

# Tillverkning av en Toroidmaskin



---

**Conny Högmark**

Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation  
Lund University

## **Abstract**

People have in all times been fascinated of electricity, in the beginning people watched lightning with amazement and fear. This got the people to create different gods so they could explain the phenomena. Later on when understanding of the phenomenon with electricity was starting to grow did different applications based on electricity start to appear. Around 1870 the first useful electrical engine was invented since then there has been many different electrical engines invented and developed to its potentials. But some of these engines did not make it in the competition because they were too difficult and too expensive to produce. So to invent an electrical machine that hasn't been invented before is interesting but there is more interest in developing different materials so that good engine constructions which was not possible to produce cheap before now will be interesting to develop and produce in the future.

This M.Sc. thesis describes the design, construction and building of a torus motor with Rotocast technique. This is an old design of an electrical machine which will be built in a new way. If this works it could be a step forward in developing and producing new sorts of machines there only fantasy sets the limit on what could be made.

# Innehållsförteckning

Abstract	1
Innehållsförteckning	2
1 Inledning	4
2 Problemformulering	4
3 Synkronmaskinen	4
4 Toroidmotorn	5
4.1 Elektromagnetisk design	5
4.2 En grov design	6
5 Fästskiva	7
5.1 Konstruktion	7
5.2 Material val	7
5.3 Bedömning av material	10
5.4 Tillverkningsoperationer	11
6 Lindningar	13
6.1 konstruktion	13
6.2 Val av lindning	15
7 Lager	15
7.1 Val av lager	15
8 Lagerhylsa	16
8.1 Konstruktion	16
8.2 Materialval	17
8.3 Tillverkningsoperationer	17
9 Axel	18
9.1 Konstruktion	18
9.2 Materialval	18
9.3 Tillverkningsoperationer	18
10 Resolvern	19
10.1 Val av resolver	19
11 Resolverhuset	20
11.1 Konstruktion	20
11.2 Materialval	20
11.3 Tillverkningsoperationer	20
12 Rotorn	21

12.1 Konstruktion	21
12.2 Framstycke	21
12.3 Bakstycke	22
12.4 Material val	22
12.5 Tillverknings operationer Bakstycke	23
12.6 Tillverknings operationer framstycke	24
12.7 Kommentar till rotor	25
13 Magneter	25
13.1 Konstruktion	26
13.2 Val av magnetdimensioner	27
13.3 Val av magnetsort	27
13.4 Val av magnet	28
13.5 Magnet montering	28
14 Gjutform	29
14.1 Konstruktion	29
14.2 Val av materiel	30
14.3 Gjutform i plast	30
14.4 Tillverkningsoperationer av gjutform underdel	32
14.5 Tillverkningsoperationer överdel	33
15 Temperaturgivare	34
15.1 Val av temperaturgivare	34
16 Rotationsgjutning	35
16.1 Teori	35
16.2 Järnpulver	36
16.3 Bindemedel	36
16.4 Gjutning	37
16.5 Volym på lindningen	37
16.6 Volym på gjutformen	37
16.7 Gjutmassa	37
17 Konstruktions förändringar	38
17.1 Övre fästskiva	38
17.2 fästskiva	39
17.3 Gjutformen	39
17.4 Lagerhysan	40
18 Slutresultat	41

## 1 Inledning

Att bygga elmotorer har förmodligen inte förändrats på något markant sätt se senaste 100 åren. Startorn byggs upp med laminat för att kunna minska virvelströmsförluster och när det är klart lindas startorn. Att bygga motorer på detta sätt fungerar alldeles utmärkt utom för vissa motor konstruktioner som blir väldigt kostsamma att bygga och får därför en låg efterfrågan även om motorn har en tilltalande design. Toroidmotorn är just en sådan motor. Den har en kraftfull design med ett stort vridmoment och vore mycket intressant att ha i diverse olika tillämpningar inte minst i el och hybridbilar.

Men att serieproducera en toroidmotor i dag skulle bli en kostsam historia så om det skulle finnas en möjlighet att få ned kostnaden på tillverkningen av toroidmotorn kan den bli kommersiellt intressant. För att kunna göra detta skulle det behövas ett helt nytt sätt att kunna tillverka och massproducera toroidmotorns stator så att kostnaden minskade kraftigt. Om detta var möjligt så borde väl detta redan ha gjorts någon gång under alla år elmotorn har funnits kan man ju tycka. Eller finns det något sätt?

Detta examensarbete går ut på att konstruera och tillverka en toroidmotor där statorn kommer att tillverkas med hjälp av en helt ny process och om resultatet blir som förväntat kan detta starta en helt ny elmaskins revolution där bara fantasin sätter begränsningarna på vad som skulle kunna konstrueras och tillverkas.

## 2 Problemformulering

Detta examensarbete går ut på att se om det går att konstruera och tillverka en toroidmotor med ett högt vridmoment och kort motor längd. Då själva toroiden dvs. statorn som är en magnetisk flödesledare i tre dimensioner tillverkas genom en så kallad rotationsgjutning där lindningarna gjuts in under tillverkningen. En elektrisk maskin med en toroid lindning är en icke konventionell maskin där det intressanta i tillverkningen är själva gjutprocessen i vilken ett behandlat järnpulver kommer att användas för att minska magnetiseringsförluster.

## 3 Synkronmaskinen

En synkronmaskin som har sin rotor placerad i centrum av maskinen är mycket vanlig i dag. Den tillverkas genom att stapla magnetiskt ledande laminat på varandra tills den önskade längden på motorn är uppnådd. Dessa laminat är täckta med en skydds lack så att de inte får någon kontakt med varandra, detta för att kunna begränsa vissa järnförluster (virvelströms förluster). Varige laminat stansas ut för att ge plats till lindningar och för att skapa de tänder som skall leda det magnetiska flödet till att samverka med permanentmagneterna på rotorn. En trefaslindning matad av en trefas spänning ger ett roterande flöde och det är detta flöde som driver runt maskinen. Hastigheten på detta roterande flöde är också maskinens hastighet det så kallade synkrona varvtalet. Synkrona varvtalet är beroende av den spänningens frekvens som maskinen matas med en så kallad drivfrekvens. Synkronmotorer har en drivfrekvens som varierar mellan ca 50-100 Hz ökar drivfrekvensen mer så ökar järnförlusterna markant. Detta gör att flerpoliga maskiner har svårt att kunna nå höga varvtalet då varvtalet är proportionellt mot frekvensen.

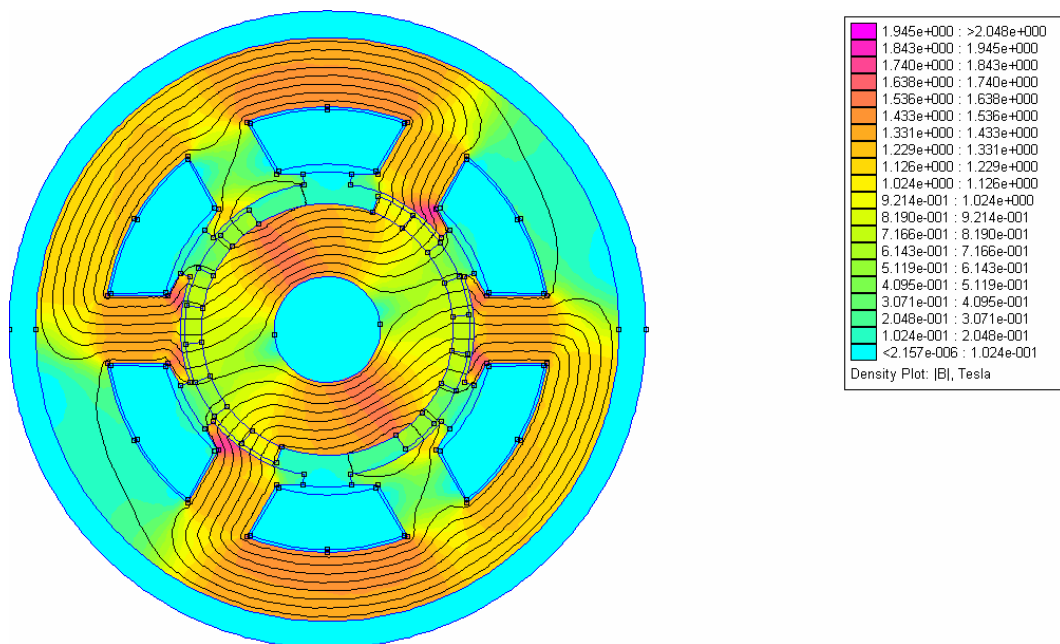


Bild 1. Beskrivning av hur magnetflödet rör sig i en trefas synkronmaskin.

## 4 Toroidmotor

### 4.1 Elektromagnetisk design

Den elektromagnetiska strukturen av en pol i toroidmotorn består av en lindning och magnet på tre sidor av lindningen. Detta gör att motorn får en kraft utveckling på de tre sidorna av lindningen där magneterna sitter. Lindningarna kopplas ihop så att det magnetiska flödet får en kort sträcka att gå mellan polerna i toroiden. Detta är en fördel då materialet som används till toroiden bara leder magnetiskt flöde ca 10-15 gånger bättre än luft. De förluster som uppkommer i motorn beror på faktorer som  $I^2R$  (värme förluster) i lindningarna då virvelströmsförluster och hysteresförluster i toroiden kommer att bli mycket låga. Att järnförlusterna blir mycket låga är en stor fördel då motorns frekvensberoende elimineras. Eftersom detta är en ytterrotor maskin ger denna konstruktion ett stort vridmoment. En toroid konstruerad maskin ger en kompakt men kraftfull design på en el maskin där det finns många applikationer. Här nedan kan ses hur toroid motorn är uppbyggd och hur det magnetiska flödet breder ut sig i toroiden.

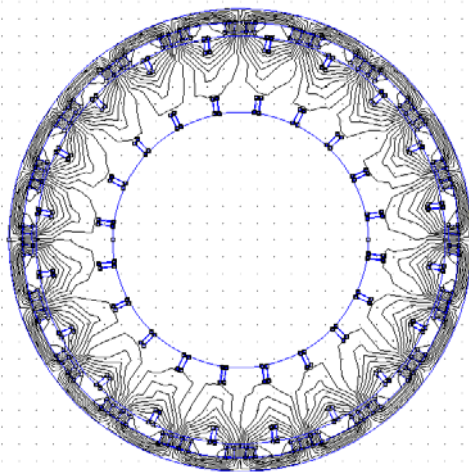
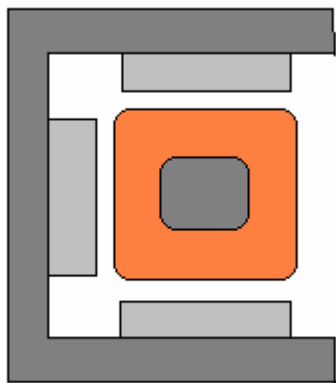


Bild 2. Toroidmotorns uppbyggnad och det magnetiska flödet i toroiden.

Att maskinen får ett stort vridmoment och att maskinen har en kompakt design ger mycket intressanta möjligheter för hur maskinen kan användas. Maskin data så som emk och vridmoment är beroende av hur stor den magnetiska flödestätheten är i de tre luftgapen. Flödes täthet som genereras av magneterna hittas genom att titta på magnetens och luftgapets reluktans genom vilka det magnetiska flödet skall passera.

## 4.2 En grov design

Även om tanken med att konstruera och bygga denna toroidmaskin är att kunna bekräfta en teoretisk modell så kommer det att behövas någon sorts design för att kunna börja konstruera och få en grund förståelse av maskinens egenskaper. Genom att använda en enkel Matlab-modell kan en grov design av toroidmaskinen skapas när dimensioner och grundläggande egenskaper på maskinen väljs. Om det sedan i slutänden blir en viss avvikelse på maskinen från denna första design så har detta mindre betydelse. Här nedan i bild 3 kommer olika matlab grafer att visa denna grova design som gav de grundläggande dimensionerna på toroiden för att kunna starta konstruktionsarbetet av startorn.

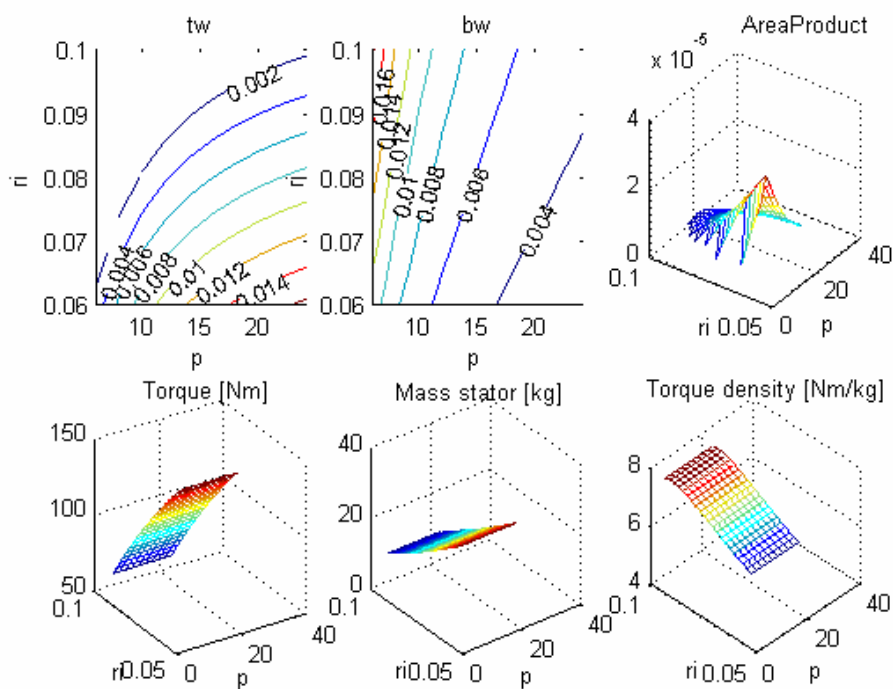


Bild 3. Matlab grafer över olika design parametrar.

