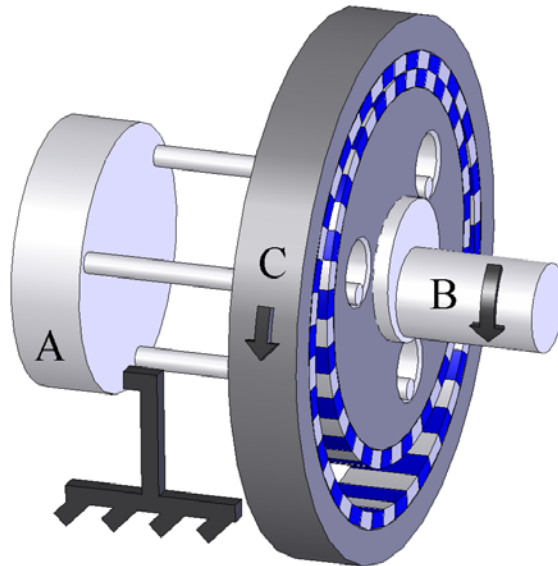


# Design og konstruktion af magnetiske gear

ELFOR PSO 334-031



# Design og konstruktion af magnetiske gear

ELFOR PSO 334-031

## Projektet er udarbejdet af:

Peter Omand Rasmussen  
Torben Ole Andersen  
Frank Torleif Jørgensen  
Paul Thøgersen  
Keld F. Rasmussen  
Per Sandholdt

Aalborg Universitet, Institut for Energiteknik  
Aalborg Universitet, Institut for Energiteknik  
Aalborg Universitet, Institut for Energiteknik  
Danfoss Drives A/S  
Grundfos A/S  
Sauer Danfoss ApS

# Forord

Denne rapport er et sammendrag af resultater opnået i forskningsprojektet *Design og konstruktion af magnetiske gear*. Projektet er gennemført med PSO 2002 støtte der er administreret af ELFOR. Projektet er udført i perioden 01-03-2003 til 2008.

Projektets deltagere har været:

Danfoss A/S  
Grundfos A/S  
Sauer Danfoss A/S  
Aalborg Universitet, Institut for Energiteknik

Projektet er administrativt og fagligt blevet ledet af en styregruppe med deltagelse af:

Paul Thøgersen, Danfoss A/S  
Keld F. Rasmussen, Grundfos (indtil efterår 2004 pga. udtrædelse af projektet)  
Per Sandholdt, Sauer-Danfoss ApS  
Peter Omand Rasmussen  
Torben Ole Andersen

Litteraturhenvisninger i rapporten er markeret med [X], hvor X refererer til publikationsnummer i publikationslisten.

## Formål

Formålet med projektet er at udvikle viden og beregningssoftware til nye magnetiske gear. I projektet forventes det at anvendelsen af moderne permanente magneter og nye magnetiske geartopologier vil give et seriøst alternativ til klassiske mekaniske gear. De nye magnetiske gear forventes bl.a. at have et stor moment-volumen forhold, samt at være højeffektive og vedligeholdelsesfrie. I projektet fremstilles der to forsøgsmodeller.

## Projektets forløb

Projektet blev realiseret som et ph.d.-projekt, hvor den nyuddannede Civil-ingeniør Frank T. Jørgensen, med speciale i Elektro Mekanisk System Design, blev ansat.

Projektet skulle oprindeligt udføres i samarbejde mellem Aalborg Universitet, Institut for Energiteknik og de tre danske virksomheder Grundfos A/S, Danfoss A/S og Sauer-Danfoss ApS. Efter det første år viste det sig at Grundfos A/S ikke kunne tilslutte sig vilkårene i den udarbejdede samarbejdsaftale, hvorfor de trak sig fra projektet. Projektet fortsatte uden deltagelse af Grundfos A/S.

I projektføreløbet har den ph.d.-studerende været på et 3 måneders ophold ved University of Virginia i USA, hvor han har arbejdet sammen med professor Eric H. Maslen. Under opholdet blev det undersøgt om det var muligt, at lave et designværktøj til magnetiske gear vha. reluktans-netværksmetoden.

I forbindelse med opbygning af 3D Finite Element modeller til beregning af randeffekter for magnetiske gear har der været ansat en forskningsassistent i 3 måneder.

Til test af prototyperne opbygget i projektet, har Per Sandholdt fra Sauer-Danfoss bidraget væsentligt, idet de anvendte testsystemer var opbygget af ham i hans ph.d.-projekt.

Det faglige arbejde igennem det 3 årige ph.d.- projekt er dokumenteret dels ved videnskabelige artikler og dels ved en ph.d.-afhandling. Desværre er den endelige afhandling ikke p.t. færdigredigeret pga. jobskifte og andre omstændigheder. Det forventes at den endelige afhandling vil være færdigredigeret og forsvaret i løbet af 2008.

