsna. Dessa egenskaper betonades eftersom att materialet kommer bearbetas och utsättas för ökade temperaturer när rotationshastigheten ökar. Vidare var det även motiverat att fokusera på polymerer utifrån den budget som studien har, då det ansågs orealistiskt att välja ett material som inte går att införskaffa på grund av ett alltför högt pris. Det valda materialet blev som tidigare nämnts polykarbonat.

Efter att ha valt material, fokuserade studien på konstruktionen av konceptet. En systemarkitektur gjordes för att definiera ingående delsystem i strukturen varav varje delsystem sedan förklarades separat och ingående utifrån hur den är tänkt att konstrueras eller införskaffas. En virtuell modell framtoogs som påvisade att modellen kommer fungera i verkligheten utifrån de simuleringar som gjordes för att bl.a. kontrollera underskärning. Processerna för framtagning av den transparenta växellådan har kartlagts där ingående steg bl.a. design och materialval har motiverats. Med andra ord kan processen upprepas av de som är intresserade av att göra det. Studien har därmed uppnått sitt ursprungliga syfte.

Många val hade kunnat göras annorlunda i framtagningen av den transparenta växellådan. Studien upprätthöll en röd tråd genom att först redovisa faktorer som inverkar på verkningsgraden, följt av en redogörelse av alternativa designkoncept på växellådor och sedan fördefinierade kriterier på växellådan samt hur dessa kriterier påverkade designen, materialvalet och tillverkningen. Genom att ändra vissa aktiviteter i processen, kan man erhålla helt andra resultat t.ex. genom att ändra kriterierna i kravspecifikationen kan man påverka designen och därmed materialvalet och tillverkningsprocessen. Med andra ord kan homogena studier med andra målsättningar genomföras där ändring av en eller flera aktiviteter kan leda till ett helt annorlunda slutresultat.

8 Slutsats

Studien resulterade i en virtuell modell, framtagen utifrån de definierade kriterierna i kravspecifikationen. Framtagningprocessen bestod utav en undersökning av olika existerande växellådor (se kapitel 4), definiering av kravspecifikationen (illustreras i Tabell 1), urval av material (visas i kapitel 5) och konstruktionsprocessen där en CAD-modell togs fram (se kapitel 7 för en mer fördjupad diskussion). Eftersom syftet var att konstruera en transparent växellåda med två kugghjul, uppnådde studien sitt syfte. Vidare påvisar simuleringarna av den virtuella modellen att en fysisk prototyp, med samma parametrar, fungerar i verkligheten. Tanken är att vårt bidrag, i form av framtagning av en virtuell transparent växellåda, kan bidra till ökad förståelse kring de interna processerna såsom oljans distribuering på och kring kugghjulen.

Vid förslag på fortsatta studier, skulle vi finna det intressant med studier som genomför experiment med modellen och förhoppningsvis upptäcker metoder för att öka den totala verkningsgraden. Ett exempel på detta är modellvalidering där en teoretisk modell jämförs med det faktiska utfallet i en fysisk modell för att undersöka om det föreligger någon diskrepans. Det vore även intressant med studier som undersöker transparenta växellådor med annan design, för att se om det föreligger diskrepanser i hur designen inverkar på verkningsgraden.

Ytterligare rekommendationer på fortsatta studier med den framtagna designen kan vara experiment kategoriserade utifrån olika kombinationer av kugghjul, olika mängd smörjmedel, smörjmedel med olika egenskaper (bl.a. densitet och viskositet) för att isolera de mest bidragande faktorerna till friktionsförlusterna. Olika kombinationer av kugghjul syftar här inte enbart till antalet kugghjul, utan även till vilken typ av kugghjul t.ex. om det är snedkugghjul eller rakkugghjul.

