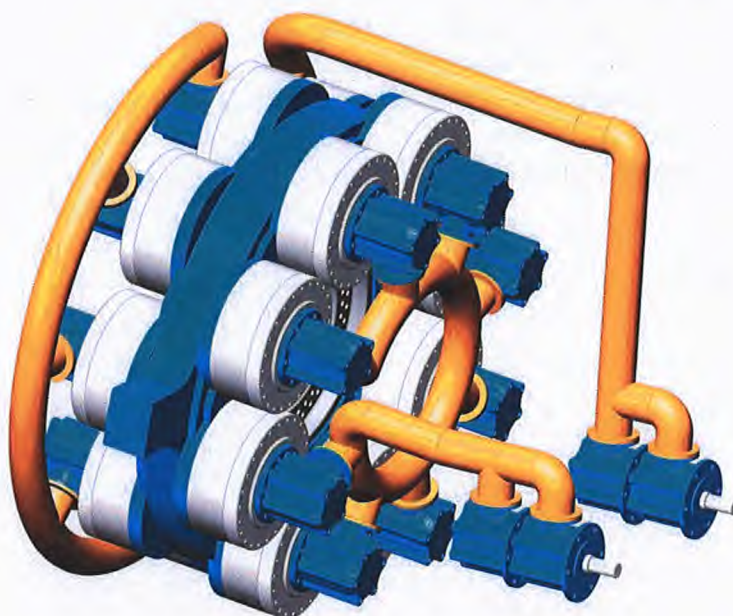


Hydraulisch Mechanische transmissie voor wind turbine

Hernieuwbare Energie TEHE115078



Openbaar eindrapport

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	2
1 Samenvatting en Conclusie	3
2 Rapport.....	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Doelstelling.....	5
2.3 Behaalde resultaten en knelpunten	6
2.3.1 Mechanisch hydraulische aandrijving.....	8
2.3.2 Lay out of Gearbox & Hydraulic pump and motor 13,65 MW	10
2.3.3 Hydraulische aandrijving.....	12
2.3.3.1 Ontwerp hydraulische pomp	12
2.3.3.2 Ontwerp hydraulische motor.....	14
2.3.3.3 Ontwerp van het hydraulisch circuit.....	15
2.3.4 Bijdrage aan het programma	17
2.4 Het perspectief van de toepassing	17
2.5 Spin off.....	18
2.6 Vervolgstappen.....	19
3 Contact informatie.....	20

1 Samenvatting en Conclusie

De ontwikkeling van een mechanische hydraulische overbrenging voor windturbines is met succes afgerond. Het mechanische hydraulische systeem is een lichtgewicht, kosteneffectief systeem in vergelijking met direct drive of mechanische aandrijfsystemen voor windturbines. Niet alleen de aandrijflijn is licht van gewicht, maar vanwege de kenmerken van de hydraulische aandrijflijn, kunnen belastingen van de windturbine worden verminderd waardoor ook de structurele delen van de windturbine en de fundering lichter kunnen worden ontworpen, wat resulteert in lagere kosten en eenvoudiger installatie van de windturbines. Ook lagere onderhoudskosten zullen het gevolg zijn van het nieuwe ontwerp, omdat de hoofdrotor via het hydraulisch systeem is gekoppeld aan de generatoren, die grote belastingschommelingen beter kan absorberen dan traditionele mechanische aandrijflijnen / tandwielkasten.

Het concept van de aandrijflijn is ontwikkeld voor transmissiesystemen in het bereik van 3 tot 12 MW windturbines. Het uiteindelijk ontwikkelde systeem is een modulair systeem van 3 MW modules. Het modulaire ontwerp stelt Hydrautrans in staat om de onshore en offshore markt te betreden, wat aanvankelijk niet was voorzien, maar met het meer competitieve aanbod voor offshore wind vandaag, wordt offshore een belangrijke markt voor de Hydrautrans-aandrijflijn. In het onderzoek heeft Hydrautrans geleerd dat het voordeel van de Hydrautrans transmissie groter is, wanneer het vermogen van de windturbine toeneemt, wat het geval is voor offshore wind.