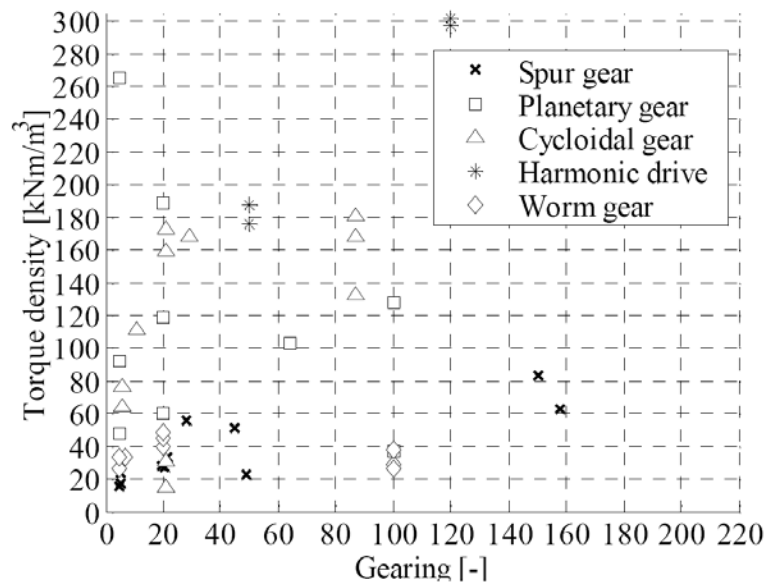
# Faglige resultater

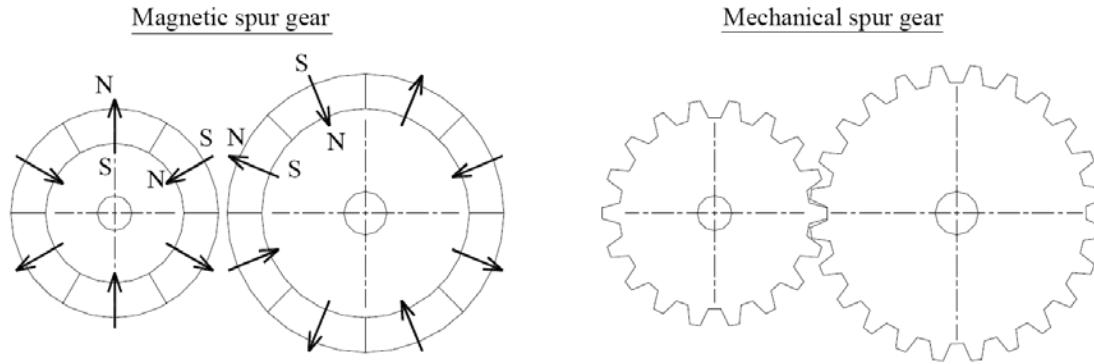
I nærværende rapportering er det valgt at opdele de opnåede resultater i forhold til målsætningerne i PSO-ansøgningen.

## “State-of-the-art” (topologistudier)

Udgangspunktet for den ph.d.-studerende var at udarbejde en ”state-of-the-art” rapport baseret på litteratursøgning i databaser med videnskabelige artikler og patenter. Ved litteratursøgningen fremkom der mere end 50 interessante publikationer omkring magnetiske gear— der alle blev gennemlæst og vurderet mht. anvendeligheden i projektet.

For at have noget at holde magnetgearteknologien oppe imod blev der også lavet en scanning af traditionelle mekaniske gear med hensyn til primært momenttæthed. I Figur ses en illustration af momenttætheden af forskellige mekaniske geartyper i forskellige størrelser og fra forskellige leverandører samt ved forskellige udvekslinger.

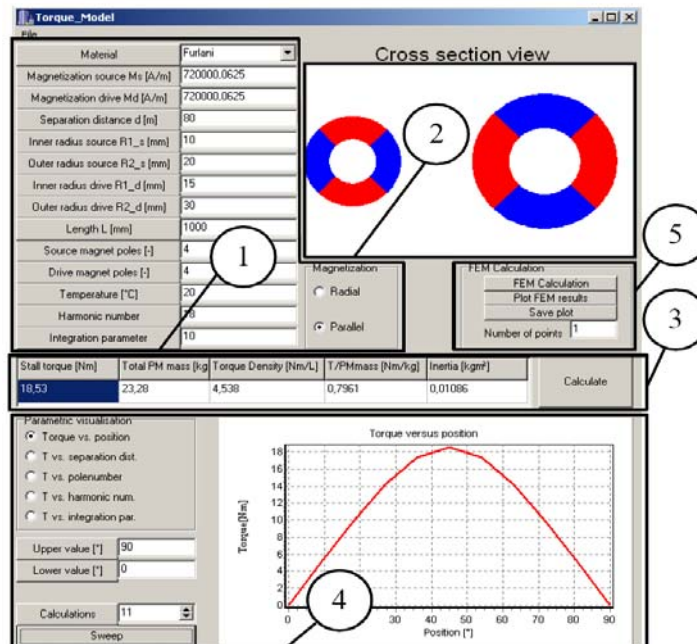




Figur 2 Et simpelt magnetisk og mekanisk gear

### Analytiske og numeriske beregningsmodeller (software)

Et af formålene i projektet var at udvikle et beregningsværktøj baseret på såvel analytiske som numeriske beregningsmetoder. Et oplagt udgangspunkt for dette værktøj var at tage udgangspunkt i de udviklede beregningsmetoder af E.P Furlani. Herved fik den ph.d.-studerende læringsmæssig indsigt i modellering af magnetiske kredse samt en grundlæggende forståelse af den meste simple magnetiske gearingsteknologi. Omvendt var det langt fra målet i projektet at beskæftige sig med denne simple gearingsteknologi pga. den lave interaktion mellem magneterne og dermed den lave momentoverføringskapacitet. Der blev udviklet et brugervenligt beregningsprogram i Borland C++ Builder baseret på de analytiske beregningsmetoder af E.P Furlani. I Figur 3 ses et skærmbillede fra programmet.

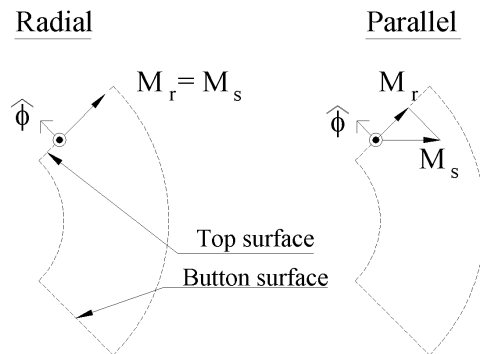


Figur 3 Skærmbillede fra design program

Den første region på den grafiske brugerflade er design-input regionen, hvor geardimensioner, egenskaber for de magnetiske materialer og beregningsparametre kan

indtastes. Den anden region viser et tværsnit af det magnetiske gear og opdateres hver gang der ændres på inputdimensionerne. I den tredje region beregnes det maksimale moment af det visualiserede gear samt andre vigtige parametre. I den fjerde region laves der et sweep i en enkelt parameter så som moment versus vinkeldrejning, luftspalte, poler etc. I den femte region er der lavet et link til et 2D finite element program som laver en numerisk beregning af maksimum moment for det øjeblikkelige design.