Referenser

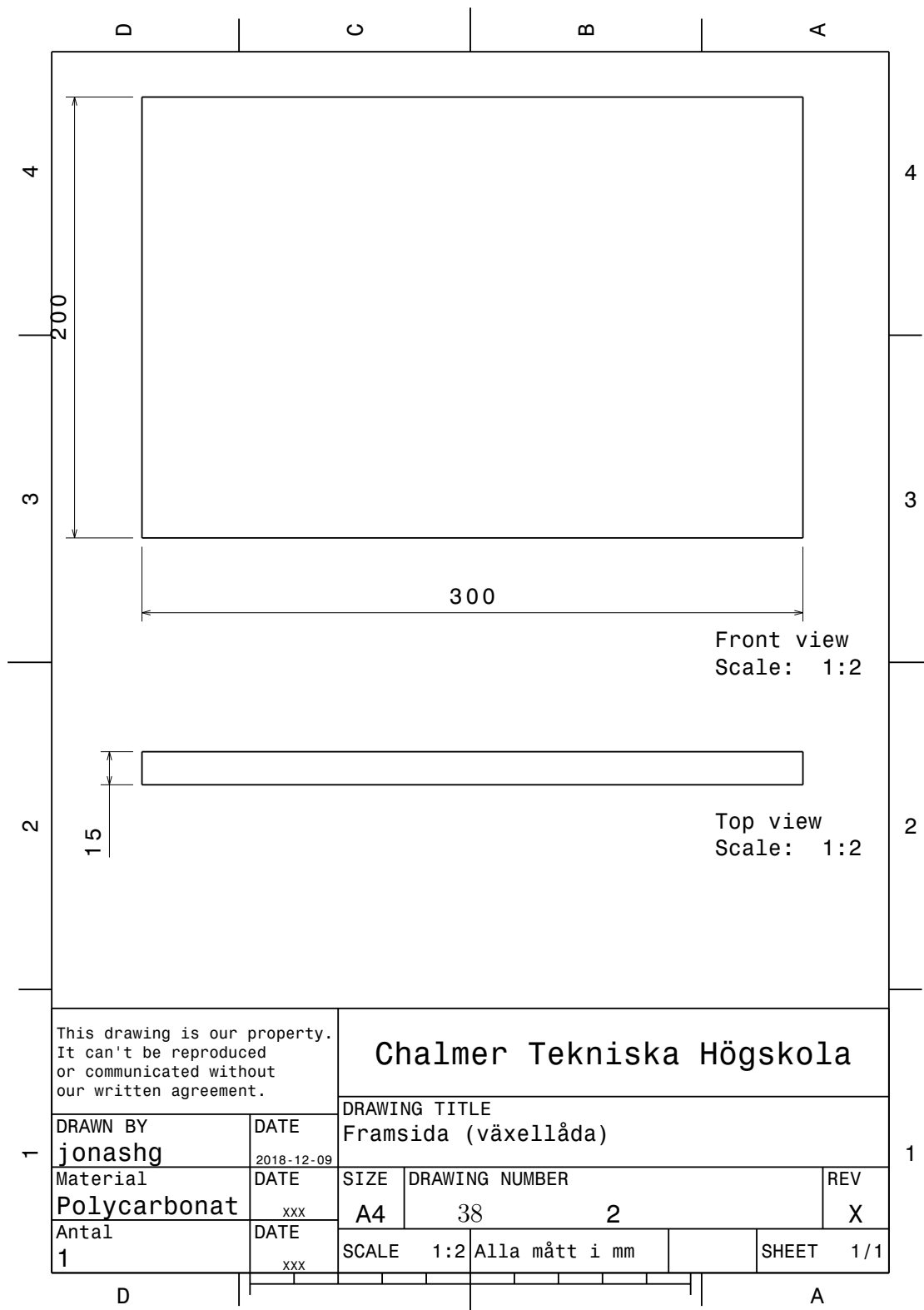
- [1] Macalister, T., "Investors warn car industry over climate change", 2006.[Online]. Tillgänglig:
<https://www.theguardian.com/environment/2016/oct/12/investors-warn-car-industry-over-climate-change>. Hämtad:2018-12-10.
- [2] UNFCCC, "Global Car Industry Must Shift to Low Carbon to Survive - CDP", 2018.[Online]. Tillgänglig:
<https://unfccc.int/news/global-car-industry-must-shift-to-low-carbon-to-survive-cdp>. Hämtad: 2018-12-10.
- [3] Mägi, M. och Melkersson, K., *Lärobok i Maskinelement*. Göteborg, Sverige: EcoDev International AB, 2016.
- [4] Thattai, R., "*Principitegning af tandhjul*," 2018.[Elektronisk bild]. Tillgänglig:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Principitegning_af_tandhjul.jpg. Hämtad: 2019-01-24.
- [5] Naunheimer, H., Bertschem, B. Ryborz, J. och Novak, W., *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*, 2 uppl., New York, USA: Springer, 2011.
- [6] Abusaad, S., Brethee K., Assaeh M., Zhang R., Gu F., Ball A:D: "*The detection of lubricating oil viscosity changes in gearbox transmission systems driven by sensorless variable speed drives using electrical supply parameters*", *Journal of Physics: Conference Series*, 2015.
- [7] Joachim, F.J. , Börner, J. och Kurz, N., "*How to Minimize Power Losses in Transmissions, Axles and Steering Systems*," *Geartechnology magazine*, ss. 58-66, sep. 2012.

- [8] Kuiper, P, "Storheter som ingår i definitionen för viskositet," 2019.[Elektronisk bild]. Tillgänglig:
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Viskositet/media/File:Viskositet.svg>. Hämtad: 2019-02-20.
- [9] Motor vehicle gearbox, av G. K. Janiszewski. (1985,28 mars). US4738149A [Online]. Tillgänglig:
<https://patents.google.com/patent/US4738149A/en>. Hämtad: 2019-01-05.
- [10] Spirax Transparent Gearbox 2016 high 2016. [Online]. Tillgänglig:
<https://www.youtube.com/watch?v=NqrCLgLTg-0>. Hämtad: 2019-02-09
- [11] "FZG gear test rig," 2018.[Elektronisk bild]. Tillgänglig:
<https://www.strama-mps.de/en/products/test-rigs/fzg-gear-test-rig/>. Hämtad: 2019-01-24.
- [12] Theofilos, M., Gearbox, "2012. [Online]. Tillgänglig:
<https://grabcad.com/library/gearbox-9>. Hämtad: 2019-02-06
- [13] Hartono, E. A., "Study of Fluid Flow Inside the Gearbox", PhD Licentiate, Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, 2014