Het ontwerp van een complete aandrijflijn is gedetailleerd voor een concept van 12 MW. Dit houdt in een systeem van een cilindrische tandwielkast (verhouding 7 tot 10) 16 planetaire tandwielen (verhouding 4) die 16 pompen en 4 motoren aandrijven (gecombineerd 2 bij 2 en leidt tot een verdere overbrengingsverhouding van 4) die twee generatoren van 6 MW aandrijven. Het uiteindelijke ontwerp moet worden aangepast aan de specifieke windturbine.

Het opschalen van het hydraulisch systeem en componenten was niet evident en een aantal ontwerpitaties waren nodig om het definitieve ontwerp te bereiken. Op systeem- en componentniveau zijn een aantal octrooiaanvragen ingediend.

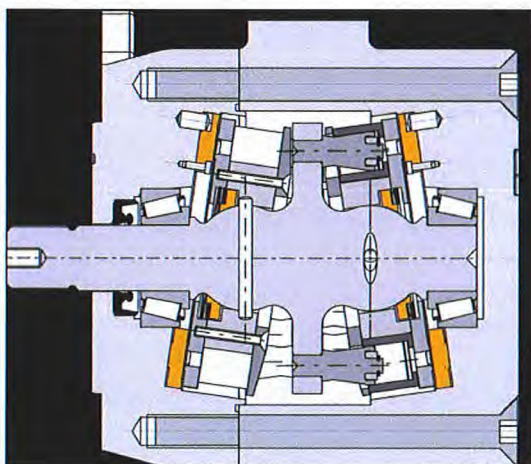
De mechanische vermogensverdeling en het vermogen van het hydraulische systeem om de gesplitste kracht te combineren met de motor, voordat de mechanische energie wordt omgezet in elektrisch vermogen, is de kern van het succes van het systeem.

De volgende stap in het project is om de ontworpen componenten te testen en te gaan werken aan het windturbinebesturingssysteem dat nodig is om de Hydrautrans aandrijflijn in een windturbine te implementeren.

2 Rapport

2.1 Inleiding

De ontwikkeling van mechanische transmissie bij windturbines kan zijn maximale limiet bereiken. Verschillende alternatieven worden onderzocht. Door over te schakelen naar de mechanische / hydraulische overbrenging worden grotere, stillere en hogere windturbines mogelijk, zodat de zogenaamde Geactiveerde Energiekosten (LCOE) van windenergie aanzienlijk kunnen dalen. De LCOE zal ook worden verlaagd door lagere onderhoudskosten en een langere levensduur. Hydraulische pompen en motoren hebben echter een laag rendement of de implementatie in windturbines heeft geresulteerd in belangrijke ontwerpuitdagingen (Mitsubishi / Sea-angel). De toepassing van het principe van de vrij beweegbare zuiger (Floating Cup) kan mogelijk de problemen overwinnen. In figuur 1 wordt de (gepatenteerde) Floating Cup-pomp van Innas getoond, die een efficiëntie in de orde van meer dan 98% heeft. In het huidige project worden de pomp (en motor) verder ontwikkeld om deel uit te maken van een hydraulische transmissie voor windturbines.



Afbeelding 1 Floating cup pomp

Grotere windturbines, met grotere rotordiameters, vereisen een hogere overbrengingsverhouding. Het maximale vermogen dat een windturbine in de eerste plaats kan bereiken, is afhankelijk van de lengte van de bladen. De tipsnelheid van het blad is een van de ontwerpcriteria van een windturbine en in het algemeen is de maximaal toegestane tipsnelheid voor offshore ongeveer 115 m / s. Boven deze tipsnelheid treden instabiele luchtstroompatronen op aan de punt van het blad, wat resulteert in een kortere levensduur van het blad, wat niet acceptabel is. Ook een hoge tipsnelheid creëert meer ruis (tipsnelheid is de dominante ruisparameter voor een windturbine), wat vooral onshore niet acceptabel is. Bij een lagere rotatiesnelheid van de windturbine is een hogere overbrengingsverhouding vereist om de windenergie naar de generator om te zetten. De huidige generatie mechanische overbrenging, standaard of directe aandrijving, heeft de maximale overbrengingsverhouding.