$r_o$  = yttre radie på toroiden (förutbestämd till 120 mm)

$r_i$  = inre radie på toroiden

$p$  = antal poler i maskinen

$t_w$  = lindningens radiella tjocklek

$b_w$  = bredden på lindningen

För att begränsa storleken på startorn och därmed maskinen sattes ytterdiametern till 240 mm, innerdiametern på toroiden valdes enligt graferna till 140 mm. Antal poler på maskinen bestämdes till 20 stycken detta gav att själva toroiden fick en area på 50

x 50 mm vilket också gav lindningarnas dimensioner till 50 x 50 x 4 mm. När nu de grund läggande måtten till maskinen är bestämda kan konstruktionen av toroidmaskinen börja.

## 5 Fästskiva

### 5.1 Konstruktion

60 spår: Ytterdiametern av fästskivan är utformad med 60 stycken spår på sådant sätt att spåren kan stabilisera och hålla lindningarna på plats vid gjutning.

Lagerhus: De två lagerhusen är konstruerade så att en lagerhylsa skall kunna monteras innan lagren sätts på plats, detta gör att belastningen från rotorns kraftöverföring minskar på fästskivan. För att få balans i motorn placeras lagerhusen med största möjliga avstånd från varandra.

Skruvhål: fästskivan har 5 skruvhål för att hålla fästskivan på plats vid gjutning. Dessa skruvhål kommer även att användas till att fästa resolverhuset på fästskivan när gjutningen är utförd. Ett extra hål är inlagt bland skruvhålen detta är till för att kunna dra ut kablar från lindningen.

Andra viktiga detaljer: fästskivan är konstruerad att vara så stabil den kan bli utan att gjutningen försvåras. Ytterligare en detalj är att gjutmassan kommer att hållas i centrum av fästskivan under gjutningen så det får inte finnas några 90 graders kanter där massan kan fastna vilket förklarar fasen upp mot spåren.

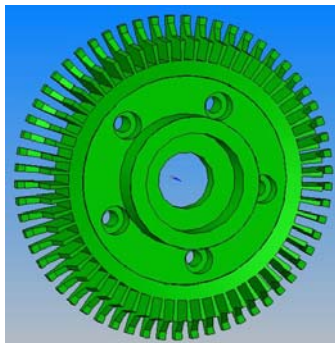


Bild 4. Fästskivan.

### 5.2 Material val

Fästskivan är stommen i motorn vilket gör att den behöver vara stark för att kunna bära upp de krafter som den utsätts för, i detta skede gäller det att tillverka en första prototyp så inga verifierande hållfasthets beräkningar görs utan fästskivan ges den kompetensmässigt bästa dimensionen som kan ges utan att den påverkar möjligheten att rotationsgjuta motorn. Andra faktorer som bedöms är en hög temperaturlåghet och att limbarheten är god. De material som betraktas att tillverka fästskivan av är peek, vävbackelit, och två olika sorter av glasfiberarmerat polyester.

Peek är en delkristallin, termoplastisk högkvalificerad polymer för mycket höga krav, dess egenskaper är

- Tål hög termisk-mekanisk belastning
- Är mycket seg
- Har en låg friktionskoefficient



- Är kryphållfast
- Nötningsbeständig
- Utmärkt kemikalieresistens
- Elektrisktisolerande
- Lättbearbetad
- Formbeständig

Limbar

### Tekniskdata Peek

Egenskaper	Värde	Enhet	Provmetod
<b>Mekaniska</b>			
Densitet	1,32	g/cm <sup>3</sup>	DIN 53 479
Sträckgräns	95	MPa	DIN EN ISO 527
Dragbrottgräns	-	MPa	
Brottöjning	25	%	DIN EN ISO 527
Drag-E-modul	3000	MPa	DIN EN ISO 527
Böj-E-modul	4100	MPa	DIN EN ISO 178
Kultryckshårdhet	-	MPa	53 456
Slagseghet (Charpy)	inget brott	kJ/m <sup>2</sup>	53 453
Krypbrott efter 1000 h med statisk belastning	-	MPa	
Kryptöjningsspänning för 1% töjning efter 1000 h	-	MPa	
Friktionskoefficient mot härdat och slipat stål r = 0,05 N/mm <sup>2</sup> , v = 0,6 m/s	0,3-0,38		
Nötning samma villkor som ovan	-	μ/km	
<b>Termiska</b>			
Smälttemperatur		°C	
Glasomvandlingstemperatur	143	°C	DIN 53 765
Formbeständighetstemperatur			
Metod A	140	°C	ISO- R 75 (DIN 53461)
Metod B	182	°C	ISO- R 75 (DIN 53461)
Max./min. användningstemperatur kortvarig	300	°C	
kontinuerlig	260 / -40	°C	
Värmeledningstal	0,25	W/(m·K)	
Specifik värmekapacitet	0,32	J/(g·K)	
Längdutvidgningskoefficient	5,0	10 <sup>-5</sup> /K	DIN 53 752
<b>Elektriska</b>			
Dielektricitetstal vid 10 <sup>6</sup> Hz	3,2-3,3		DIN 53 483, IEC-250
Dielektrisk förlustfaktor vid 10 <sup>6</sup> Hz	0,001-0,004		DIN 53 483, IEC-250
Volymresistivitet	10 <sup>16</sup>	Ω·cm	DIN IEC 60093
Yt resistans	10 <sup>15</sup>	Ω	DIN IEC 60093
Genomslagshållfasthet (1 mm)	20	kV/mm	DIN 53 481, IEC-243, VDE 0303
Krypströmshållfasthet	-		

**Vävbackelit** är en härdplast av fenolimpregnerad bomullsväv med dessa egenskaper

- Lättbearbetad
- Elektrisktisolerande
- Formbeständig
- Limbar
- Klarar temperaturer upp till 120 grader

TEKNISKA DATA VÄVBAKELIT

Egenskap	Testnorm	Värde	Enhet
<b>Mekaniska</b>			
Densitet	ISO 1183/A	1.40	g/cm <sup>3</sup>
Böjbrottgräns vinkelrätt	ISO 178	130	MPa
Elasticitetsmodul	ISO 178	7000	MPa
Dragbrottsgräns	ISO 527	80	MPa
Slagseghet parallellt	ISO 179/3 C	8.8	kJ/m <sup>2</sup>
Vattenupptagning	ISO 62/1	100	mg
<b>Termiska</b>			
Temperaturindex	IEC 216	120	°C
<b>Elektriska</b>			
Elektrisk genomslagshållfasthet vinkelrätt	IEC 243	2.7	kV/mm
Elektrisk genomslagshållfasthet parallellt	IEC 243	5	kV
Gränskrypspänning	IEC 112	CTI 100	

**Glasfiberpolyester UPM S2** är en glasfiberarmerad härdplast med egenskaper såsom

- Klarar temperaturer upp till 155 grader
- Elektrisktisolerande
- Limbar
- Formbeständig
- Hög mekanisk hållfasthet

#### TEKNISKA DATA

Egenskap	Testnorm	Värde	Enhet
<b>Mekaniska</b>			
Densitet	ISO 1183	1.95	g/cm <sup>3</sup>
Böjbrottgräns vinkelrätt	ISO 178	350	N/mm <sup>2</sup>
Böjbrottgräns vinkelrätt 150°C	ISO 178	175	N/mm <sup>2</sup>
Elasticitetsmodul	ISO 178	20000	N/mm <sup>2</sup>
Elasticitetsmodul 150°C	ISO 178	13000	N/mm <sup>2</sup>
Tryckbrottgräns vinkelrätt	ISO 604	480	N/mm <sup>2</sup>
Dragbrottsgräns	ISO 527	220	N/mm <sup>2</sup>
Slagseghet parallellt	ISO 179	200	kJ/m <sup>2</sup>
Vattenupptagning	ISO 62	<0.5	%
<b>Termiska</b>			
Temperaturindex	IEC 60216	155	°C

Reducerad brännbarhet	UL 94	V-0/5mm	
Isolationsklass	IEC 60085	F	
Elektriska			
Elektrisk genomslagshållfasthet vinkelrätt	IEC 60243	12	kV/mm
Elektrisk genomslagshållfasthet parallellt	IEC 60243	3	kV/mm
Gränskrypspänning	IEC 60112	CTI 600	

**Glasfiberpolyester 1220** är en glasfiberarmerad härdplast med egenskaper såsom

- Klarar temperaturer upp till 200 grader
- Elektrisktisolerande
- Limbar
- Formbeständig
- Hög mekanisk hållfasthet

#### TEKNISKA DATA

Egenskap	Testnorm	Värde	Enhet
<b>Mekaniska</b>			
Densitet	IISO 1183	1.80	g/cm <sup>3</sup>
Böjbrottgräns vinkelrätt	ISO 178	200	N/mm <sup>2</sup>
Elasticitetsmodul	ISO 178	12000	N/mm <sup>2</sup>
Tryckbrottgräns vinkelrätt	ISO 604	300	N/mm <sup>2</sup>
Dragbrottsgräns	ISO 527	120	N/mm <sup>2</sup>
Slagseghet parallellt	ISO 179	100	N/mm <sup>2</sup>
Spjälkningskraft	DIN 53463	2200	N
Vattenupptagning	ISO 62	<0.1	%
<b>Termiska</b>			
Arbetstemperatur, max	IEC 6021	200	°C
Värmeledningsförmåga		ca 0.25	W/mK
<b>Elektriska</b>			
Elektrisk genomslagshållfasthet vinkelrätt	IEC 6024	12	kV/mm
Elektrisk genomslagshållfasthet parallellt	IEC 6024	75	kV/25 mm
Gränskrypspänning	IEC 6011	CTI 600	

### 5.3 Bedömning av material

#### Peek

Har alla de egenskaper som behövs för en bra fästskiva men på grund av en alldeles för hög kostnad ca 110 000 kr för 500 x 1000 x 50 mm på produkten är detta inte ett lämpligt material till fästskivan.

## Vävbackelit

Har flera bra egenskaper men det som talar mot vävbackeliten är att temperaturlågheten inte är tillräckligt god och att materialet i sig inte är mekaniskt starkt.

## Glasfiberpolyester

Har vad som krävs för att bli ett bra material till fästskivan, materialet klarar hög temperatur är mekaniskt starkt och lätt att limma, dessutom är kostnaden låg ca 3000 kr för 540x180x50 mm. Det ända som är negativt är bearbetningen av materialet eftersom materialet dammar, luktar illa, ger kliande känsla på händer och armar efter bearbetning, materialet sliter också mycket på verktygen som används vilket ger en hög produktions kostnad. Trots detta är glasfiberpolyester det bästa valet för fästskivan.

## Materialval

Valet av material till fästskivan blev glasfiberpolyester 1220. valet gjordes på grund av att temperaturlågheten är högre på 1220 än vad glasfiberpolyester UPMS2 klarar. Kostnaden var dessutom lite lägre på 1220.

## 5.4 Tillverkningsoperationer

Tillverkningen av en fästskiva gjordes genom både fräsning och svarvning i olika uppställningar. Under tillverkningen behövdes det också tillverkas en del fixturer för att underlätta tillverkningen av fästskivan.

### Operation 1 (Borning)

Borning och försänkning av de 5 skruv hålen och ett centrerings hål utförs i en fräs fastspänning av detaljen är gjord i skruvstycke.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom det som skulle kunna orsaka problem vid serietillverkning är att materialet sliter hårt på verktygen, trots att snabbstål räckte till denna operation skulle jag rekommendera att använda borr i hårdmetall för serietillverkning.



Bild 5. Fästskivan efter första operationen.

### Operation 2 (sågning)

Från att vara rektangulär till att få en cirkulär form vikes utfördes med bandsåg. Detta är inte en gångbar operation vid serietillverkning på grund av att sågningen tar stor tid det skulle underlätta att få färdiga runda plattor att börja bearbeta

**Problem under tillverkningen:** såg bladets slits snabbt och sågningen blir skev.

**Operation 3** (svarvning av diameter, lagerhus, fas)

Till denna operation tillverkades en fixtur där fästskivan kunde skruvas fast i de 5 skruvhålen och centreras med hjälp av ett centrerings hål. Centrerings gjordes med en noggrannhet på kastet till 0.1 mm. Större noggrannhet behövdes inte eftersom bearbetningen av ytterdiametern och lagerhuset på detaljen eliminerade kastet. I denna operation svarvades även fasen på 4°.

**Problem under tillverkningen:** det som kom upp var att det dammade väldigt mycket under tillverkning, detta löstes med att sätta en sug som sög bort dammet under svarvningen.



Bild 6. Fästskivan efter tredje operationen.

**Operation 4** (svarvning av framsidan)

För att kunna få båda lagerhusen utan kast mellan varandra så att det inte uppkommer någon obalans i axeln senare under drift, förändrades fixturen så att en passning för lagerhuset svarvades fram. Denna passning gör att fästskivan blir centrerad och bara behöver skruvas fast för att kunna bearbetas. Nu svarvades fästskivans yttermått färdigt.

**Problem under tillverkningen:** inga nya problem uppkom vid denna operation.



Bild 7. Fästskivan efter fjärde operationen.

**Operation 5** (fräsning av 60 spår)

Denna operation var den mest kritiska och komplicerade i tillverkningen om vinkeln mellan spåren blev fel eller om materialet mellan spåren skadades kunde detta inte korrigeras. Till denna operation behövdes ett rundmatningsbord och en ny fixtur att

skruva fast fästskivan på. Sedan indikerades detaljen med en indikatorlocka så att spårningen skulle bli centrerad.

**Problem under tillverkningen:** Slitsfräsen blev snabbt sliten då fräsen var av snabbstål. Dessutom upptäcktes ett konstruktionsfel då spåren visade sig bli för små. Detta kunde dock korrigeras med att beställa en bredare slitsfräs. Det bildades också skägg vid fräsens utgång i arbetsstycket vilket kan lösas med att fräsa både uppifrån och nedifrån vilket lätt kan göras i en fleroptions maskin (CNC fräs). För att ta bort skägget användes en vass kniv.