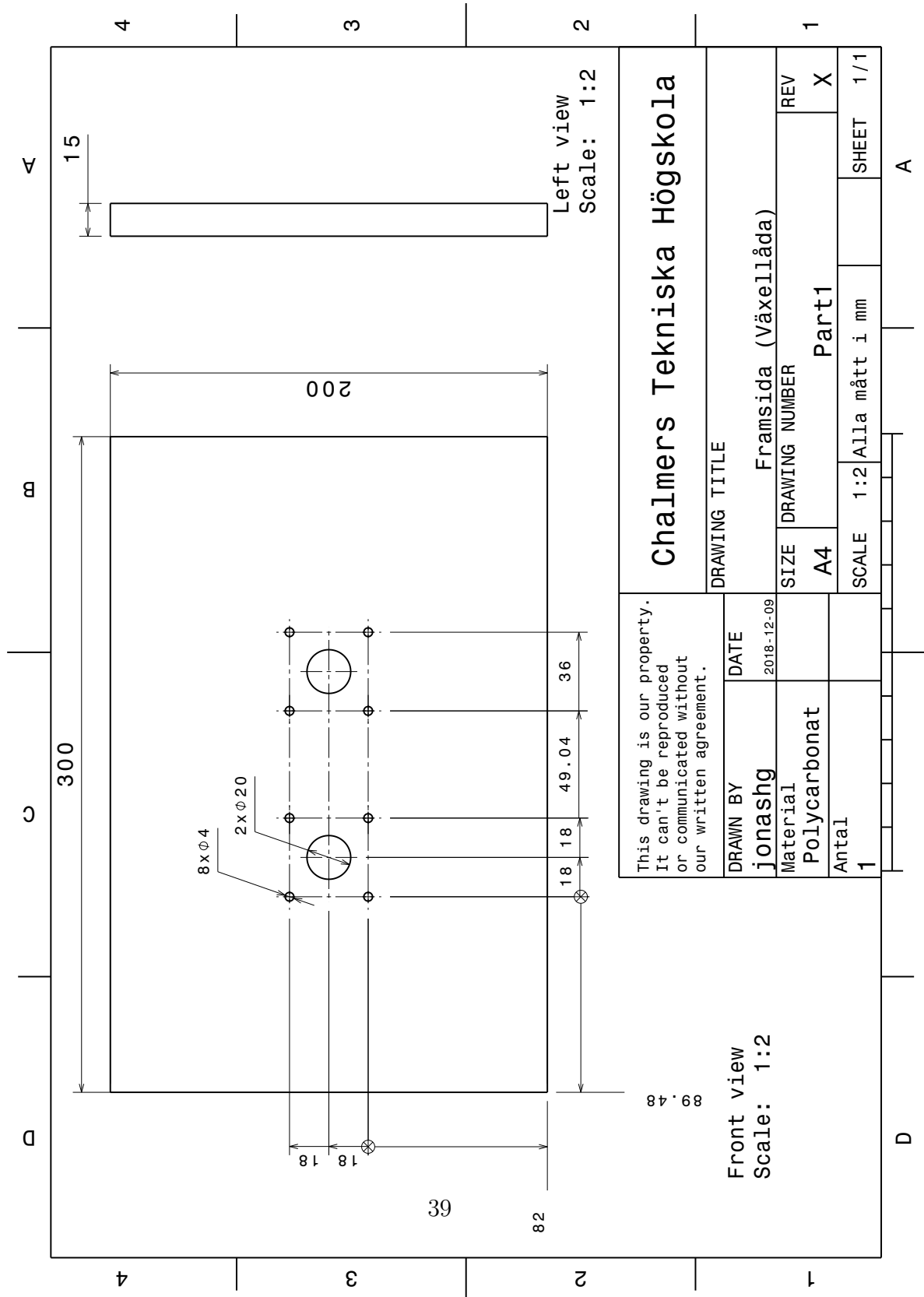
A Bilagor

A.1 Ritningsunderlag: Låda

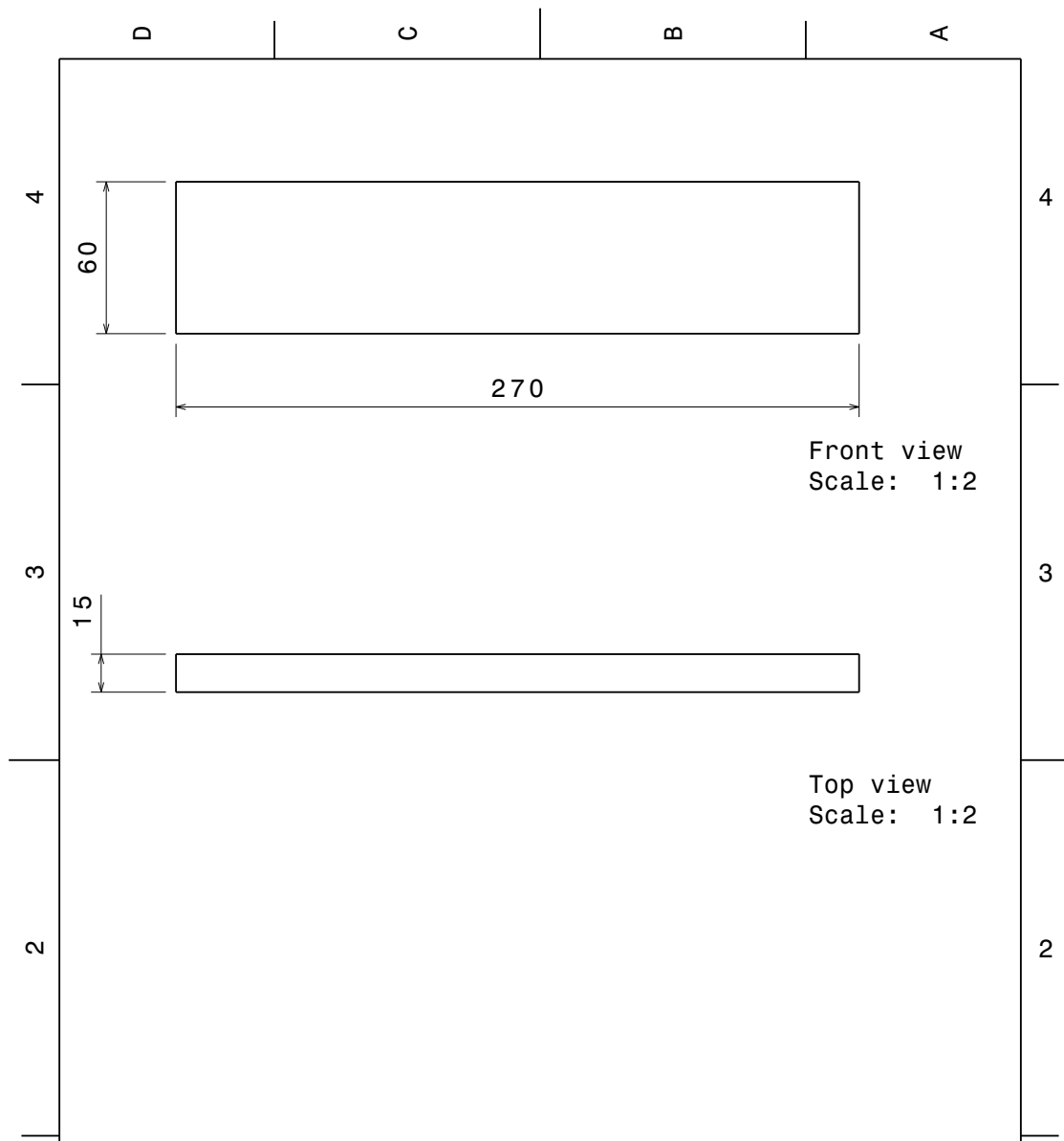
A.1.1 Framsida



A.1.2 Baksida

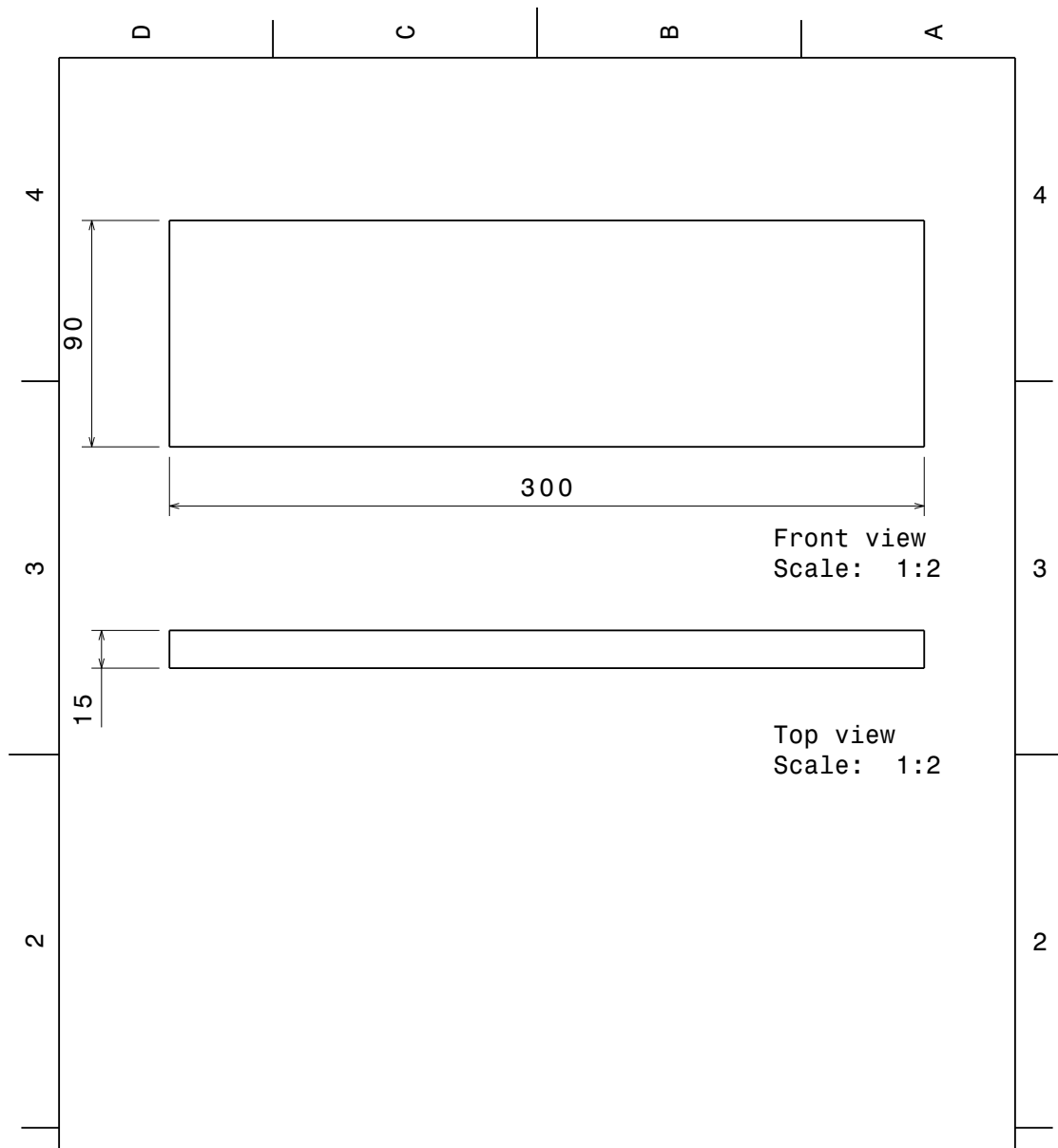