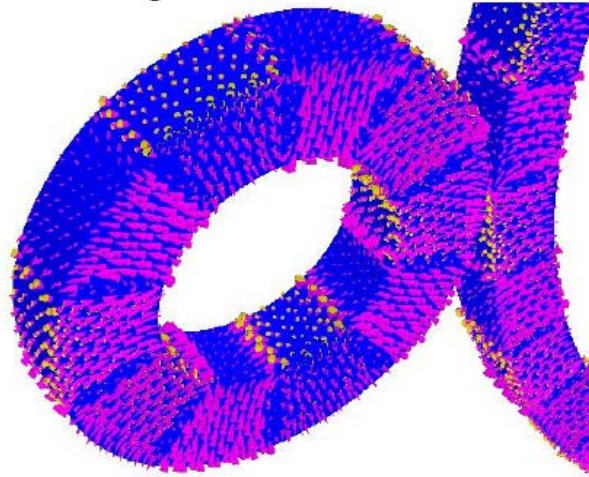
Den udviklende beregningsmetode af E.P Furlani er begrænset til at magneterne skal være radielt magnetiseret, se Figur , hvilket fra et produktionsmæssigt synspunkt ikke er optimalt.



**Figur 4 Radielt og parallelt magnetiserede skalmagneter**

Standard magnetskaller som ønskes anvendt til gearet er typisk parallelt magnetiserede hvorfor det var nødvendigt at videreudvikle E.P Furlanis metode til også at inkludere parallelt magnetiserede magneter. Ved en efterfølgende sammenligning mellem de to forskellige magnetiserings metoder viste det sig faktisk, at anvendelsen af parallel magnetiserede magneter gav en større momentoverføringskapacitet i størrelsesordenen 10%. Dvs. at anvendelsen af parallelt magnetiserede magneter i det simple gear, både fra et produktions og et momentoverføringsmæssigt synspunkt, er mere optimal.

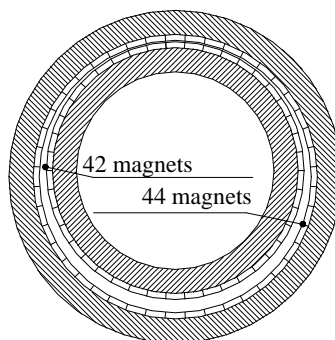
For at validere de analytiske og hurtige beregnings metoder blev der udviklet nogle finite element modeller i såvel 2D og 3D, hvor det viste sig at de hurtige analytiske beregningsmetoder kunne bestemme momentoverføringskapaciteten inden for nogle få procent sammenlignet med den tidskrævende 2D finite element model. Den 3D finite element model, som der ses et skærbillede af på Figur 5, blev udviklet på baggrund af uoverensstemmelser mellem resultaterne fra den analytiske model og den praktiske forsøgsmodel som er beskrevet i afsnittet ” Dimensionering og realisering af praktiske forsøgsmodeller”.



**Figur 5 3D finite element beregning af et magnetisk gear**

Den udviklede analytiske metode, beregningsprogrammet og den praktiske forsøgsmodel er dokumenteret i artiklen [4].

Ved anvendelsen af det udviklede program til det simple tandhjulsgear blev det hurtigt erkendt at en indre fortanding samt en meget lille udveksling vil give en meget stor momenttæthed idet flere magneter vil være i interaktion med hinanden. På Figur 6 ses et sådant gear illustreret.

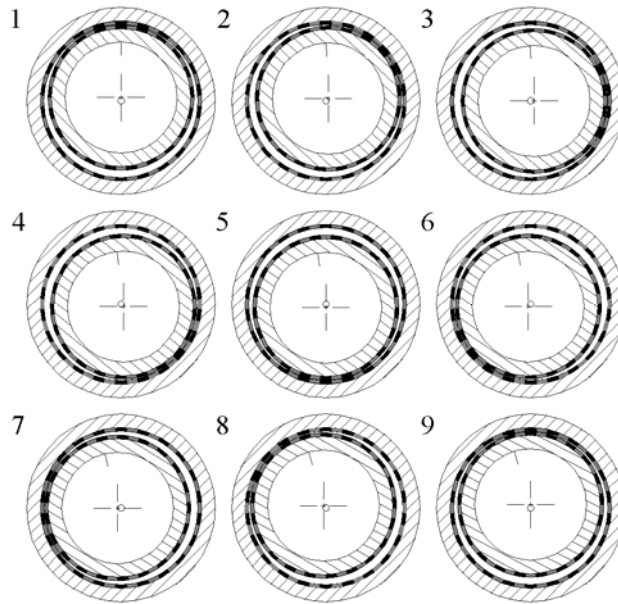


**Figur 6 Magnetisk gear med indvendig fortanding**

Gearet i Figur 6 har dog den store ulempe at udvekslingsforholdet er meget lille (for det viste gear er det  $44/42 = 1.05$ ) og vil derfor kun være anvendeligt i meget få applikationer. Omvendt blev det indset at cyclo-princippet anvendt i forskellige mekaniske gear også kunne anvendes for magnetgearet. I stedet for at den inderste magnet ring udelukkende roterer skal den også orbitere vha. en excentrisk placeret inputaksel. I Figur 7 er virkemåden for cyclogearet illustreret. Bevægelsesmønstret for cyclogearet er vist ved 9 billeder. Billederne skal forestille en ydre jernring som er beklædt med magneter indvendigt og en indre jernring beklædt med magneter udvendigt. Bemærk at den udvendige ring er fikseret og den indvendige ring er bevægelig. På det første billede vises den inderste ring forskudt opad ved hjælp af en excentrisk placeret inputaksel. Herved vil der være en kraftig magnetisk kobling mellem udvendig og

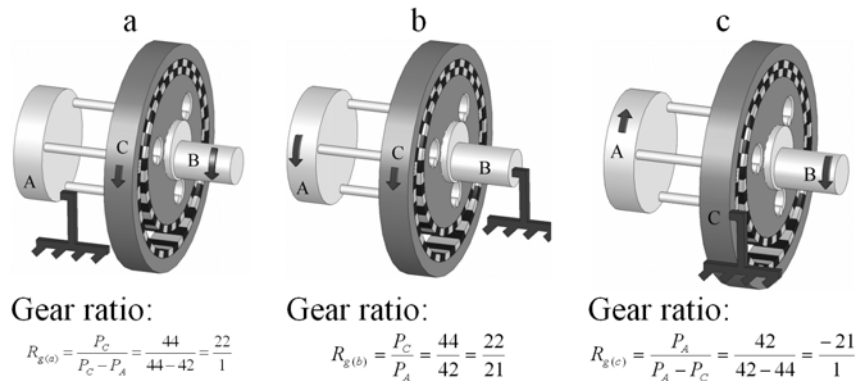


indvendig jernring i position kl. 12. På illustration 2 er excentriken drejet 45 grader med uret og herved flyttes punktet for den magnetiske kobling. Bevægelsen fra illustration 1 til illustration 2 vil samtidig få den indvendige jernring til at foretage en rotation imod urets retning da antallet af magneter på udvendig og indvendig jernringe ikke er ens. På de efterfølgende illustrationer fortsættes drejningen af excentriken i trin af 45 grader per illustration indtil excentriken har kørt en omgang. Resultatet er, at den inderste ring er blevet drejet 1 magnet par tilbage ud af 21 magnet par hvilket svarer til en gearing på -21/1.