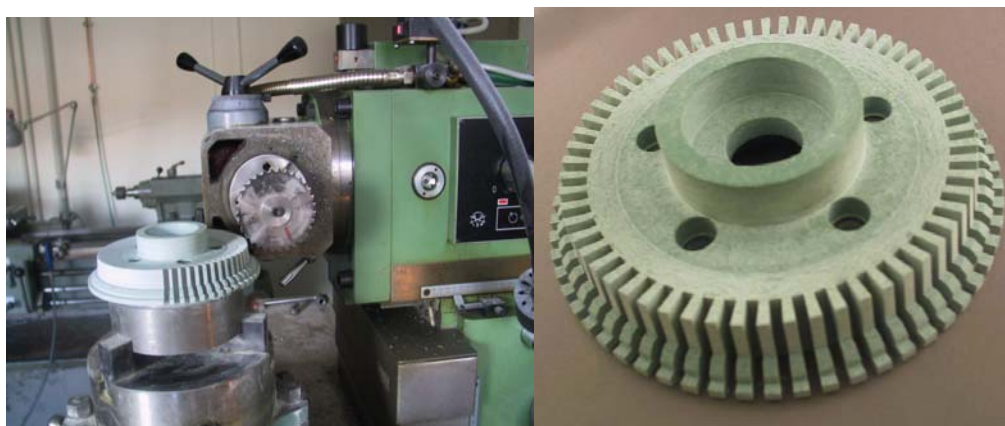


Bild 8. Fästskivan under tillverkning och färdig fästskiva

## 6 Lindningar

### 6.1 konstruktion

De tre faserna i motorn består tillsammans av 60 stycken lindningar varav varje fas består av 20 stycken lindningar. Lindningarna är placerade runt fästskivan och skapar därmed förutsättningarna till att kunna få en toroid. Lindningarna kopplas sedan till varandra för att kunna skapa det magnetiska flödet som samverkar med flödet från permanentmagneterna i motorn. För att kunna få en bra gjutning av toroiden är det viktigt att lindningarna inte skiljer sig markant åt i dimensionerna detta eftersom gjutmassa över en lindning kan kortsluta delar av magnetfältet som skapas å därmed minska kraften i motorn.

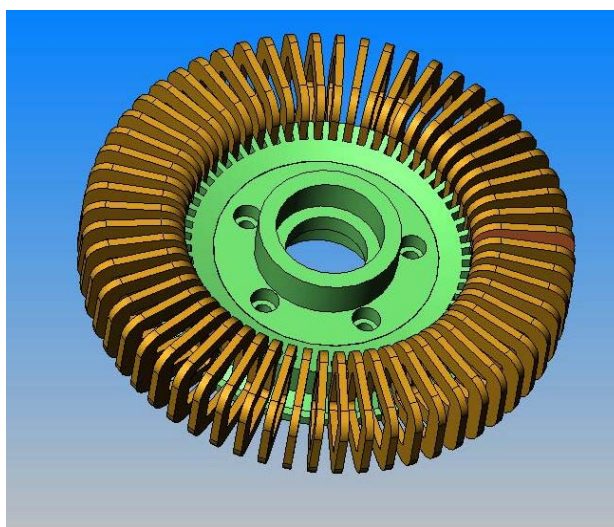


Bild 9. Visar hur lindningarna är placerade runt fästskivan

När det gäller att bestämma storleken på lindningarna och antal lindningsvarv så är yttermåten på lindningen förutbestämd då yttermåten på motorn är förutbestämda, så det är antal lindningsvarv som behöver bestämmas. De faktorer som bestämmer antal varv på lindningen är

- Storleken på strömmen och därmed diametern på tråden.
- Strömtätheten i lindningen vilken är proportionell mot antal lindningsvarv och högre strömtäthet ger ett större vridmoment.
- Ytterradiernas förändring vilken ökar proportionellt för antal lindningsvarv.
- Bredden på lindningen

För att kunna klara en hög ström används transformatortråd som har en diameter på 1.85 mm inklusive skyddslacken. Genom att använda tråd med en diameter på 1.85 mm så fås bredden på lindningen till ca 4 mm efter att lindningen doppats ytterligare i skyddslack som täcker hela lindningen. I följande tabell kan ses hur antal varv påverkar vridmomentet och dessa siffror är framtagna genom simuleringar.

Slot depth [mm]	Torque with SMC core [Nm]	Torque with PBIP core [Nm]
8.0	21.6	20.8
10.0	25.9	24.7

*Tabell över hur vridmomentet förändras med antalet lindningshöjd*

Som kan ses i tabellen skall tio mm i lindningshöjd ge det största vridmomentet och det motsvarar 10 lindningsvarv vilket möjliggör en hög fyllningsfaktor på koppar i lindningen samma bredd får åtta lindningsvarv av att den lindas 2 gånger 4 varv. När det sedan kommer till hur lindningens radier och form förändrats mellan åtta och tio lindningsvarv gjordes provlindningar för att kunna mäta upp förändringen på radierna.

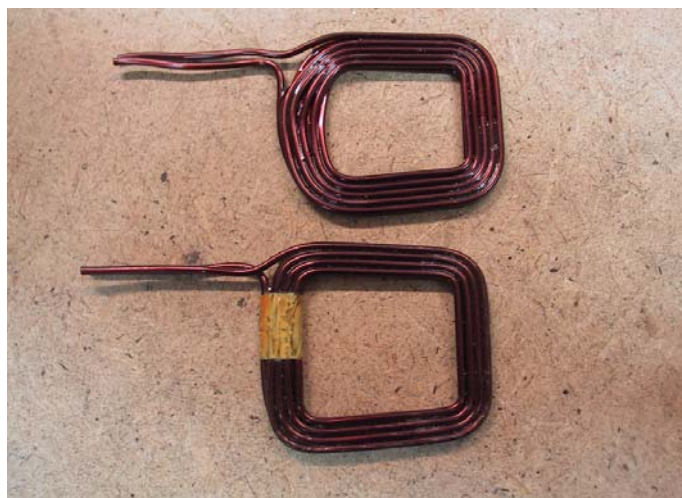


Bild 10. De två lindningstyperna 10 o 8 varv 10 varv är överst

## 6.2 Val av lindning

Båda lindningarna har fördelar och nackdelar dessa är

### Åtta lindningsvarv

Fördelar: som kan ses i bilden ovan får lindningen en mer distinkt form detta gör att det är stora fördelar vid konstruktion av detaljer vilka är beroende av lindningens form så som fästskivan och gjutformen.

Nackdelar: det är en stor nackdel å det är ett lägre antal amperevarv och därmed mindre moment i motorn.

### Tio lindningsvarv

Fördelar: det finns en stor fördel å det är större strömtäthet och därmed ett högre vridmoment i motorn.

Nackdelar: lindningens form är inte så exakt därmed kommer yttermåttarna att variera detta ställer till lite problem vid gjutningen och vid konstruktionen av fästskivan och gjutformen.

Valet av lindning föll på tio lindningsvarv även om ytter dimensionerna varierar så ger den ett större vridmoment och eftersom lindningarna är handgjorda till denna prototyp så vid en massproduktion kommer lindningen att lindas maskinellt och därmed kommer precisionen på lindningarna att öka och nackdelarna kommer att minska.

## 7 Lager

### 7.1 Val av lager

När det gäller att stabilisera axeln och därmed rotern behövs det ett lager som kan ta upp inte bara radiella utan även axiella krafter. Detta på grund av att luftgapet mellan startorn och rotern skall vara konstant 1 mm på alla tre sidorna. Det är även av största betydelse att det inte uppkommer några större vibrationer på rotern och axeln under drift. SKF har med sina ”Taper Roller” bearings en samling lager vars konstruktion skulle fungera utmärkt till att stabilisera axeln och rotern. På grund av att det främre lagerhuset är det lagerhus som har svagast konstruktion så får det styra val av lager och dimensionerna till dessa. Dimensionskraven på lagret bestäms av dessa faktorer

Lagerhusets ytterdiameter är 70 mm lagerhus väggen bör bli ca 10 mm tjock och lagerhylsan ca 3 mm det ger en dimension på lagret till 44 mm i ytterdiameter. Axelns diameter bör ligga runt 25-30 mm

I detta fall finns det bara ett standard lager som klarar av de krav som har satts upp det lagret är ett single rowe taper roller bearings. Lagret är ett tvådelat lager och behöver ett visst axiellt tryck för att kunna fungera optimalt detta tryck kommer från en spännmutter.



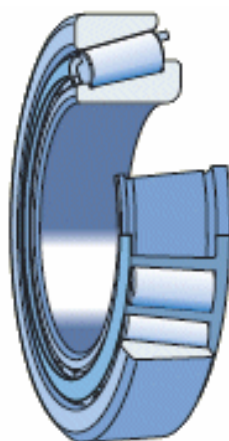


Bild 11. Single row taper roller bearings.

### Data för lagren

Taper roller bearings, single row						
Basic ratings	load	Fatigue Load limit	Speed ratings	mass	Designation	
Dynamic Static			Referens Limiting Speed Speed			
C	$C_0$	$P_u$				
KN		KN	r/min	Kg		
27	32,5	3,25	11000 14000	0,11	32005 X/Q	

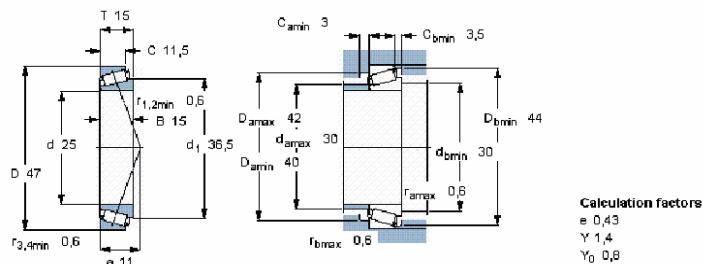


Bild 12. Ritning på lagret.

## 8 Lagerhylsa

För att kunna ta upp de krafter som kommer att förmedlas från axeln genom lagren till fästskivan så att fästskivan inte riskerar att skadas behövs det en lagerhylsa. Lagerhysan har dessutom en skyddande roll mot glasfiberdamm från fästskivan. Glasfiberdamm skulle lätt kunna förstöra ett lager eftersom det fungerar som slipmedel på grund av glasets hårdhet.

### 8.1 Konstruktion

Lagerhysans konstruktion är enkel men det finns vissa viktiga aspekter som det behövs tas hänsyn till. Glapp är det som behövs minimeras så det inte blir några stora

vibrationer i motorn. Lagerhylsan är konstruerad så att den är utbytbar vilket blir till en stor fördel när det gäller att förhindra glapp.

Innerdiametern på hylsan: för att lagren skall få en bra stabiliserande miljö behöver det vara en fin tolerans på hylsans innerdiameter så att glapp mellan lager och hylsa minimeras.

Ytterdiameter: även ytterdiametern behöver ha en fin tolerans en så kallad presspassning detta för att det inte skall bli något glapp mellan hylsa och lagerhus.

Djupet i hylsan: har inte så stor betydelse så länge det är lite djupare än bredden på lagret alltså kan toleransen vara lite grövre.

Längden på hylsan: har inte heller så stor betydelse även här kan en grov tolerans användas.

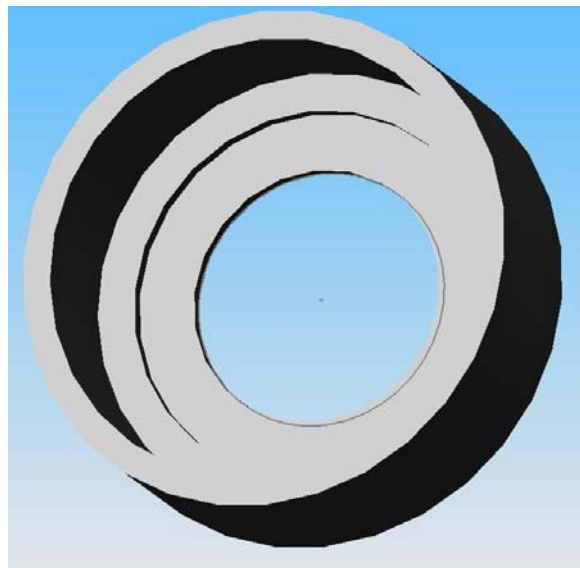


Bild 13. Lagerhylsan.

## 8.2 Materialval

Materialet till hylsan skall vara ett ohärdat material detta så att det inte blir något spänningsbrott i hylsan dessutom kan materialet i hylsan fungera som en stötdämpare mellan lager och fästskivan. Så materialvalet blir automat stålet ss1912.

## 8.3 Tillverkningsoperationer

### Operation 1 (svarvning)

Detaljen tillverkades färdig i en uppsättning tillverknings momenten var följande Utvändig svarvning  $\varnothing$  53 mm, borrar  $\varnothing$  22 mm, invändig svarvning  $\varnothing$  27 mm,  $\varnothing$  39 mm till djup 16 mm och  $\varnothing$  47 mm till djup 14.5 mm, avstickning till längd mått 17.5 mm.

Problem under tillverkningen: inga problem uppstod.

## 9 Axel

### 9.1 Konstruktion

Lagerpassning: axeln utformas så att det finns två passningar där axiallagren skall placeras. För att kunna spänna lagren så att det blir ett minimalt glapp och därmed kunna fixera axel och rotor i förhållande till statorn gängas axeln så att en spännmutter kan skruvas på.

Resolver styrning: för att kunna använda en resolver behövs en styrning som en resolver kan fästas på. Denna styrning har en invändig gänga vilken används till att fixera resolvern.

Kraftöverföringen: kraftöverföringen mellan rotorn och axeln sker med ett skruvförband på 5st M6 skruvar dessa fästes i en fästring på axeln.