A.1.3 Bottensida



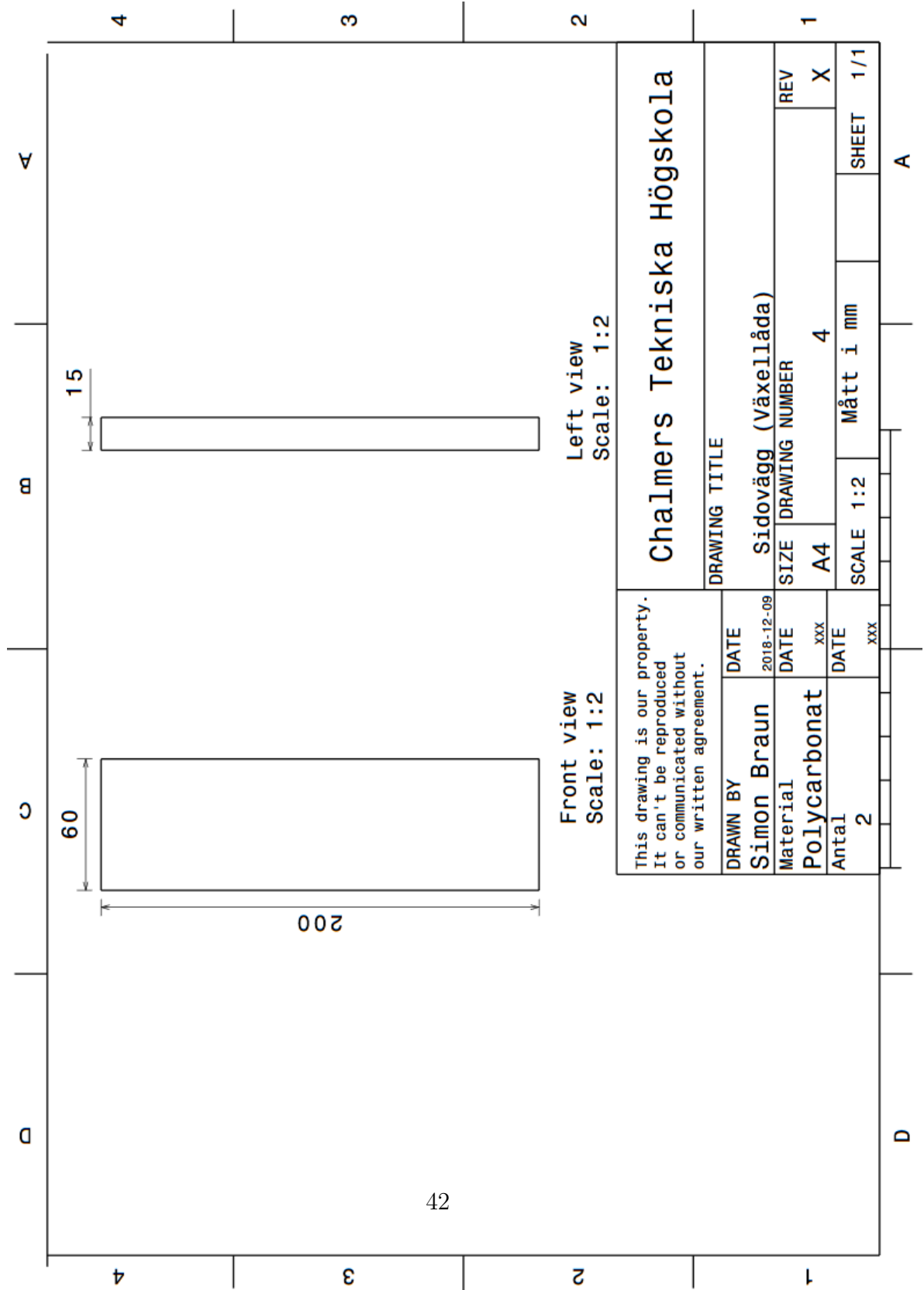
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		Chalmers Tekniska Högskola			
DRAWN BY jonashg		DATE 2018-12-09		DRAWING TITLE Bottensida (växellåda)	
Material Polycarbonat		DATE xxx	SIZE A4	DRAWING NUMBER 5	REV X
Antal 1		DATE xxx	SCALE 1:2	Alla mått i mm	SHEET 1/1