Figur 7 Illustration af virkemåde for cyclogear

Cyclogearet er principielt et tofrihedsgradsgear, men det er reduceret til en enkelt frihedsgrad ved at fastholde den yderste magnetring, se Figur 8.C. I gearet er det muligt at have 3 forskellige enkeltfrihedsgradsgear afhængig af hvilken del der fikseres. De tre forskellige muligheder er illustreret i Figur 8 sammen med ligninger for deres udvekslingsforhold.



Figur 8 Forskellige layouts af cyclogearet

Gearkonfigurationen i Figur 8.C. er den allerede omtalte konfiguration, illustreret i Figur 7 og konfigurationen i Figur 8.B. er ækvivalent med det simple indre fortandede gear med det lave omsætningsforhold. Konfigurationen i Figur 8.A. har den største udveksling og indgangs- og udgangsakslen er separeret med en luftspalte, som kan være en fordel i nogle specielle applikationer hvor der ønskes fysisk adskillelse. De to konfigurationer i Figur 8.A. og Figur 8.C. har sammenlignelige karakteristikker og den fortrækkende type vil være afhængig af applikationen. Momenttætheden er stort set ens for alle konfigurationer.

En stor fordel med det udviklede designprogram er, at det også kan anvendes til de forskellige cyclogear illustreret i Figur 8 vha. simple momenttransformationsligninger.

Opdagelsen af det effektive cycloprincip for magnetgearet flyttede lidt fokus fra planetgeartypen som det oprindeligt var planlagt at gå i detaljer med.

Faktisk blev der indleveret en patentansøgning på ideen [7] med en prioritetsdato 13. juni 2005. Det viste sig dog ved den internationale nyhedsundersøgelse, at der var indgivet en tysk ansøgning (DE 4428441A1) i 1995 der beskrev et lignende magnetgear. Ansøgning blev derfor opgivet til trods for at der var flere elementer i ansøgningen der havde nyhedsværdi.

En interessant iagttagelse i forbindelse med den indleverede ansøgning var, at der godt et år efter blev indleveret en ansøgning fra University of Sheffield hvor det magnetiske cyclogear også blev beskrevet. I nyhedsundersøgelsen for dette patent blev tyske den ansøgning også fremhævet som spærrende for patentet.

Under udlandsopholdet ved University of Virginia blev det undersøgt om det var muligt at anvende reluktansnetværk til analytisk beregning af magnetgear af planetgeartypen. Det viste sig dog at magnetgearet er for komplekst til at blive analyseret med en relativ simpel analytisk metode. Derfor har det efterfølgende analysearbejde på denne type magnetgear primært været foretaget vha. finite element metoden.

### **Konstruktionsanalyser**

I forbindelse med udarbejdning af forsøgsmodeller har virksomhederne bidraget væsentligt med information, materialer og erfaring. Bl.a. Har Danfoss Drives påpeget at de har et stort salg af gearmotorer hvor udvekslingen er mellem 20-40, hvilket er særdeles interessant i forbindelse med magnetiske cyclogear idet det er kendetegnet ved høje udvekslinger i et enkelt trin (blandt andet har den udviklende forsøgs model en udveksling på 21).

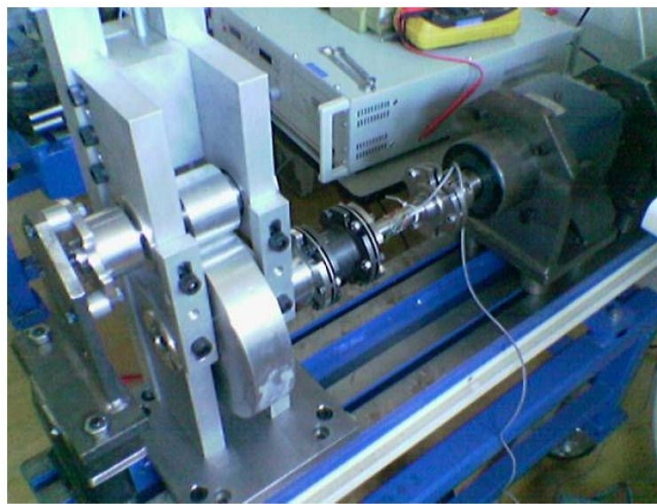
Ved opbygningen af den første magnetgearforsøgsmodel i projektet var Grundfos meget aktiv. Blandt andet fremskaffede de specielle magneter samt deltog i flere møder hvor fremstillingsproceduren blev debatteret. Grundfos's værkstedserfaring med opbygningen af permanentmagnet motorer til diverse test var særdeles nyttig for opbygningen af prototypen.

Ved opbygningen af den anden prototype (cyclogearet), som har en meget kompliceret opbygning, blev der brugt et mekanisk cyclogear fra Sauer-Danfoss som inspirationskilde. Det mekaniske cyclogear var opbygget med to orbiterende skiver for udkompensering af vibrationer hidrørende fra den mekaniske excentricitet. Dette princip

blev også anvendt til det magnetiske cyclogear hvor det udover den mekaniske excentricitet også udkompenserede den magnetiske excentricitet. Udgangspunktet for konstruktionen af begge prototyper var funktionalitet frem for detaljeret design og optimering. Dvs. lejer, endeskjolde, aksler osv. blev konstrueret ud fra erfaringer og tilgængelighed frem for eksempelvis et levetidsoptimeret leje og en optimeret godstykkelse. Grunden til dette valg var at fokusere på de nye specielle magnetiske karakteristika frem for klassiske konstruktionsteorier.