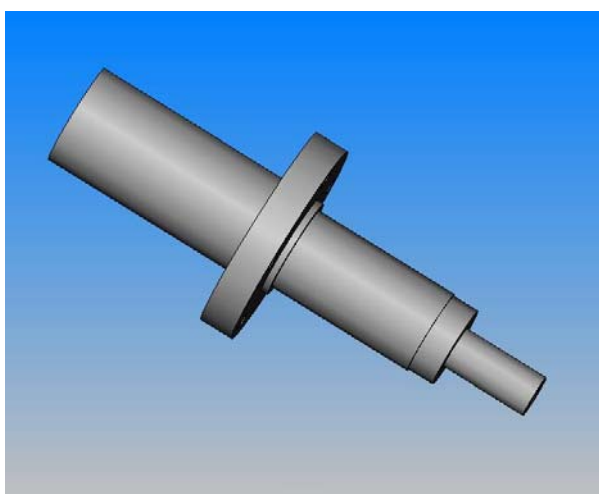


Bild 14. Axeln.

### 9.2 Materialval

Till axeln behöver det vara ett stål som kan seghärdas det finns två primära stålsorter att använda till detta olegerade stål (kolstål) och legerade stål. Genom att härda axeln så skall axeln bli tillräckligt starkt för att kunna stabilisera rotorn och samtidigt överföra den kraften som skapas av rotorn. På grund av att det inte finns tillräckliga härdmöjligheter på skolan så spelar valet av stålsort till axeln för denna prototyp inte så stor roll. Om härd möjligheter funnits skulle valet ha fallit på stål sorten SS1672 vilken är ett olegerat stål detta på grund av att stålet går att seghärda, låg kostnad och är ett någorlunda lättbearbetat material.

### 9.3 Tillverkningsoperationer

#### Operation 1 (svarvning)

Svarvning av resolveraxeln, borrar och gängning av M5 i änden för att kunna fixera resolvern. Lagerpassningen svarvades och gängan för spännmuttern till lagren gängades.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

#### Operation 2 (svarvning)

I denna operation svarvades den synliga delen av axeln och diametern på fästingen där kraftöverföringen skall ske.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

### **Operation 3** (börning)

Till denna operation användes ett rundmatningsbord och 5 hål med diameter  $\text{Ø}5$  mm borrades.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

### **Operation 4** (gängning)

Gängning av 5 hål till med M6 med gängtapp.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.



Bild 15. Axeln med spännmuttern.

## **10 Resolvern**

För att kunna ha kontroll över motorn och kunna styra den behövs det någon sorts av återkoppling. Ett enkelt sätt att göra detta är att förse motorn med en resolver denna kan enkelt byggas in i konstruktionen men kan även tillföras vid ett senare stadium.

### Konstruktion

Det finns olika konstruktioner på resolvern den vanligaste konstruktion och den som används till toroidmotorn är en borstlös tvåpolig resolver. Resolvern fungerar enkelt beskrivet på samma sätt som en generator och genom att titta på resolverns signal kan varvtal och rotorns position bestämmas och styras.

### **10.1 Val av resolver**

Eftersom det redan fanns tillgång till en resolver behövdes den inte införskaffas så den resolvern som användes var en två polig resolver från LTN servoteknik GmbH.



Bild 16. Resolver.

## 11 Resolverhuset

Om resolvern skall kunna arbeta effektivt så behöver resolvern sitta fixerad. Detta löses lätt med ett resolverhus. Nu har resolverhuset inte bara tilluppgift att fixera resolvern utan också att fungera som monteringsfäste för toroidmaskinen.

### 11.1 Konstruktion

10 gängade M8 hål: 5 gängade hål på varje sida av resolverhuset där de 5 hålen på en sida är till för att kunna montera resolverhuset på fästskivan. De andra fem gängade hålen används för att kunna montera fast toroidmotorn.

Hål Ø 52.25: är just passningen för resolvern och djupet på detta är så att det går att spänna fast resolvern med yttre skruvar.

Hål Ø 42: är till för att bakre delen av axeln skall kunna passera igenom.

Hål Ø 12: är till för att kunna leda ut kablar från temperaturgivare och trefaslindningen.

Spåret: finns på grund av resolverns kabel och dessutom för att kunna hantera alla kablarna på ett smidigt sätt. Spårets bredd är 12 mm och spårets djup är 16 mm.

### 11.2 Materialval

Materialet till resolverhuset behöver bara vara stål. Vilken stålsort som helst fungerar eftersom det inte kommer att vara någon kraftpåverkan mer än mottorns vikt. Det är dock en fördel om resolverhuset kan leda bort värme snabbt så att motorn håller sig sval. Valet blev då SS1914 som är en alldeles utmärkt stålsort att använda billig och lätt att jobba med.

### 11.3 Tillverkningsoperationer

#### Operation 1 (Borrning, Svarvning invändig)

Resolverhuset plansvarvades och borrades med Ø 22 mm, sedan svarvades hålet invändigt upp till Ø 52.25 mm och djupet på hålet till 27 mm resten svarvades till Ø 42 mm.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

#### Operation 2 (Svarvning utvändigt och plansvarvning)

För att kunna svarva utvändigt så användes invändiga backar i uppspänningen sedan svarvades resolverhuset utvändigt å planades i mått.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

### **Operation 3** (Borrning av 5 M8 hål med borrh $\varnothing$ 6.8 och borrning av hålet $\varnothing$ 12)

För att kunna borra hålbilden för de 5 M8 hålen användes ett rundmatningsbord för att kunna få rätt vinkel mellan hålen.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

Operation 4 (Borrning av 5 M8 hål med borrh  $\varnothing$  6.8 och fräsa det 12 mm spåret)

Borrningen gick till på samma sätt som beskrivet i operation 3 och spåret frästes med  $\varnothing$  12 i flera skär med 2 mm i varje skär till 16 mm djupt.

**Problem under tillverkningen:** inga problem uppkom under tillverkningen.

## **12 Rotorn**

### **12.1 Konstruktion**

Rotorn var den detaljen som blev enklast att konstruera. Detta berodde på erfarenhet från tidigare konstruktions problem under utvecklingen av motorn, på grund av detta så väntades det med att konstruera rotorn tills att det inte förekom några betydande förändringar vare sig på magneterna eller på startorn. Rotorn konstrueras i två delar ett framstycke och ett bakstycke. Dessa skall omsluta statorn.

### **12.2 Framstycke**

Innerdiametern  $\varnothing$  256: denna diameter bestämmer luftgapet mellan magneterna och rotorn på grund av detta är det ett viktigt mått som behöver ha en liten tolerans.

4 grader fas: detta är en viktig del av rotorn, när rotorn roterar snabbt blir det stora krafter som påverkar magneterna. Dessa krafter behöver riktas på ett sådant sätt så att magneterna pressas ut mot sidorna på rotorn. Annars skulle en magnet som lossnar kunna skada både stator och de andra magneterna på rotorn. För att kunna förhindra detta behövs det en stoppklack och en fas som magneterna skall limmas emot. När sedan rotorn roterar riktas kraften på magneterna mot stoppklacken och ut mot sidorna på rotorn, detta skall förhindra att limfogen utsätts för stress.

5 skruvhål: för att kunna överföra kraften från rotorn till statorn används ett skruvförband på 5 stycken skruvar av storleken M6.

10 gängade hål: används för att fästa bakstycket av rotorn med det främre stycket hålen borraras med  $\varnothing$  4.2 mm borrh för att sedan gängas med M5.

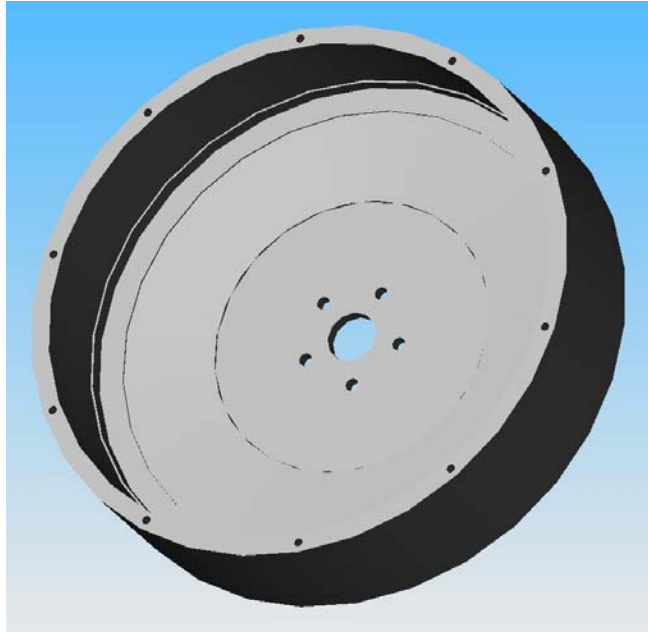


Bild 17. Rotorns frastycke

### 12.3 Bakstycke

4 grader fas: se framstycke.

Hål Ø 140: för att kunna montera resolverhuset på motorn behövs det att resolverhuset går fritt från rotorn.

10 borrarade genomgående hål: för skruvarna som fäster bakstycke till framstycke.

Styrfläns: så att bakstycket passar lätt i framstycket.

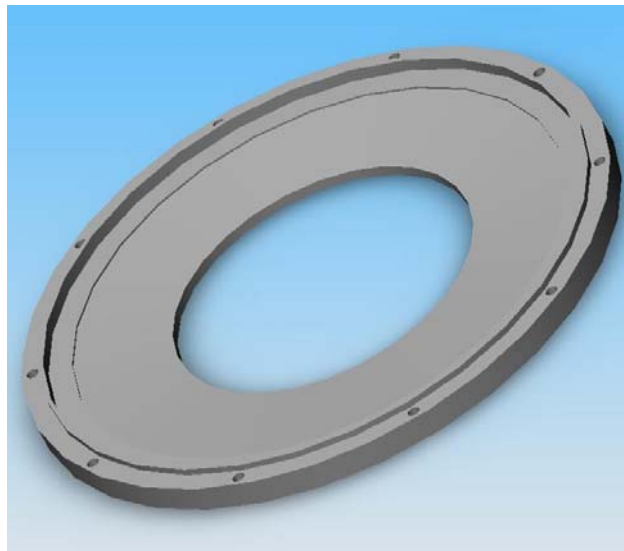


Bild 18. Rotorns bakstycke

### 12.4 Material val

Material valet till rotorn har två betydande egenskaper, att materialet är magnetiskt ledande och att det kan överföra den roterande kraften till axeln. Till detta duger vilken magnetiskt ledande stålsort som helst. Därför blev valet på ett lättbearbetat material SS 1914.

## 12.5 Tillverknings operationer Bakstycke

### Operation 1 (sågning)

Både bakstycket och framstycket sågades i en kapsåg.

**Problem under tillverkningen:** de problem som uppkom var att sågningen tog lång tid.

### Operation 2 (börning och svarvning av $\varnothing$ 140 mm)

Bakstycket börades med  $\varnothing$  23 mm för att sedan svarvas upp till  $\varnothing$  140 mm i denna operation planades också bakstycket.

Problem under tillverkningen: inga problem uppstod.

### Operation 3 (utvändig svarvning $\varnothing$ 274)

För att kunna svarva utvändigt var det tvunget att spänna bakstycket på den invändiga diametern  $\varnothing$  140. I denna operation planades också andra sidan.

Problem under tillverkningen: inga problem uppstod.

### Operation 4 (svarva fas 4 grader)

I denna operation svarvades en passning för att kunna sättas ihop med framstycket av rotn.

Därefter så svarvades fasen på 4 grader.

Problem under tillverkningen: inga problem uppstod.

### Operation 5 (börning 10 hål)

Denna operation utfördes i fräsen och för att kunna borra hålen användes ett rundmatningsbord. Bakstycket spändes på diameter  $\varnothing$  140.

Problem under tillverkningen: inga problem uppstod.



Bild 19. Bakstycke med pålimmade NdFeB magneter



## 12.6 Tillverknings operationer framstycke

### Operation 1 (sågning)

Se operation 1 bakstycke.

### Operation 2 (svarva utvändigt och plana)

Den utvändiga diametern svarvades så långt det gick till  $\varnothing 274$  mm dessutom så planades sidan på framstycket.

**Problem under tillverkningen:** ämnet till framstycket vägde ca 45 kg detta gjorde att sätta upp detaljen i svarven medförde vissa problem. Detta kunde lösas med att lägga träbitar så att ämnet kom upp tillräckligt i höjd och kunde då föras in i svarvens spännbackar.

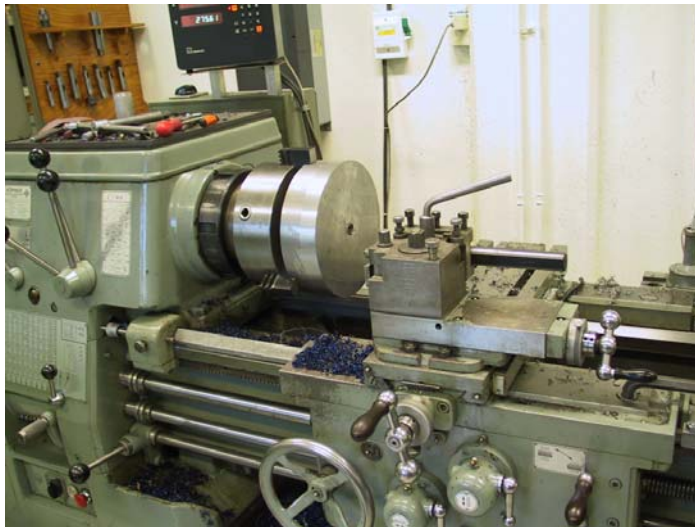


Bild 20. Framstycket uppsatt för den invändiga svarvningen.

### Operation 3 (svarva framstycket färdigt)

Framstycket svarvades utvändigt den delen som inte kunde svarvas i operation 2 och planades sedan i mått. Därefter borraras  $\varnothing 23$  mm genom hela arbetsstycket varefter den tids ödande processen att svarva ur detaljen börjades. När detta var klart svarvades de noggranna måtten  $\varnothing 256$  och fasen på 4 grader även  $\varnothing 23$  svarvades upp till  $\varnothing 30$  så axeln skulle passa.

**Problem under tillverkningen:** inga större problem tillkom under denna operation.

### Operation 4 (borrning)

Detta kunde inte göras i fräsen med rundmatningsbordet utan fick göras i en bänkbormaskin.

**Problem under tillverkningen:** att borra i en bänkbormaskin ger inte den toleransen som kan uppnås i en fräs men i serieproduktion skulle detta problemet inte uppkomma.