A.1.4 Toppsida

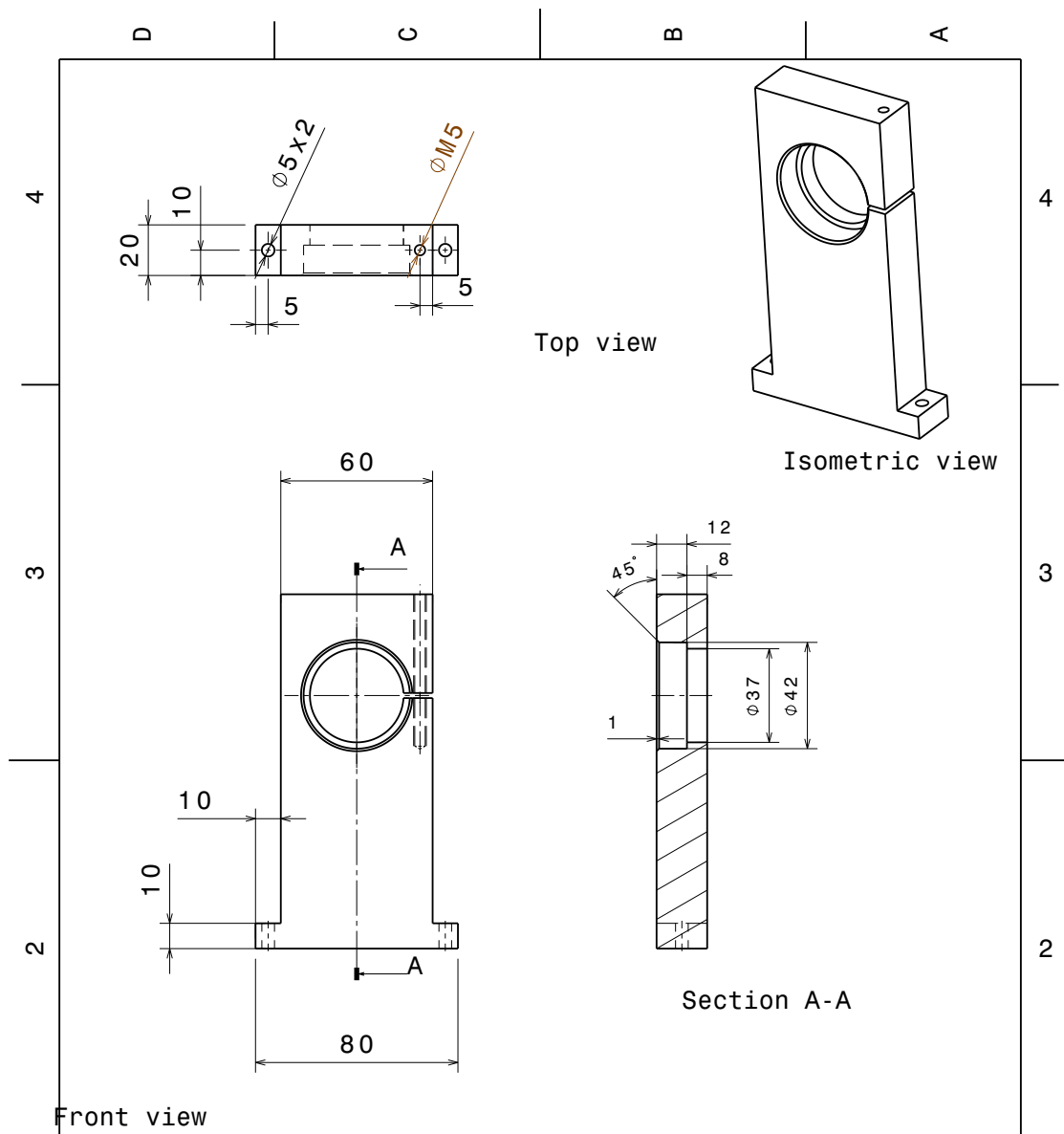


This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		Chalmers Tekniska Högskola			
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY jonashg	DATE 2018-12-09	Toppsida			
Material Polycarbonad	DATE xxx	SIZE A4	DRAWING NUMBER 3		REV X
Antal 1	DATE xxx	SCALE 1:2	Alla mått i mm		SHEET 1/1