### **Dimensionering og realisering af praktiske forsøgsmodeller**

Et af de vigtigste mål i projektet var at ende op med to succesfulde forsøgsmodeller. Den første forsøgsmodel der blev fremstillet var et simpelt gear med to magnetiske cylindere med henholdsvis 10 og 40 poler som gav et omsætningsforhold på 4.

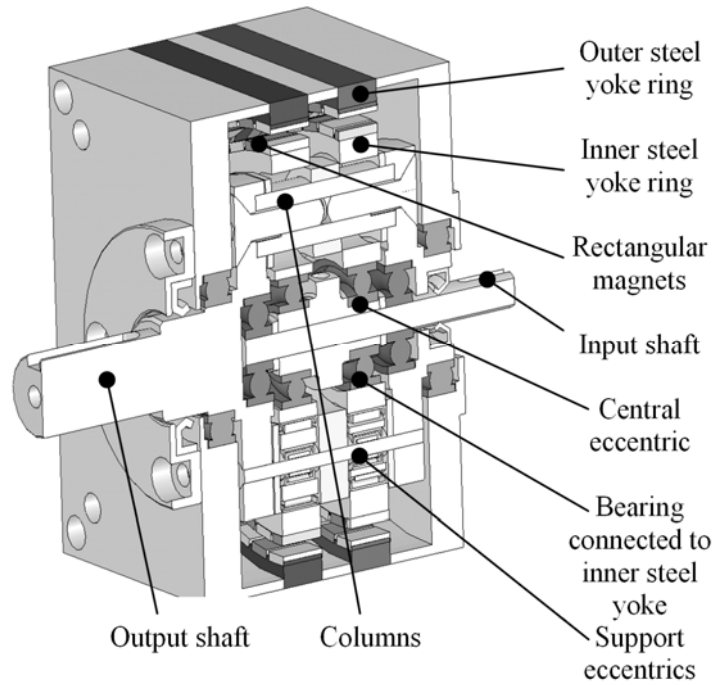


**Figur 9** Opbygget forsøgsmodel af et simpelt magnetgear

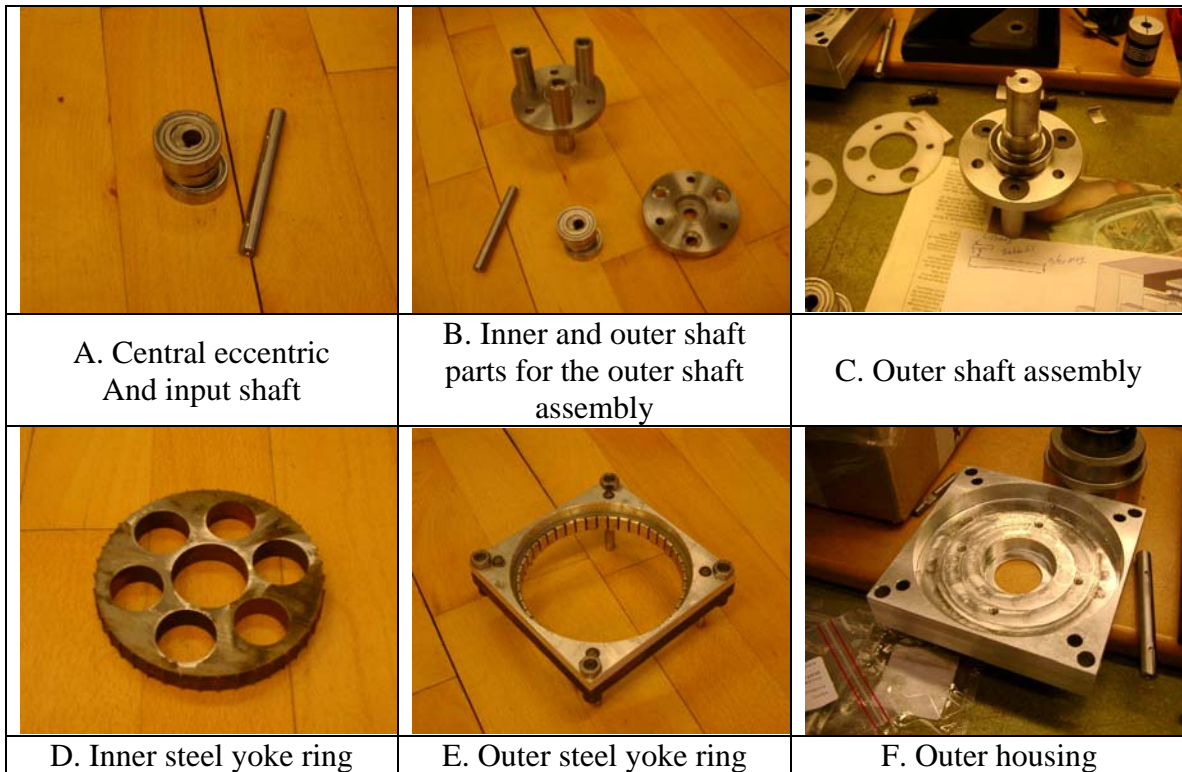
Forsøgsmodellen som er vist i Figur 9 er fremstillet med en mekanisme der gør det muligt at justere luftspalten mellem de to magnetiske skiver. Grunden til denne feature er at designværktøjet kan verificeres ved forskellige luftspalter. Ligeledes vil 3D effekterne øges ved en større luftspalte og disses indflydelse kan herved fastlægges.

Den anden forsøgsmodel der blev opbygget var det magnetiske cyclogear (konfigurationen vist i Figur 8.C.) – i øvrigt verdens første forsøgsmodel. På Figur 10 ses en konstruktionstegning af gearet og på Figur 11 ses et fotografi af diverse dele til gearet.

En uddybende beskrivelse af gearet findes i den publicerede artikel [6] som i skrivende stund er blevet ophøjet til en tidsskriftartikel i IEEE Industrial Application Society Transactions som er det mest anerkendte tidsskrift inden for feltet.