### Operation 5 (borrning)

Efter att axeln kunde skruvas fast på framstycket kunde rundmatningsbordet användas och hålen  $\varnothing 4.2$  kunde borraras å gängas.

**Problem under tillverkningen:** inga större problem tillkom under denna operation.

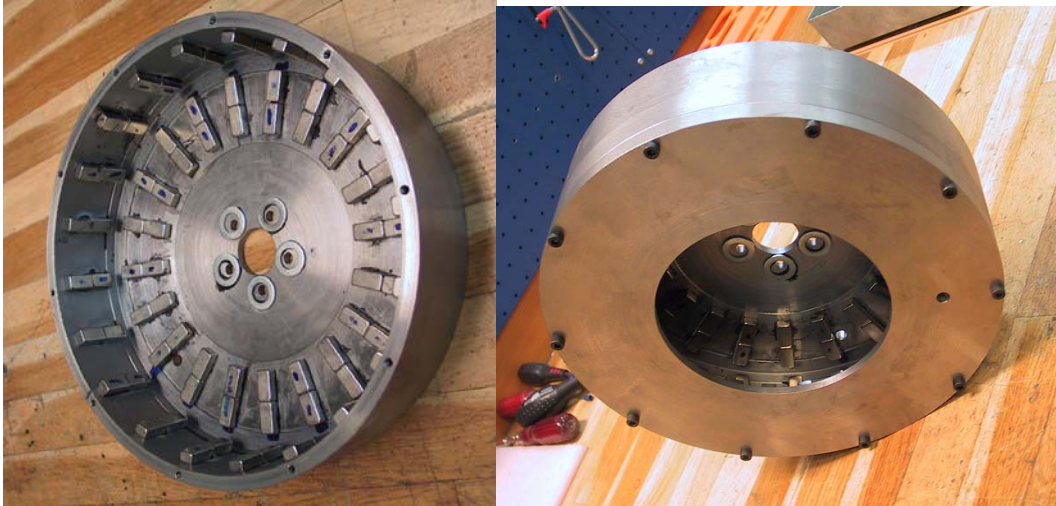


Bild 21. Framstycke med pålimmade magneter och hela rotorn hopskruvad.

### 12.7 Kommentar till rotor

Att tillverka en rotor på det sätt som beskrivs ovan är gott och väl när det gäller en prototyp men är helt ohållbart vid serietillverkning. Detta av två stora anledningar

1. Materialåtergången är alldeles för stor från början vägde ämnena ca 60 kg tillsammans när rotorn var klar å hopskruvad vägde den ca 10-12 kg. Att skrota bort 48 kg material är inte hållbart.
2. Tidsåtgången för att tillverka rotorn gör att kostnaden för rotorn blir på tok för hög..

Eftersom detta är en prototyp blir dessa problem en senare fråga om motorn visar sig fungera som tänkt och en serieproduktion övervägs.

### 13 Magneter

För att kunna få ett stort moment i motorn behövs det riktigt starka magneter. Dessa kommer att limmas fast på rotorn i mönster på främre rotordel och bakre rotordel. Att limma magneterna på plats kommer att bli ett svårt problem att lösa på grund av att magneterna vill lägga sig på varandra.

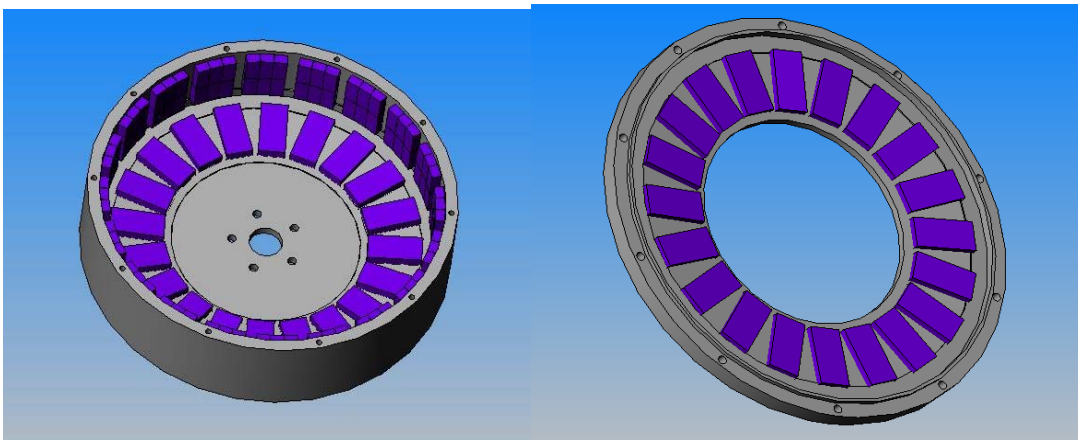


Bild 22. Hur magneterna skall vara placerade på rotorn.

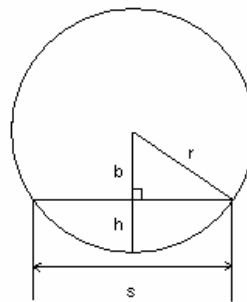
### 13.1 Konstruktion

Det finns vissa problem som uppstår när magneterna skall fästas på rotern. Dessa problem är beroende på magneternas storlek, utformning och tjocklek.

**Problem 1:** På grund av radien på ytterdiametern fås en varierande spalt mellan magneten och rotern om en plan magnet används. Denna spalt skall kunna fyllas av lim detta för att minska spänningar på magneterna och öka hållfastheten vid limning. För att beräkna spaltens storlek behövs följande härledning.

$s$  = magnetens bredd,  $h$  = spaltens maxhöjd och  $r$  = radien på rotern

$$r^2 = b^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2 \text{ och } h = r - b$$
$$b = \sqrt{r^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2}$$
$$h = r - b = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{s}{2}\right)^2}$$



**Problem 2:** Det blir ett varierande luftgap mellan rotor och stator om det inte används en magnet med radie. Där luftgapets variation beror på magnetens storlek. Luftgapets variation beräknas med samma beräkning som beräknade spaltens storlek.

**Problem 3:** Magneterna blir skörare med avseende på magnetens tunnhet och kan därmed lättare skadas.

Dessa tre problem har samma lösning att hitta en magnet eller att kombinera flera magneter med en sådan storlek att dessa problem blir tillräckligt små. Om en magnet skulle användas till en pol behövs denna skapas med radier, detta så att en tunn spalt mellan magneten och rotern underlättar för att få en effektiv fästare mellan dessa. Radier på magneten behövs dessutom för att kunna få ett stabilt icke varierande luftgap mellan rotor och stator. Kostnaden för en sådan magnet kommer att vara stor dessutom kommer den att bli skör om inte magneten skall bli för tjock och därmed påverka roterns ytterdiameter. När det inte går att använda en magnet blir det att flera magneter kommer att behövas fästas intill varandra och därmed kunna täcka en viss yta och bilda en nord eller syd pol. På grund av detta kommer det bli många magneter att fästa så för att kunna underlätta fästningen för magneterna får dessa en enkel utformning. För att kunna täcka en pol bedöms två olika förslag.

1. Polarean täcks med en magnet storlek på detta sätt. Magnetens dimensioner är 10 x 20 x 7 mm, spalten blir på 0,097 mm Luftgapet varierar med 0,103 mm



Bild 23. Förslag 1.

Detta är det absolut enklaste sätt att magnetisera toroidmotorn.

- 2 Polarean täcks med två olika storlekar på magneterna. Magnet 1:s dimensioner är  $9 \times 15 \times 5$  mm spalten blir på  $0,080$  mm Luftgapet varierar med  $0,083$  mm magnet 2:s dimensioner är  $12 \times 10 \times 5$  mm spalten blir på  $0,143$  mm Luftgapet varierar med  $0,149$  mm.

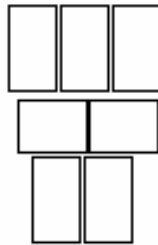


Bild 24. Förslag 2.

Här fås en större täckning av polytan men med ett ökat antal magneter detta försvårar monteringen.

### 13.2 Val av magnetdimensioner

Valet av vilket av de två förslagen som skall användas till motorn föll på förslag 1. Detta förslag ger en enkel lösning med ett lågt antal magneter. Detta utan att fördenskull äventyra fastsättningen genom att få en för stor spalt mellan magneten och rotorn detta gäller även för det varierande luftgap mellan rotorn och startorn. En annan fördel är att eftersom det inte behövs kombinera olika storlekar på magneterna blir monteringen enklare och priset på magneterna hålls nere.

### 13.3 Val av magnetsort

Vid val av magneter till rotorn är det tre egenskaper som premieras styrka, värmetålighet och pris. På grund av att det är en prototyp som skall byggas är det i den inledande fasen styrka och pris som är de huvudsakliga bedömnings parametrar vid valet av magneter, detta gör att det egentligen bara finns en intressant magnet typ denna är NeFeB, eftersom ferritmagneter inte har tillräcklig styrka. Trots detta finns det flera olika sorter av NeFeB magneter, eftersom magneterna har hög styrka vilken grad de än tillhör gör att temperatur tåligheten är det som är intressant att studera. I kommande tabell beskrivs magneternas egenskaper.

## NdFeB Grades

Grade	Remanence (T)	Coercivity bHc (kA/m)	Coercivity iHc (kA/m)	Energy Product BH max (kJ/m <sup>3</sup> )	Working temperature (max °C)
N 35	1,22	844	955	280	80
N 38	1,25	860	955	304	80
N 40	1,30	875	955	320	80
N 45	1,36	900	955	350	100
N 35 M	1,22	875	1115	280	100
N 40 M	1,30	900	1115	320	100
N 30 H	1,14	810	1350	240	120
N 35 H	1,23	900	1350	280	120
N 40 H	1,32	960	1350	320	120
N 30 SH	1,14	810	1590	240	150
N 35 SH	1,22	900	1590	280	150
N 27 UH	1,08	810	2000	220	180
N 30 UH	1,14	836	2000	240	180

- Reversible temperature coefficient of Br = -0,11...-0,13 % / K, iHc = -0,55...-0,65 % / K
- Surface coating: Cu/Ni, Zn, Sn, Epoxy
- Density : 7,4 g/cm<sup>3</sup>

### 13.4 Val av magnet

Eftersom styrka o pris är de två viktigaste parametrarna i detta läge blir valet magneten grad N40. Vid serieproduktion av motorn är det förmodligen mer intressant med N 30 SH eller N 35 SH då dessa har en värmetålighet på 150° C. Priset sjunker dessutom när en större kvantitet magneter beställs.

### 13.5 Magnet montering

De magneterna som är valda är mycket starka så att montera första magneten borde vara lätt men när sedan kommande magneter skall monteras uppstår det ett problem. Magneterna vill lägga sig på varandra o de har en så stor styrka att detta behövs tas hänsyn till. Hur magneterna påverkar varandra vid limningen kan ses i bild. Vilket kommer ha en stor potentiell chans att försvåra monteringen av magneterna markant.

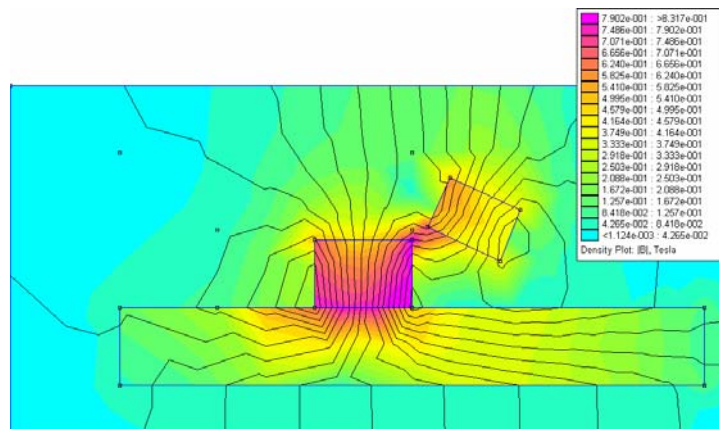


Bild 25. Visar hur ett oslutet magnetfält påverkar en magnet som skall limmas.

På detta problem finns det flera olika lösningar. Att avleda magnetfältet för att göra det lättare att kunna placera och limma kommande magneter är en enkel och snabb lösning. Detta sker enklast med en metallbit som kan leda magnetiskt flöde. Metallbiten förs över magneten och om sedan metallbiten har kontakt med rotorn fås ett slutet magnetflöde. När detta har utförts kan nästa magnet lättare limmas på plats eftersom det inte uppstår någon extrem dragningskraft mellan magneterna. I bilderna nedan visas hur det magnetiska flödet kan ledas bort och hur det magnetiska flödets

spridning och påverkan blir under montering. Som kan ses minskar dragningskraften mellan de två magneterna markant.

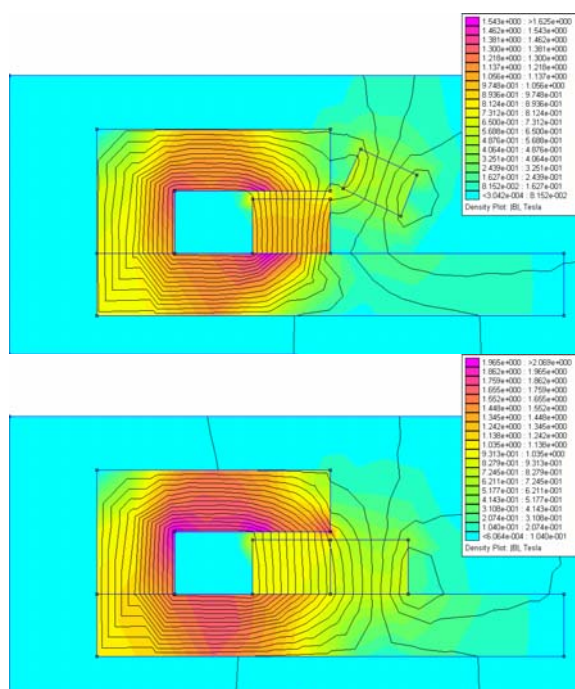


Bild 26. Visar hur ett slutet magnetiskt flöde påverkar en magnet som skall limmas.