A.1.5 Sidovägg

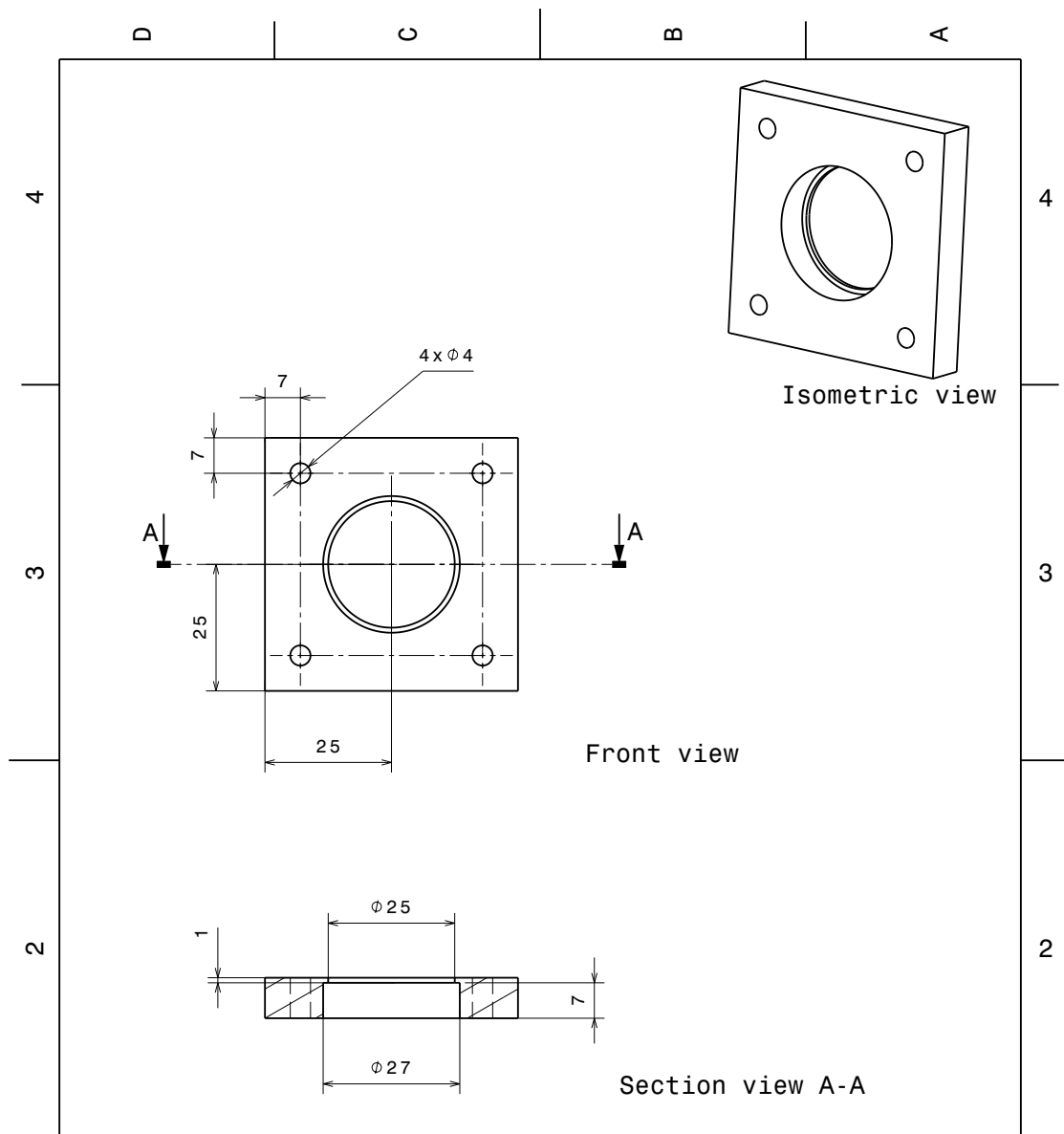


A.2 Ritningsunderlag: Fästen för lager



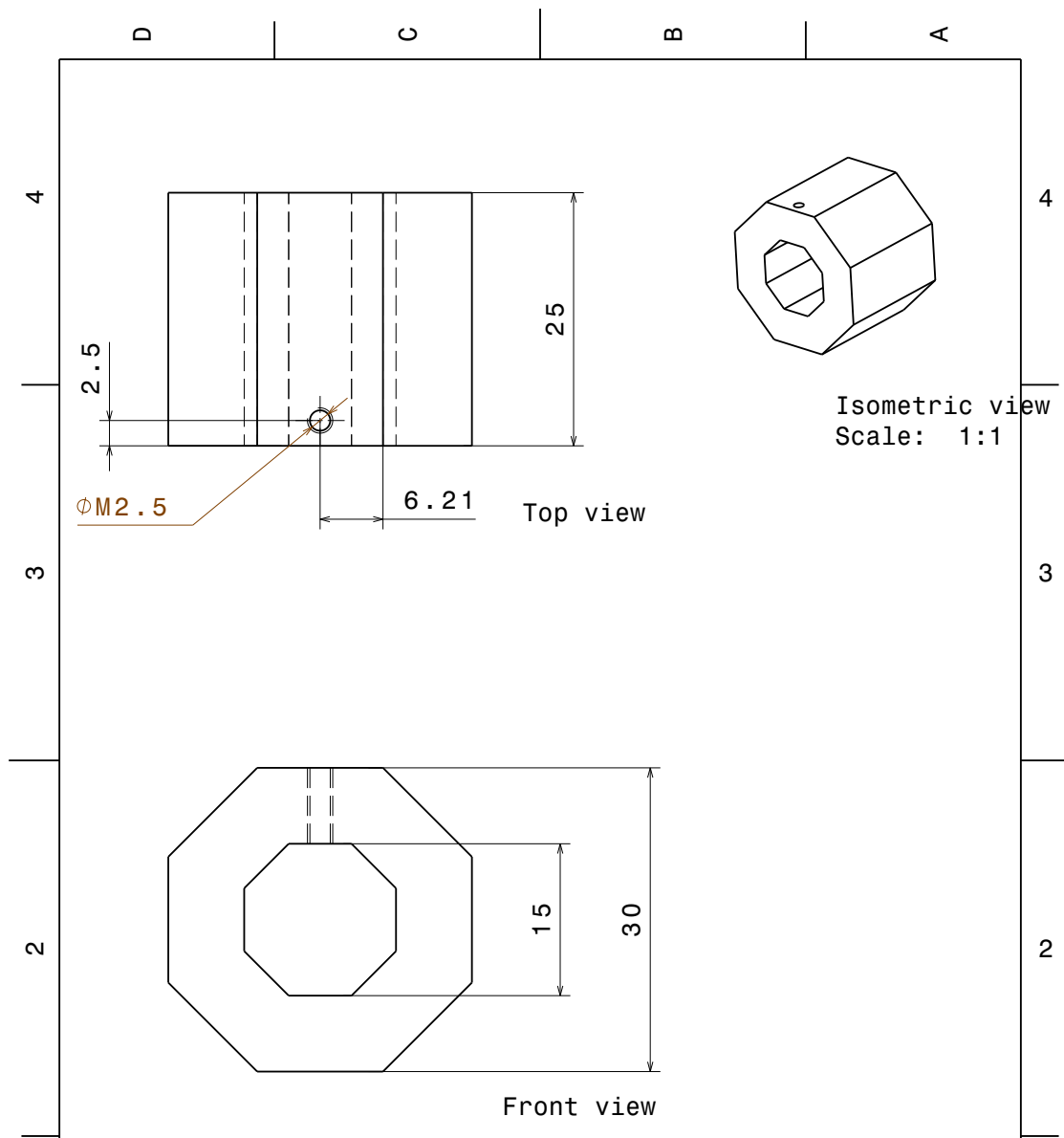
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DASSAULT SYSTEMES			
		DRAWING TITLE			
		Lagerhus			
DRAWN BY	DATE	SIZE	DRAWING NUMBER	REV	
Jonas och Simon	2019-01-07	A4	1	X	
CHECKED BY	DATE	SCALE	Antal	SHEET	
	xxx	1:2	4	1/1	
DESIGNED BY	DATE				
	xxx				