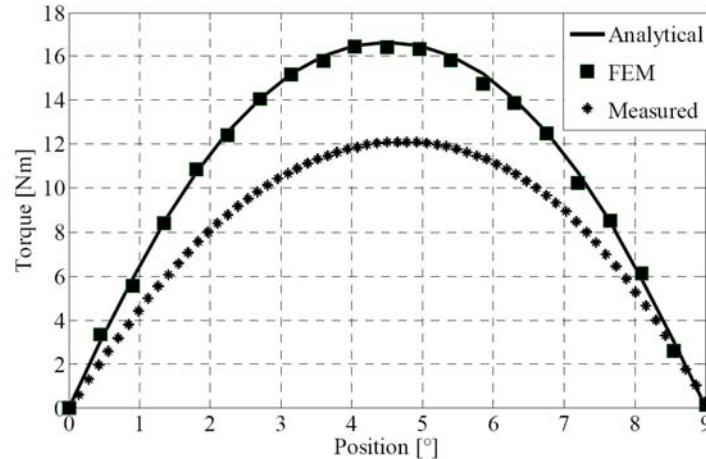
**Figur 10** Konstruktions-tegning af cyclogear forsøgsmodellen.



**Figur 11** Fotografi af nogle delkomponenter i cyclomagnetgear

## Test og validering af udviklet beregningssoftware

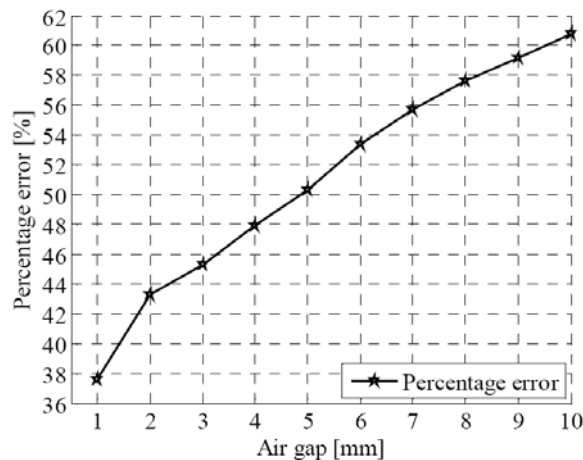
De to forsøgsmodellers statiske momentoverføringskarakteristikker er blevet målt og sammenlignet med de beregnede. På Figur 12 ses såvel den analytiske beregnede, den finite element beregnede og den målte statiske momentkarakteristik



Figur 12 Analytisk beregnet, finite element beregnet og den målte statiske momentkarakteristik.

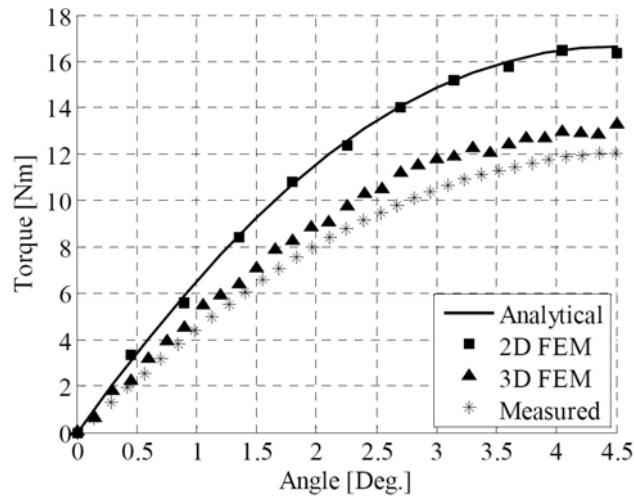
Som det ses af karakteristikken er momentkarakteristikken næsten en sinusformet funktion af vinkeldrejningen for outputakslen ved en fastlåst inputaksel. Dvs. magnetgearet har en form for intern ulinear torsion fjeder. Belastes gearet med mere end det maksimale moment vil der forekomme pol-slip, hvor gearet ikke kan overføre mere moment – altså en slags overbelastningsbeskyttelse, som er et krav til for eksempelvis professionelle slibemaskiner.

Endvidere ses at der er en god overensstemmelse mellem den hurtige analytiske metode og 2D finite element beregningerne. Dog er der større afvigelse mellem beregningerne og måleresultaterne. Den forholdsvise store afvigelse skyldes 3D effekter som vil blive mere betydende ved en større luftspalte. I Figur 13 er den procentvise afvigelse som funktion af luftspalten illustreret.



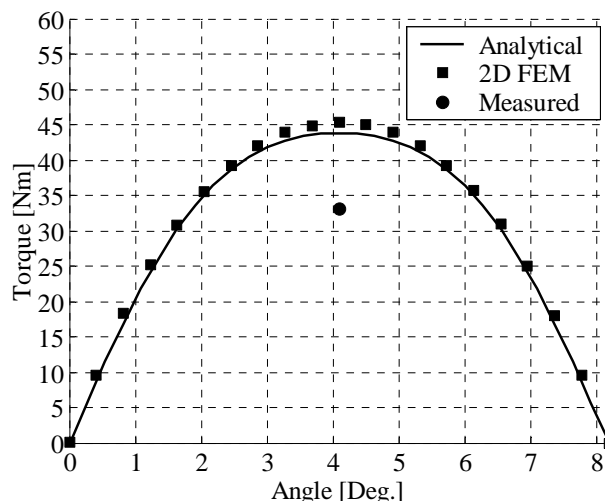
Figur 13 Procentvis afvigelse som funktion af luftspalten

For at få endegyldig dokumentation af 3D effekterne blev der lavet en 3D finite element model og resultaterne fra denne blev sammenlignet med målingerne, se Figur 14. Som det ses af figuren er der mindre end 10% afvigelse. Den minimale afvigelse kan skyldes mange faktorer så som tolerancer, materialegenskaber osv. hvorfor resultatet må anses som acceptabel.



Figur 14 3D finite element beregninger sammenlignet med målinger og andre beregningsmetoder.