Nu är detta gott och väl för att tillverka en prototyp men för en serieproduktion behövs andra mer produktions vänliga lösningar. Andra idéer är att ha en form som magneterna kan placeras i och därmed limma alla magneterna på en gång. Men det uppkommer diverse andra svårigheter med detta t.ex. hur magneterna skall hållas på plats. Det kommer förmodligen att bli ett antal olika försök för att kunna bestämma den enklaste metoden att montera magneterna under en serie produktion.

## 14 Gjutform

### 14.1 Konstruktion

Övre och undre Gjutform: konstruerades i två delar en underdel och ett lock. Detta på grund av att lindningarna som skall gjutas in i startorn inte går att tillverkas radiefria. Radien skulle hamna på ett känsligt ställe i gjutformen och förstöra gjutningen. Så gjutformen tillverkas i två delar med en radie för lindningen i båda delarna. Detta ger att det behövs en styr passning mellan formhalvorna för att de skall passa ihop så att det inte blir någon förskjutning mellan dem.

4 grader fas: inuti formhalvorna behövs det en 4 gradig fas som övergår i en radie den fasan tillkommer på grund av att rotorn behöver en fas så att magneterna som sitter på sidorna på rotorn skall få en kraft vid rotation som trycker dem ut mot rotor sidorna (se konstruktion på rotorn).

Passform underdel: i den undre delen av gjutformen behövs det en passning för fästskivans lagerhus eftersom centrerung under gjutning är vitalt för att kunna hålla ett konstant luftgap mellan rotor och stator. Dessutom behövs en passning för att centrera underdelen på rotationsbordet.

Överdel: den markanta skillnaden mellan underdel och överdel är att överdelen har ett stort hål där gjutmassan skall tillföras.

Hålbilder: för att fästa fästskivan och gjutformen vid rotationsbordet behövs det 5 hål dessutom för att skruva ihop de båda delarna behövs det 10 hål jämt fördelade runt formarna.

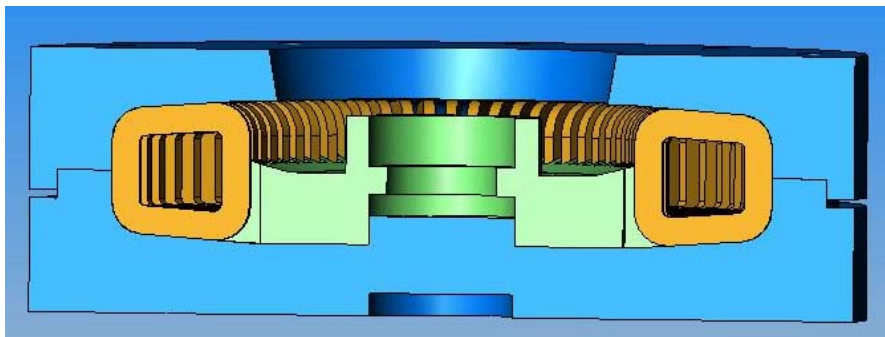


Bild 27. Visar lindningarnas och fästskivans placering i gjutformen.

## 14.2 Val av materiel

Till gjutformen behövs ett material som är svår limmat detta är den viktigaste egenskapen andra egenskaper är att materialet är lättbearbetat, värmebeständigt, mekaniskt styvt (inga märkbara förändringar vid påverkan av en kraft). Två olika material begrundades till gjutformen det ena var ett plast material och det andra var att teflon behandla en gjutform i stål. I normala fall skulle en gjutform i stål föredras men på grund av att detta är en prototyp som skall tillverkas går det bra med att använda en gjutform i plast.

## 14.3 Gjutform i plast

Det finns många fördelar med att göra en gjutform i plast, plast är lättbearbetat, vissa plastsorter har låg limbarhet. Dessutom kan bearbetning i gjutformen utföras enda fram till gjutningen om gjutformen skulle behöva justeras. Av alla plastmaterial var det *pom* som var av störst intresse detta på grund av att viss gjutning redan hade utförts i detta material med goda resultat. Pom är dessutom mycket lättbearbetat vilket underlättar tillverkningen av gjutformen. Det som talar emot pom är att materialet inte är särskilt värmebeständigt vilket ger utslag i att dimensionerna på formen förändras vid temperatur förändring. Detta gör att vid en serietillverkning av motorn där produktionstiden skall hållas så låg som möjligt behöver värme tillsättas för att starta härdningen. Om pom används då kan dimensionerna på startorn inte garanteras, detta är ej acceptabelt vid serietillverkning.

Egenskaper	Värde		Enhet	Provmetod
	POM-C	POM+PE		
<b>Mekaniska</b>				
Densitet	1,41	1,34	g/cm <sup>3</sup>	DIN 53 479
Sträckgräns	65	43	MPa	DIN EN ISO 527
Dragbrottgräns	-	-	MPa	
Brottöjning	30	15	%	DIN EN ISO 527
Drag-E-modul	2700	2200	MPa	DIN EN ISO 527
Böj-E-modul	-	-	MPa	
Kultryckshårdhet	145	110	MPa	DIN 53 456
Slagseghet (Charpy)	inget brott	inget brott	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179
Krypbrott efter 1000 h med statisk belastning	40	44	MPa	
Kryptöjningsspänning för 1% töjning efter 1000 h	13	12	MPa	
Friktionskoefficient mot härdat och slipat stål r = 0,05 N/mm <sup>2</sup> , v = 0,6 m/s	0,32	0,33		
Nötning samma villkor som ovan	8,9	9,9	μ/km	
<b>Termiska</b>				
Smälttemperatur	165	166	°C	ISO 3146
Glasomvandlingstemperatur	60	-	°C	DIN 53 765
Formbeständighetstemperatur Metod A	110	111	°C	ISO-R 75 (DIN 53 461)
Metod B	160	111	°C	ISO-R 75 (DIN 53 461)
Max./min. användningstemperatur kortvarig	140	140	°C	
kontinuerlig	100/-40	100	°C	
Värmeledningstal	0,31		W/(m·K)	
Specifik värmekapacitet	1,5	1,1	J/(g·K)	
Längdutvidningskoefficient	10	14	10 <sup>-5</sup> /K	DIN 53 752
<b>Elektriska</b>				
Dielektricitetstal vid 10 <sup>6</sup> Hz	3,5	3,8		DIN 53 483, IEC-250
Dielektrisk förlustfaktor vid 10 <sup>6</sup> Hz	0,003	0,005		DIN 53 483, IEC-250
Volymresistivitet	10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup>	Ω·cm	DIN IEC 60093
Ytresistans	10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup>	Ω	DIN IEC 60093
Genomslagshållfasthet	>50	85	kV/mm	DIN 53 481, IEC-243, VDE 0303
Krypströmshållfasthet	KA 3c			DIN 53 480, IEC-243, VDE 0303
<b>Kemiska</b>				
Utspädda syror	obeständig	obeständig		
Aromatiska kolväten	beständig	beständig		
Ketoner, Estrar	begr.beständigh.	begr.beständigh.		
Klorerade kolväten (Trikloretylen)	obeständig	obeständig		
<b>Övriga</b>				
Fuktkvot:				
Mätning vid normalklimat (23°C/50 % rel. fuktighet)	<0,3	0,0	%	DIN EN ISO 62
Vattenabsorption: Mätning i vatten vid 23°C	0,5	0,8	%	DIN EN ISO 62
Hydrolysbeständighet (hetvatten+lut)	begr.beständigh.			
Brandklass	HB	HB		enl. UL94-standard
Väderbeständighet	obeständig	obeständig		

### Teflon behandlad gjutform i stål

En teflon behandlad gjutform av stål är att föredra vid serietillverkning. Detta på grund av flera faktorer, gjutformen blir mekaniskt mycket stabil och ytterdimensionerna på gjutformen kan minskas betydligt mot en plastform. Stålet är dessutom betydligt mer värmetåligt än plast vilket gör att härd tiderna kan minskas genom att värme tillförs så att härdningen startar snabbare. När väl härdningen har kommit igång kan formen plockas ned och sättas i en ugn för att där genomhärddas. Det stål som skulle användas till gjutformen skulle vara ett härdbart stål som ss 2140



eller ss 2172 vilka båda är verktygsstål sessa stål genomhärddas bra och har små formförändringar efter härdning.

#### 14.4 Tillverkningsoperationer av gjutform underdel

Gjutformen tillverkas i två delar (över och under del) som setts ihop vid gjutning. Detta medför ett större krav på toleranser både i avseende på kast och innerdiameter i gjutformen, ordningen på operationerna är betydande för att kunna få en bra slutprodukt.

##### Operation 1 (Borning)

Borning och försänkning av 5 skruv hål. Dessutom borrades ett centrerings hål. Tillverknings maskin är en fräs fastspänning är på två parallell bitar mitt på fräs bordet arbetsstycket indikerades och spändes fast.

**Problem under operationen:** inga problem uppkom.

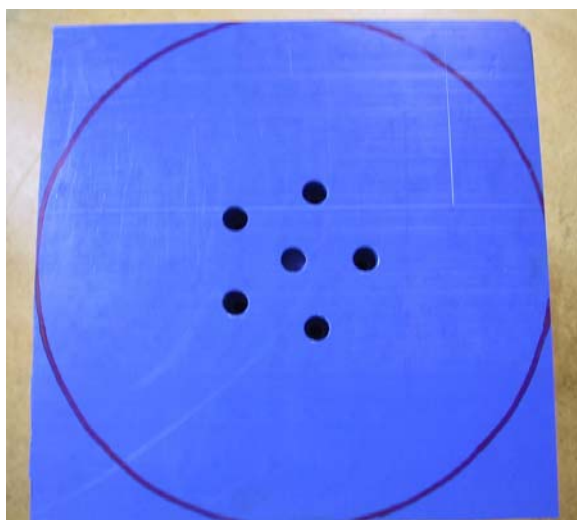


Bild 28. Gjutformens underdel efter första operationen.

##### Operation 2 (sågning rund)

Från att vara rektangulär till att få en cirkulär form viket utfördes med bandsåg. Om motorn skulle serietillverkas blir gjutformen förmodligen i ytbehandlat stål varav denna operation försvinner.

**Problem under operationen:** sågningen blir skev.

##### Operation 3 (svarvning av ytterdiametern)

Denna operation kördes parallellt med operation 3 för fäst skivan samma fixtur användes. Alltså skruvades undre gjutformen fast i de 5 skruvhålen och centreras med hjälp av ett centrerings hål. Centreringen gjordes med en noggrannhet på 0.05mm kast. Sedan bearbetades ytterdiametern på detaljen.

**Problem under operationen:** inga problem uppkom.

##### Operation 4 (svarvning)

Eftersom över och under gjutform skall passa tillsammans behövs måtten  $\varnothing 260$ ,  $\varnothing 240$  och  $\varnothing 52$  svarvas i samma uppställning för att minimera kast mellan måtten.

Måttet  $\varnothing$  52 svarvas så att fästskivan skall centreras vid gjutningen. Även djupet på formen och  $4^\circ$  vinkeln svarvades i denna uppställning.

**Problem under operationen:** de problem som uppkom var material problem efter svarvning så förändrades motten på gjutformen och den fick sättas upp och indikeras in till ett kast på 0.02 mm därefter svarvas om. Förmodligen var det spänningar i materialet eftersom mottet  $\varnothing$  240 krympte ca 0.7 mm på både undre o övre gjutform.

**Operation 5** (borrning av 10 spänn hål)

För att kunna få en jämn hålbild användes ett rundmatningsbord och fixtur. Efter indikering borrades 10 hål.

**Problem under operationen:** inga större problem uppkom under tillverkningen.

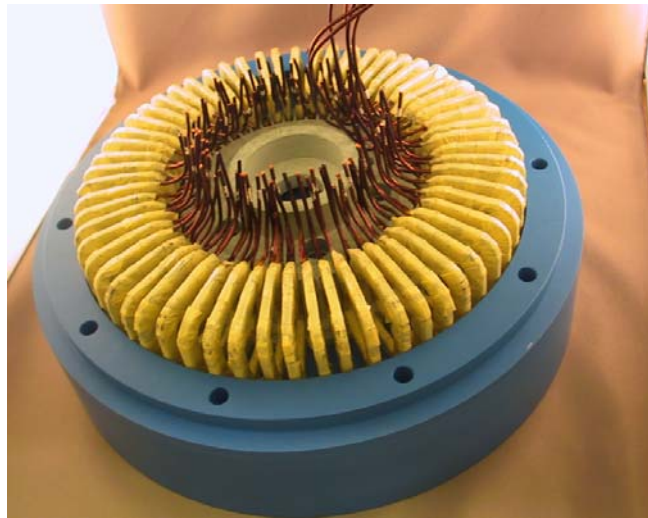


Bild 29. Gjutformens underdel med fästskiva och alla lindningarna.

## 14.5 Tillverkningsoperationer överdel

**Operation 1 - Operation 3** (utfördes på samma sätt som för underdelen)

**Operation 4** (svarvning)

Skillnaden mellan Operation 4 för undre del och övre del var att ingen passning så att fästskivan skulle centreras vid gjutningen behövde svarvas och att styrpassningen svarvades så att den skulle passa utanpå passningen på undre gjutform.

**Problem under operationen:** samma problem uppkom som för Operation 4 för undre del.

**Operation 5** (samma som för operation5 undre del)

**Operation 6** (svarva hål  $\varnothing$  120 med vinkel tio grader)

En enkel uppsättning i svarven först med borrning sedan svarvning till rätt mått.