A.3 Ritningsunderlag: Hållare för radaltätning



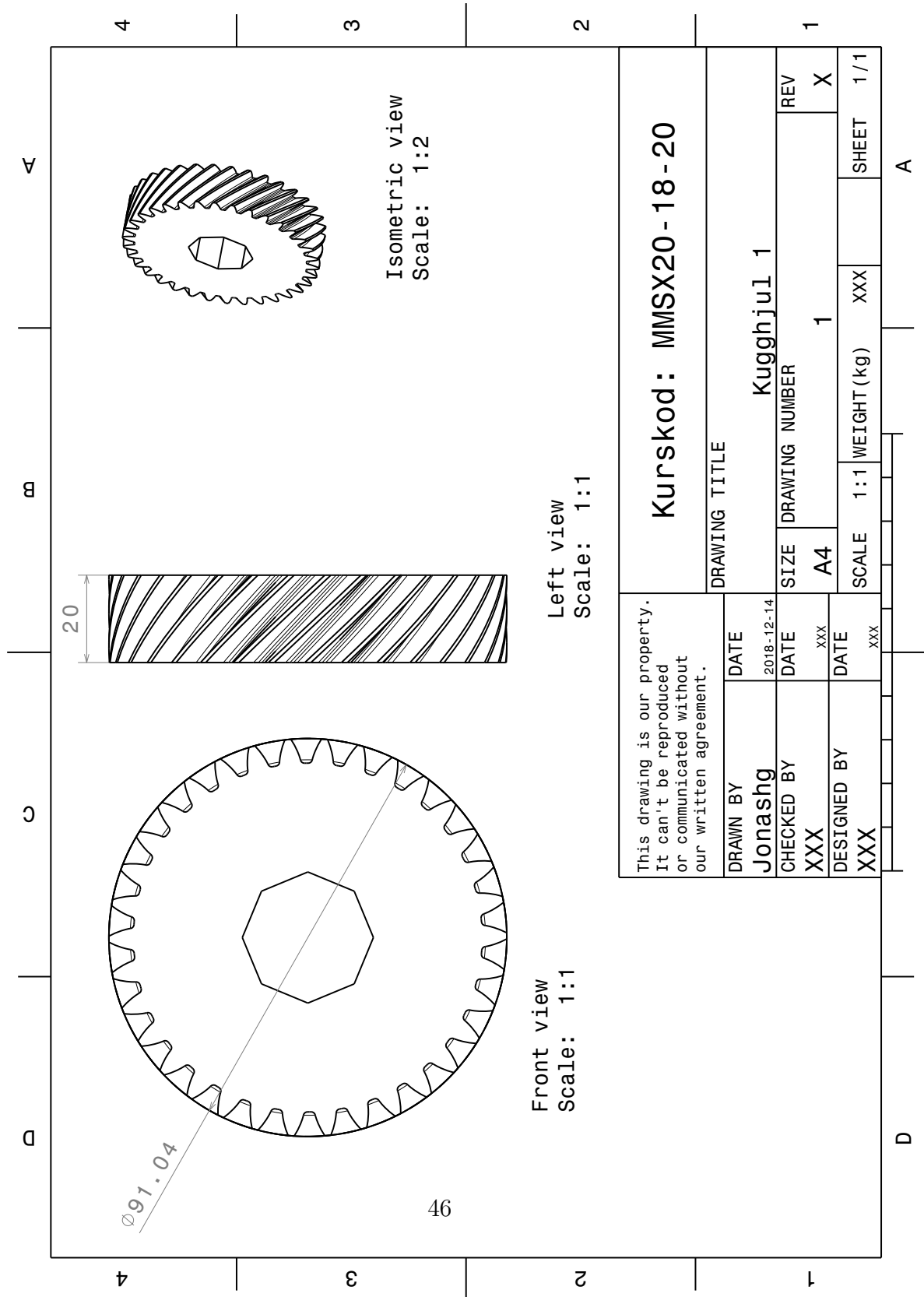
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DASSAULT SYSTEMES			
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY Jonas och Simon		DATE 2019-01-07		Hållare radaltätning	
CHECKED BY XXX	DATE xxx	SIZE A4	DRAWING NUMBER 2		REV X
DESIGNED BY XXX	DATE xxx	SCALE 1:1	Antal 2	SHEET 1/1	

A.4 Ritningsunderlag: Stoppring för kugghjul



This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DASSAULT SYSTEMES				
		DRAWING TITLE				
1	DRAWN BY Jonashg	DATE 2019-01-09	Stoppring kugghjul			1
	CHECKED BY XXX	DATE xxx	SIZE A4	DRAWING NUMBER 3	REV X	
	DESIGNED BY XXX	DATE xxx	SCALE 2:1	Antal 2	SHEET 1/1	

A.5 Ritningsunderlag: Kugghjul



A.6 Ritningsunderlag: Axel