For det nye cyclogear blev det maksimale statiske moment også målt og sammenlignet med de beregnede resultater, se Figur 15

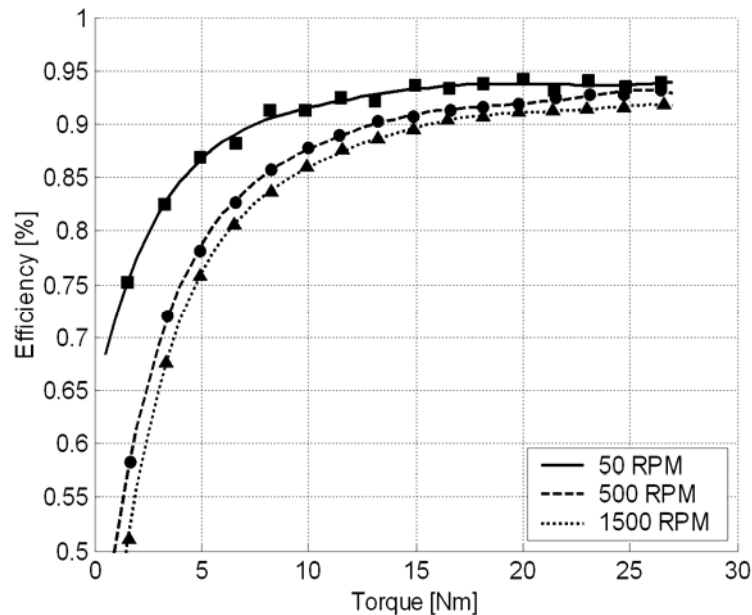


Figur 15 Målt og beregnet momentoverføringskurve for cyclogearet.

Som det ses af Figur 15 er der her ved cyclogearet også en fin overensstemmelse mellem de to forskellige beregningsmetoder – men igen er der en afvigelse mellem beregningerne

og målingerne. Afvigelsen skyldes 3D effekter som er relative store pga. en forholdsvis kort længde for gearet. Gearet kan levere et maksimalt moment på 33 Nm, hvilket er mere en dobbelt så meget som det magnetiske planetgear som blev lavet i forbindelse med projektstarten [3]. Grunden til at der sammenlignes med dette gear er at den langsomtgående rotor er lavet med nøjagtig samme antal og type af magneter og med den samme indre diameter. Den ydre diameter for cyclogearet er mindre pga. korte flux-veje og også forbruget af magnetmateriale på den indre rotor er lavere.

Virkningsgraden for cyclogearet blev også målt i forskellige arbejds punkter, se Figur 16.



Figur 16 Virkningsgraden for cyclogearet i forskellige arbejds punkter

### I

Figur ses det at virkningsgraden for 50% last og opefter er godt oppe i 90'erne uafhængig af omløbstallet. Faktisk har gearet den bedste virkningsgrad ved lave omdrejningstal. I kraft af den høje udveksling på 20 er virkningsgraden meget fornuftig sammenlignet med mekaniske gear.

### Integration med motor/generator og (effekt-) elektronik

Et af de endelige mål med projektet var også at undersøge mulighederne for at integrere magnetgearet med en motor/generator for at opnå en kompakt højeffektiv og højmoment ydende enhed. Traditionelle løsninger på dette område har været gearmotorer som ofte har en begrænset levetid og relativ høj vedligeholdelseskrav, direkte drevene elmotorer som fylder meget og har relativ lav virkningsgrad og effektfaktor (som sætter krav til omformer) og hydrauliksystemer som ofte er kendetegnet ved dårlige virkningsgrader. Desværre var det af tidsmæssige årsager ikke muligt at starte denne fase i projektet. Omvendt har den projektansvarlige påbegyndt et studie i USA hvor der ses på integration af magnetgear og el-motor i forbindelse med hybridbiler.

De overordnede resultater i projektet på punktform er følgende

- \* 5 Artikler, heraf 2 som tidsskriftsartikler
- \* 1 patentansøgning
- \* En "state-of-the-art" analyse af magnetiske og mekaniske gear
- \* Udvikling af et brugervenligt designprogram til simple magnetiske gear
- \* Udvikling af et brugervenligt designprogram til det nye magnetiske cyclogear
- \* Ny analytisk metode udviklet til parallelt magnetiserede magnetskaller
- \* 2D og 3D finite element modeller og analyser af forskellige magnetgear
- \* Forsøgsmodel af et simpelt magnetgear med tilhørende måleresultater
- \* Forsøgsmodel af et cyclomagnetgear med tilhørende måleresultater

### **Konklusion og perspektivering**

I starten af dette århundrede har nogle engelske forskere vha. moderne NdFeB magneter og speciel topologi, mindende om et mekanisk planetgear hvor flere tænder (magneter) er i "indgreb", lavet nogle beregninger som viste at et magnetisk gear kunne have en momenttæthed på 100 Nm/l. Denne momenttæthed er i størrelsesorden 10 gange større end hvad der kendes for normale elektriske maskiner og ca. en faktor 2 mindre end hvad der kendes for traditionelle mekaniske gear. Til trods for at magnetgearet overordnet set har et større volumen end et tilsvarende mekanisk gear bringer det nogle interessante egenskaber ind til gearverden som kunne tænkes at være værdifulde i mange forskellige applikationer. Eksempler på disse egenskaber er

- Ingen mekanisk udmattelse.
- Ingen olie
- Overbelastningsbeskyttet.
- Ingen mekaniske kontakttab
- Højt moment-volumen forhold
- Fysisk separation mellem ind- og udgangsaksel

Disse egenskaber samt udsigten til en højere virkningsgrad var faktorer der retfærdiggjorde at magnetteknologien krævede mere bevågenhed bl.a. med dette projekt, hvor målet primært var at få mere indsigt i teknologien.

I projektet blev der lavet en "state-of-the-art" analyse af såvel magnetiske og mekaniske gear, designprogrammer baseret på nogle nyudviklede analytiske beregningsmetoder og forskellige forsøgsmodeller. Den ene af de konstruerede forsøgsmodeller var en helt ny topologi, hvis momenttæthed ved målinger var mere end det dobbelte af topologien foreslået af de engelske forskere.

Et ønsket mål i projektet var selvfølgelig at komme frem med konkrete sammenlignelige tal for virkningsgrad, kost, størrelse etc. på magnetteknologien versus de traditionelle mekaniske gear. En sådan sammenligning er meget kompleks idet mekaniske gear typisk har en overbelastning/chok faktor som er vigtig i nogle



applikationer og ikke i andre. Ligeledes er virkningsgradsangivelsen for mekaniske gear typisk en teoretisk værdi i et enkelt arbejds punkt.