**Problem under operationen:** inga problem uppkom.

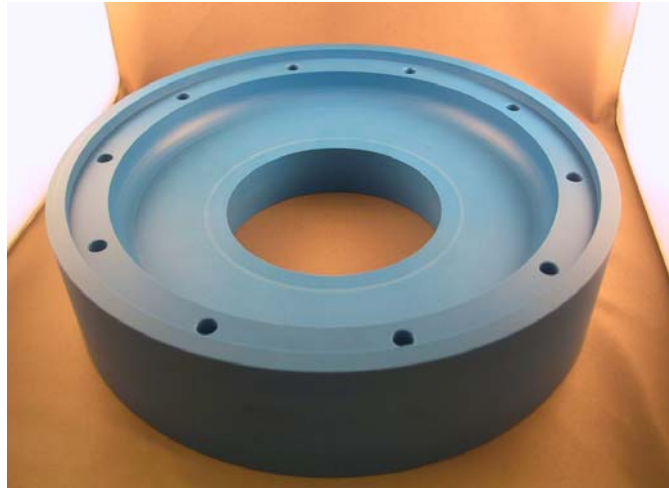


Bild 30. Gjutformens överdel.

## 15 Temperaturgivare

Värme utvecklingen i motorn är av största intresse då denna påverkar värkningsgrad och max moment då temperaturen bestämmer hur stor strömtätheten i motorn kan bli. För att kunna bevaka hur temperaturen i startorn förändras under drift gjuts 4 stycken temperaturgivare in i startorn så att de kan ge en bild hur temperatur fördelningen blir.

### 15.1 Val av temperaturgivare

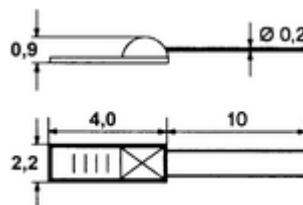
Valet av temperaturgivare föll på temperaturgivaren (Pt 100). Temperaturgivaren pt 100 är en resistanstermometer, denna har en funktion som bygger på att metallers resistans varierar med temperaturen. Att den heter Pt 100 betyder att temperaturgivaren har resistansen 100 ohm vid 0°C och Pt står för platina i det periodiska systemet. För noggranna mätningar används uteslutande resistanstermometrar av platina. Det finns två skäl till att platina används.

Platina är en ädelmetall och det mest elektriskt stabila material vi känner till.

Platinarestansternometern är dessutom själva definitionen för temperatur. Så länge temperaturskalan ITS-90 gäller, går det inte att mäta noggrannare. Its-90 är den internationella temperaturskalan 1990 vilken antogs av den internationella kommiten av vikt och mätningar 1989.

#### Den valda temperaturgivaren

Givare M-FK 422, Pt-100/Pt-1000



Liten resistangivare för temperaturmätning. Korta svarstider och hög tålighet mot vibrationer. Används okapslad endast i torra miljöer. Tillverkad i tunnfilmsteknik, keramisk platta med glastäckt platinafilm. Ansluningsbenen mjuklöds bäst vid >340 °C och med flussmedel.

Elementtyp: Pt-100/Pt-1000  
Mätområde: -70 till +500 °C  
Onoggrannhet: Enl EN 60751, se Faktasida  
Temperaturmätning

Svarstider

i vatten 0,4 m/s:  $t_{50}=0,2$  s  $t_{90}=0,5$  s

i luft 1,0 m/s:  $t_{50}=3,4$  s  $t_{90}=10,7$  s

Mätström

typ Pt-100: 0,3–1,0 mA

typ Pt-1000: 0,1–0,3 mA

Trådmaterial: Platinaöverdragen nickel

Omvandling av Pt 100 resistans förändringar till temperatur ges av formeln

$$T = \frac{-A \cdot R_0 + \sqrt{R_0^2 \cdot A^2 - 4R_0 \cdot B(R_0 - R)}}{2R_0 \cdot B}$$

R = uppmätt resistans

$R_0$  = resistansen då  $T = 0$  d v s  $R_0 = 100$  för Pt100-givare

A och B är koefficienter enligt IEC 751

$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$

Denna omvandling sker direkt i multimetern så det är inget som behövs göras förhand.

## 16 Rotationsgjutning

### 16.1 Teori

Istället för att pressa järnpulver för att få en homogen kropp som sedan kan bearbetas till en slutprodukt kan pulvret blandas upp med ett bindemedel så att solida enheter kan bildas. Detta gör järnpulvret mycket formbart och det går då att skapa detaljer vilka hade varit svåra att tillverka på traditionellt sätt. Även andra fördelar uppkommer då järnpulvret blandas med ett bindemedel. Järnförluster så som hysteresförluster och virvelströmsförluster blir väldigt låga. Järnförlusterna ökar med kvadraten på frekvensen på strömmen och spänningen som driver motorn. Detta ger den största begränsningen för dagens motorer, de använder en driv frekvens som brukar vara mellan 50-100 Hz, ökas frekvensen mer blir järnförlusterna för stora.

Genom att använda ett pulver med bindemedel kan drivfrekvensen varieras betydligt mer t.ex. 50 - 2000 Hz. För att kunna utnyttja fördelarna som uppkommer av låga järnförluster gäller det att kunna kompaktera järnpulvret och därmed uppnå en reluktans (förmågan att kunna leda magnetiskt flöde) som blir mycket bättre än reluktansen för luft. Genom att tillsätta en kraft som kompakterar järnpulvret tätt tillsammans kan detta uppnås. Det är här rotationsgjutningen kommer in, då pulvermassan roteras i en form kan en järnpulver tät slutprodukt uppnås där järnpulvret och större delen av bindemedlet har separerat.

## 16.2 Järnpulver

Det järnpulver som används är ett värmebehandlat ferritpulver med olika storlekar på ferritkornen. För att kunna bestämma vilken storleks fördelning på kornen pulvret har siktades 25 % pulvret under 10 min i intervaller på 10 s/intervall. Storleksfördelningen blev då följande på pulvret som användes till toroidmotorn.

Tabell över storleksfördelningen på kornen

storlek	0>50µm	50>100µm	100>200µm	200>300µm	300>400µm	400>500µm
vikt (g)	14	161	470	311	64	0
%	1,4	15,8	46,1	30,5	6,3	0

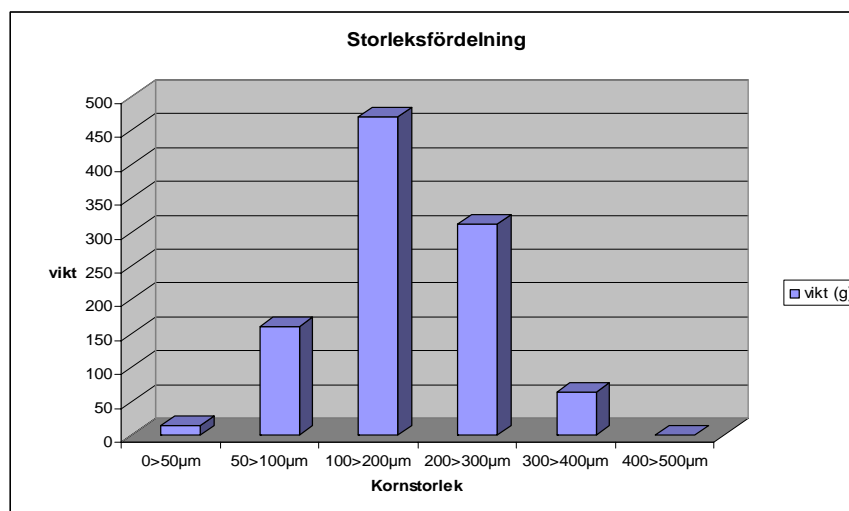


Bild 31. Stapel diagram över ferritkornens storleks fördelning.

## 16.3 Bindemedel

Bindemedlet behöver vara lättflytande tillräckligt länge för att kunna blandas med ferritpulvret och inte börja härda under påfyllning av gjutformen. Dessutom får härd tiden inte vara så lång att den förlänger produktionstiden under serieproduktion. Det bindemedel som används till gjutningen är epoxi vilken inte är optimal vare sig ur hälsosynpunkt och tidsaspekt. När mängden bindemedel bestäms är det empiriskt framtaget i förhållandet nedan för att kunna få rätt mängd bindemedel till mängden pulver.

Massa härdare = Massa järnpulver x 0,1145

Massa bas = Massa järnpulver x 0,0435

## 16.4 Gjutning

För att kunna beräkna hur mycket järnpulver och hur mycket bindemedel som behövs till gjutningen behövs det göras beräkningar på gjutformens volym och på volymen på lindningskransen.

## 16.5 Volym på lindningen

Volymen på lindningen kommer att approximeras så gott det går efter som det inte är exakta mått på alla lindningarna dessutom har lindningarna lindats för att skansen för överslag i startorn skall minimeras. Volymen kommer att beräknas genom att dela upp lindningen på tre beräkningar. För att kunna identifiera beräkningarna bör ritningen till lindningen studeras.

Mått i mm.

$$3 \times 4 \times 30 \times 10 = 3600 \text{ mm}^3$$

$$4 \times \pi \times 11^2 = 1520 \text{ mm}^3$$

$$25,5 \times 10 \times 4 = 1020 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volym på 1 lindning är } 3600 + 1520 + 1020 = 6140 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volym på hela lindningskransen är } 60 \times 6140 = 3,684 \times 10^5 \text{ mm}^3 \approx 0,37 \text{ l}$$

## 16.6 Volym på gjutformen

Även här kommer volymen att approximeras.

Mått i mm.

Area beräkning

$$120^2 \times \pi - 75^2 \times \pi = 2,76 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

Volym beräkning

$$2,76 \times 10^4 \times 44 = 1,21 \times 10^6 \text{ mm}^3 \approx 1,21 \text{ l}$$

## 16.7 Gjutmassa

Volymen på den mängd gjutmassa som behövs är

$$\text{Volym gjutform} - \text{volym lindningskrans} = 0,84 \text{ l}$$

För att vara på den säkra sidan så det inte blandas för lite pulver används 1 l järnpulver. Detta ger då att mängden bindemedel som behövs är

$$\text{Massa härdare} = \text{volym pulver} \times \text{densitet pulver} \times 0,1145 = 1 \times 5 \times 0,1145 = 572,5 \text{ g}$$

$$\text{Massa bas} = \text{volym pulver} \times \text{densitet pulver} \times 0,0435 = 1 \times 5 \times 0,0435 = 217,5 \text{ g}$$

När fästskivan, lindningarna och värmegivare är placerade i gjutformen så blandas järnpulver och bindemedel ihop till en lätt flytande massa. Den massan hålls sedan under låg rotation i gjutformen under omgångar för att sedan öka roteringshastigheten till 30 g. Nu tillsätts värme med en värmepistol 60°C under 3 timmar då massan har härdats så mycket att roteringen kan stoppas. Sedan fortsätter gjutningen att härda under ytterligare 21 timmar.



Bild 32. Gjutmassan och maskinen där gjutningen gjordes.

## 17 Konstruktions förändringar

Under tiden som det tagit att färdigställa toroidmotorn har det blivit ett antal förändringar i konstruktionen - vissa små och andra stora. Vad de har gemensamt är dock att en förändring skapar nya förändringar. Detta gör att omkonstruktion av en detalj ofta ger en kedjereaktion och därmed ger att flera detaljer behövs förändras. En stor del av detta examensarbete har varit att konstruera och tillverka detaljer för toroidmotorn vilket har gjort det till en levande process där konstruktions förändringar som behövs görs ofta har upptäckts under tillverkning. Här nedan kommer diverse större förändringar och motiven bakom dessa att beskrivas.

### 17.1 Övre fästskiva

Övre fästskiva var tänkt att hjälpa till med att stödja lindningarna men framförallt så skulle den sortera alla lindnings ändar så de skulle vara lätta att identifiera. Fästskivan var under produktion när den togs bort ur konstruktionen. Borttagandet berodde på att lindningstrådarna kunde identifieras på annat sätt än vad som var tänkt så övrefästskivan tillförde ingenting till motorn, men den komplicerade tillverkningen och gjutningen. När gjutningen var utförd så hade bindemedlet tagit över den övre fästskivans roll. Detta förändrade ingenting i konstruktionen för övrigt utan underlättade bara produktionen. Den övre fästskivan kan ses i bilderna nedan utseende vid tillverkningsstopet och placering i gjutformen (den är grön i bilden).

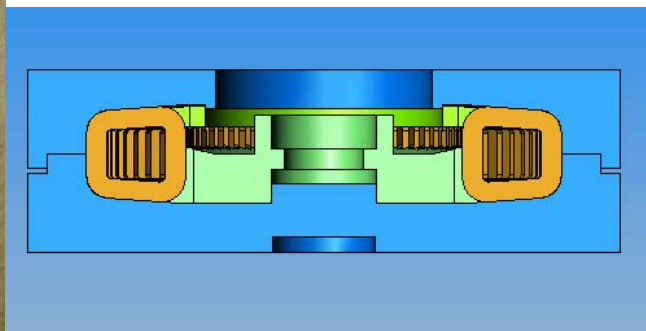


bild 33. *Den övre fästskivan och dess placering i gjutformen och startorn.*

## 17.2 fästskiva

Utvecklings processen för fästskivan har pågått under hela arbetet och detta har gjort att det blivit ett antal förändringar på den. De förändringar som har haft störst betydelse för fästskivan är dessa

- Övergång från 6 skruvhål till 5 skruvhål för att fästa resolverhuset vid fästskivan. Gjordes på grund för estetiska skäl först å främst.
- Att lager huset dimensionerades för en lagerhylsa som hjälper till att ta upp de olika krafterna från rotorn och axeln. Detta var en förändring som underlättade monteringen av lagren dessutom blev risken att lagren skulle skada fästskivan på något sätt under drift betydligt mindre.
- Utformningen av yttre diametern så den kan ge ett större stöd till lindningarna. Detta var en ändring som gjordes precis innan detaljen skulle tillverkas. När ritningen studerades gjordes bedömningen att på grund av att radien på lindningen hade ökat skulle inte fästskivan ge det stöd till lindningen som erfordrades därav behövdes en konstruktions förändring för att rätta till detta.
- Spårbredden ökades från 4 mm till 5 mm så att lindningarna fick plats i spåren. När de 60 spåren hade frästs på första detaljen upptäcktes att merparten av lindningarna inte passade i spåren när dessa skulle monteras tillsammans med fästskivan i gjutformen. Att lösa detta var att öka spårbredden till 5mm vilket gjorde att problemet försvann.

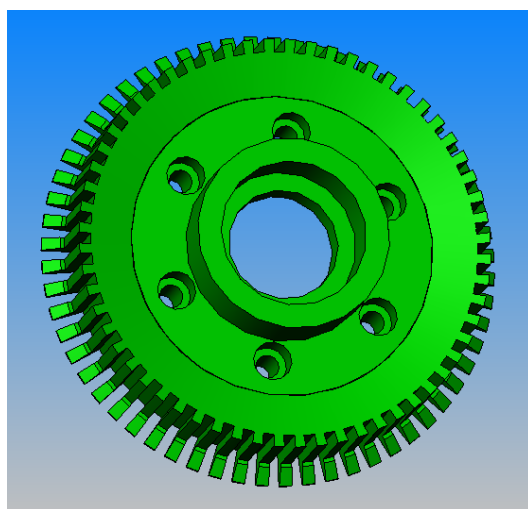


Bild 34. *Visar konstruktionen på den första fästskivan*

## 17.3 Gjutformen

Gjutformen har bara gått igenom en riktigt stor förändring. Denna förändring kom av att det blev en stor radie på lindningen. För att kunna hantera detta så förändrades gjutformen från tre delar till två. De första delarna tog inte hänsyn till radien vilket medför att det skulle bli en kortslutning för magnetfältet precis utanför radien. Detta är naturligtvis inte acceptabelt så en förändring var av största vikt. Förändringen på gjutformen blev två gjutforms halvor vilka monteras ihop i de två formarna finns det en svarvad radie som kompenserar lindningens radie. Detta gör att det inte blir någon större kortslutning av magnetfältet.



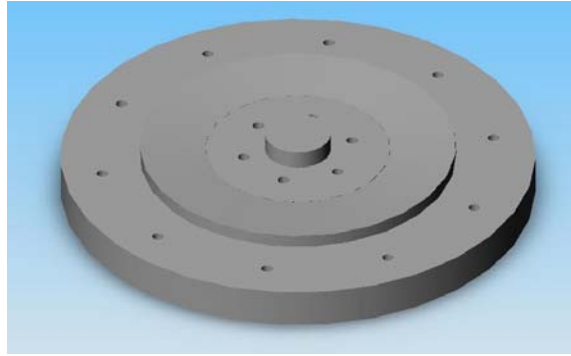


Bild 35. *Bottendelen av första gjutformen.*

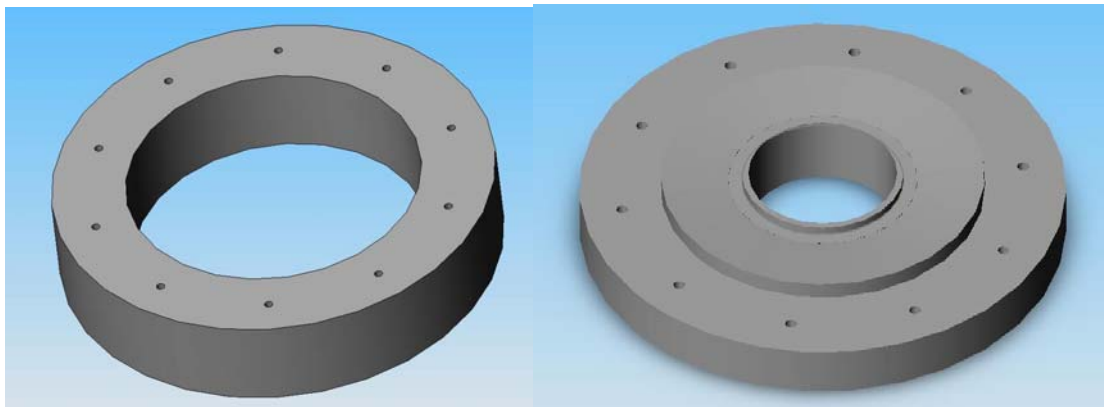


Bild 36. *Mellan del och överdel på första gjutformen.*

Andra förändringar eller justeringar på gjutformen blev på grund av att under tidigare gjutningar hade överslag mellan lindningar uppstått för att undvika detta isolerades lindningarna en extra gång och därmed ökade de i mått. För att kompensera detta behövdes djupet på gjutformen justeras ca 2 mm.

#### **17.4 Lagerhylsan**

I ett tidigt stadium av toroidmotorns konstruktion var tanken att använda två olika sorters lagerhylsor, en till främre lagerhuset och en till bakre lagerhuset. Tanken var att främre lagerhuset skulle hjälpa till att ge fästskivan större stabilitet. När materialvalet till fästskivan bestämdes var denna förstärkning onödig därmed togs den bort ur konstruktionen och ersattes med den bakre lagerhylsan. Men det kan finnas anledning att återuppta den främre lagerhylsan om det visar sig att glasfiberdamm tränger in i lagren och förstör dem då den främre lagerhylsan ger ett större skydd mot detta.

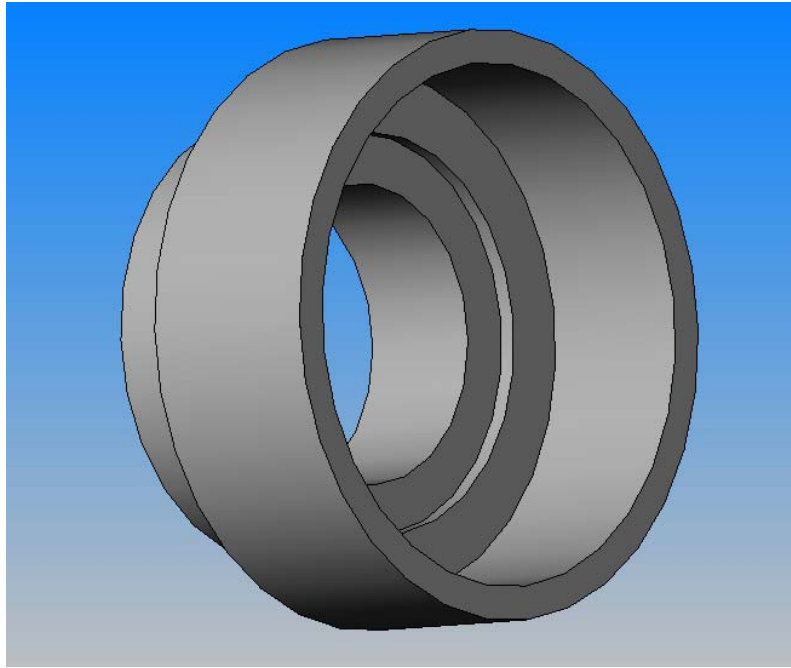


Bild 37. *Främre lagerhylsa.*

## 18 Slutresultat

Var det då möjligt att tillverka en toroidmotor med rotationsgjutnings teknik? Ja det blev ett resultat över förväntan. Gjutningen gick mycket bra. Inga större områden där gjutmattan inte hade trängt in kunde hittas. Det som skulle behövas ändras på till en kommande gjutning är att gjutformen behöver göras lite djupare detta på grund av att majoriteten av alla lindningarna inte kunde nå gjutformens ytterdiameter. Till en kommande gjutning skall också lindningarna kopplas samman innan gjutningen då detta var mycket tidskrävande att göra efter gjutningen.

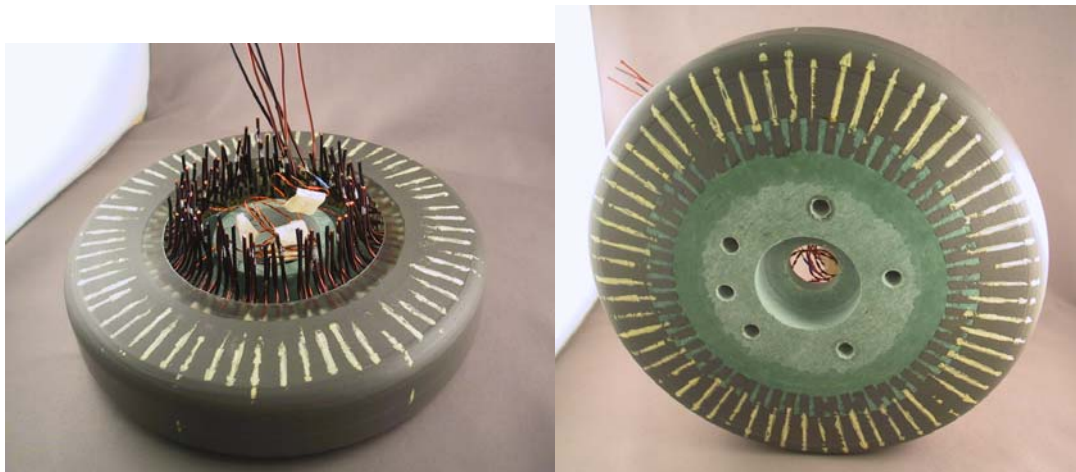


Bild 38. *Resultatet av gjutningen av startorn.*

Även om gjutningen gick bra finns det alltid en viss undran om toroidmotorn skulle fungera. Detta visade sig vara en obefogad undran då efter en del felkopplingar och för höga startströmmar. Dessa begränsades med att koppla in en induktans på varige fas efter detta kom motorn igång och började snurra. Till detta första test användes ingen styrning och inget vridmoment uppmättes, men det verkar lovande och

kommande tester skall utvisa om detta första försök är något att jobba vidare på i framtiden.

## **Referenser**

[www.its-90.com/](http://www.its-90.com/)

[www.acc.umu.se/~tomino/PT100.htm](http://www.acc.umu.se/~tomino/PT100.htm)

[www.elfa.se/se/index1.html](http://www.elfa.se/se/index1.html)

[www.elisolation.se/produkter.asp?Produktkategori=1&Kategori=H%E4rdplaster&Produktnamn=Polyester%20&ProdukterID=2](http://www.elisolation.se/produkter.asp?Produktkategori=1&Kategori=H%E4rdplaster&Produktnamn=Polyester%20&ProdukterID=2)

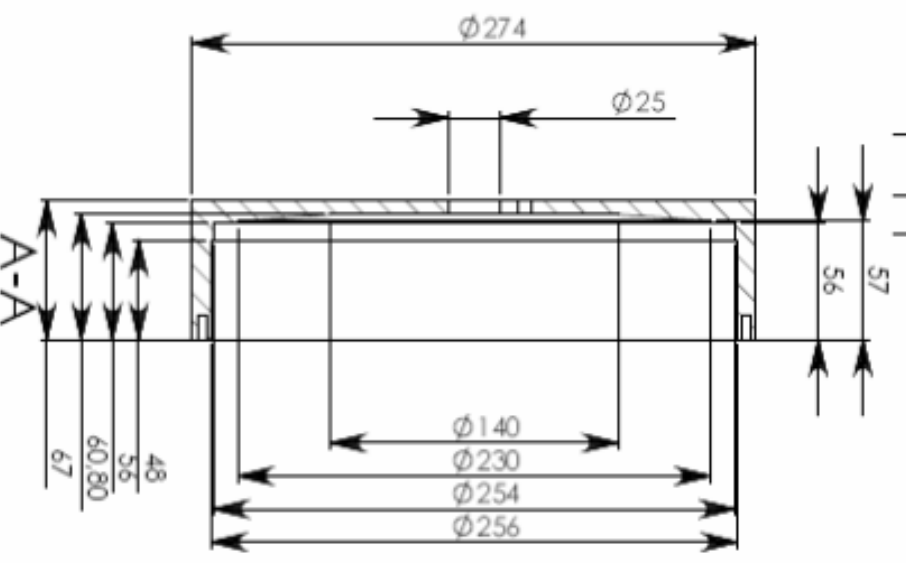
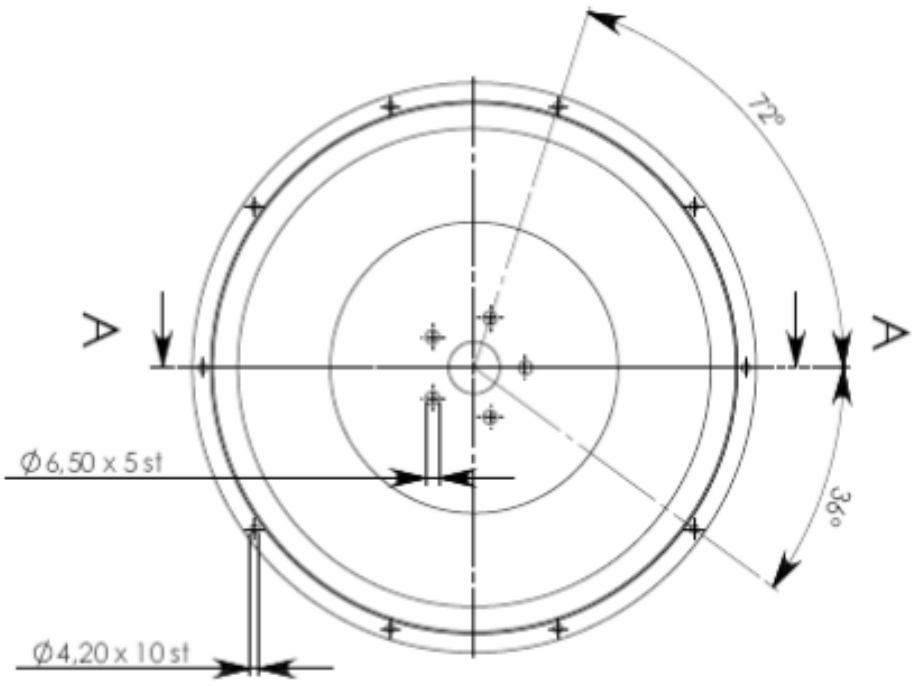
[http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1\\_14\\_2](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1_14_2)

# Bilaga A

Ritningar







ZONE	REV.	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

<COMPANY NAME> <b>Främmerotordel</b>		ENGINEER CHECKED DWG. APPROVED DATE	DRAWING NO. <b>A</b>
DESIGNER DATE	CHECKED DATE	DWG. APPROVED DATE	DRAWING NO. <b>A</b>
COMMENTS	COMMENTS	COMMENTS	COMMENTS

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF FRÄMMEROTORDEL. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF FRÄMMEROTORDEL IS PROHIBITED.

idWorks Educational License