En overordnet sammenligning er dog forsøgt lavet i den publicerede artikel [3]. I denne artikel er det såkaldte planetmagnetgear blevet sammenlignet med forskellige mekaniske gear. Både virkningsgrad og momenttæthed var faktisk bedre end mange af de mekaniske gear. Taget i betragtning, at målingerne på det nye magnetiske cyclogear både viste høj virkningsgrad og momenttæthed er der meget der peger på, at det magnetiske gear kan have vigtig fremtid. Dog er cyclogearret ikke helt sammenlignelig med planetgearret idet udvekslingen er ca. 4 gange større.

En hæmmende faktor for magnetgear-teknologien kan være kostprisen for de forholdsvis dyre permanente magneter. Denne er dog faldet med mere end en faktor 4 over de ca. sidste 10 år. Et groft estimat på materialeprisen for magneterne er, at de vil udgøre mindre end 50% af hvad et tilsvarende mekanisk gear vil koste. Det skal dog her pointeres at produktionstolerancerne på magneterne kan være væsentlig grovere end tolerancerne for tænderne på mekaniske gear hvilket giver et plus til magnetgear-teknologien.

Igennem projektføreløbet er der også på verdensplan sket en videre udvikling af magnet gear teknologien. Bl.a. Har de engelske forskere fra Sheffield lavet en spin-out virksomhed Magnomatics Ltd i 2006 omhandlende magnetgear teknologien. Ligeledes har de udviklet en ny topologi mindende om den mekaniske geartopologi "harmonic drive", hvor de dog stadig mangler at demonstrere en forsøgsmodel. Dexter Magnetic Technologies som har hovedkontor i Chicago har også beskæftiget sig med magnetgear-teknologien i forbindelse med udstyr til olie- og gasindustrien. INDEX-Werke GmbH & Co har arbejdet sammen med et universitet i Stuttgart hvor de har lavet en forsøgsmodel, som formentlig skulle anvendes til spindelmaskiner, hvor overbelastningsbeskyttelsen er et krav. For nyligt er der også kommet flere akademiske artikler til. Eksempelvis blev der præsenteret en artikel ved Compumag 2007 hvor teknologien blev anvendt til en vindmølle. I Februar 2008 blev der publiceret en tidsskriftartikel omkring et "rigtig" magnetisk planetgear med fornuftige perspektiver.

Fremtiden for teknologien må antages at gå retningen af integration af magnet-gear og elektrisk maskine, hvilket vil give et effektivt og vedligeholdelsesfrit alternativ til nuværende højmomentydende drivsystemer. Et stort skidt for teknologien kunne også være, at der ville komme nogle nicheprodukter på markedet, hvor nogle af magnetgearets specielle egenskaber ville kunne have en afgørende betydning. Eksempelvis at gearret er oliefrit, overbelastningsbeskyttet eller hvor der kræves en separation af indgang og udgang. Til sidstnævnte formål er der i dag mange applikationer der anvender en magnetisk kobling, hvor gearingen er 1:1.

## Publikationsoversigt:

### Artikler

[1 ] F.T. Joergensen, P.O. Rasmussen, T.O. Andersen, "Magnetic gears - a Review". Summer Seminar on Nordic Network for Multi Disciplinary Optimised Electric Drives. 220603.

[2] [Magnetiske gear : et lovende alternativt transmissionselement.](#) / [Rasmussen, Peter Omand](#) ; [Andersen, Torben Ole](#) ; [Joergensen, Frank Thorleif](#). I: Teknisk Nyt Special. 2003 ; nr. 36.

Forskning: Artikel, peer review

[3] [Development of a high performance magnetic gear.](#) / [Rasmussen, Peter Omand](#) ; [Andersen, Torben Ole](#) ; [Joergensen, Frank Thorleif](#) ; Nielsen, O.. I: Industry Applications Conference, 2003. 38th IAS Annual Meeting. Conference. 2003. s. 1696 - 1702

Forskning: Konferenceartikel

[4] [Two dimensional model of a permanent magnet spur gear.](#) / [Jørgensen, Frank Thorleif](#) ; [Andersen, Torben Ole](#) ; [Rasmussen, Peter Omand](#). I: Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting, Vol. 1. IEEE, 2005. s. 261 - 265

Forskning: Konferenceartikel

[5] [Development of a high-performance magnetic gear.](#) / [Rasmussen, Peter Omand](#) ; [Andersen, Torben Ole](#) ; [Jørgensen, Frank Thorleif](#) ; Nielsen, O.. I: IEEE Trans. on Industry Applications. 2005 ; vol. 41, nr. 3, MAY-JUN. s. 764-770

Forskning: Artikel

[6] [The cycloid permanent magnetic gear.](#) / [Jørgensen, Frank Thorleif](#) ; [Andersen, Torben Ole](#) ; [Rasmussen, Peter Omand](#). I: Proc. of IAS 2006. 2006. s. 373-378

Forskning: Konferenceartikel, peer reviewed

Andet:

Patent ansøgning:

[7] "MAGNETIC DEVICE FOR TRANSFER OF FORCES", WO2006133703, 2006-12-21, ANDERSEN TORBEN OLE, JOERGENSEN FRANK THORLEIF, RASMUSSEN PETER OMAND

Presseomtale

[8] "Forskere på vej med et magnetisk supergear", Ingeniøren Produktion, s 8-9, 24.02.06.

"Forskere fra Aalborg Universitet er kommet langt i et ph.d.-projekt omkring magnetiske gear. I 2002 igangsatte universitetet projektet om magnetiske supergear. Med penge fra industrivirksomheder som Danfoss Drives, Sauer-Danfoss samt midler fra el-sektoren har målet været at udvikle en prototype til et magnetisk tandhjuls-gear baseret på permanente magneter og cycloprincippet. Ifølge lektor Peter Omand Rasmussen fra Aalborg Universitet kan den nye teknologi åbne op for markeder, hvor fordelene ved det magnetiske gear kan opveje den merpris, som må tillægges for de permanente magneter."