Met een Hydrautrans-transmissie kan de totale overbrengingsverhouding van de rotorsnelheid tot de generatorsnelheid aanzienlijk worden verhoogd.

Bij een grotere naafhoogte is er een hogere en meer constante wind wat de energieopbrengst verhoogt. Het vergroten van de naafhoogte resulteert in meer aandacht voor de grootte en het gewicht van de componenten en de totale turbine, omdat deze een belangrijke impact hebben op de constructie- en installatiekosten van de gehele installatie.

De Hydrautrans-transmissie bestaat uit kleinere onderdelen die ook lichter zijn dan de huidige transmissietechnologieën. Merk op dat een hogere overbrengingsverhouding grotere en zwaardere mechanische onderdelen vereist in de huidige technologie. Met Hydrautrans is het daarom veel eenvoudiger om steeds grotere windturbines te bouwen, een ontwikkeling waar turbineleveranciers nu op focussen.

Mechanische overbrenging is onderhoudsgevoelig en heeft een slecht voorspelbare betrouwbaarheid en levensduur. Nog grotere transmissies versterken deze kenmerken. Hydraulische transmissie kan verschillende belastingen absorberen, heeft weinig onderhoud nodig, is betrouwbaar en heeft een lange levensduur, omdat metaal-op-metaal contact beperkt is.

Met een grotere omvang van de transmissie van de huidige generatie (standaard of directe aandrijving) hangt de prijs van de turbine af van prijsschommelingen van de vereiste grondstoffen en in het bijzonder van de zeldzame aardmetalen bij direct drive. De hydraulische overbrenging heeft hier geen last van.

Naast een lagere LCOE door Hydrautrans, zal ook een betere inpasbaarheid van windturbines op het land worden gecreëerd. Dit maakt het gemakkelijker om de wind op landdoelen van de Nederlandse overheid te bereiken. Dit aanpassingsvermogen is te danken aan verschillende effecten:

1. Stille windturbines. De tipsnelheid van een windturbine bepaalt in hoge mate de geluidsproductie (en de bijbehorende mogelijke overlast). Met een constante rotordiameter (turbinevermogen) is het mogelijk de rotorsnelheid te verlagen met hydraulische transmissie, waardoor het geluid met verschillende decibellen kan worden verminderd. Op de markt zijn turbines verkrijgbaar met een geluidsdruk van 104 tot 106 dBa. Het doel van het project is om de nominale geluidsdruk te verlagen tot 102 dBa aan de bron (bij een logaritmische schaal betekent een vermindering van 3 dBa een reductie van een factor 2). De reductie van het geluid met een factor 2 betekent ook dat turbines tot twee keer dichterbij gebouwen kunnen worden gerealiseerd dan momenteel mogelijk is, vanuit het geluidsperspectief. Voor onshore wind betekent dit dat het mogelijk wordt windenergie te realiseren op veel plaatsen waar het nu nog onmogelijk is vanwege geluidsoverlast. De plaatsing van turbines op een grotere ashoogte vermindert ook de geluidsdruk. De combinatie van lagere tipsnelheid en hogere ashoogte kan mogelijk leiden tot een nog lagere geluidsdruk.
2. Langzaam draaiende windturbines creëren een minder onrustig beeld in het landschap, waardoor de acceptatie van windturbines kan toenemen.
3. Meer vermogen kan per turbine worden gegenereerd. Dit leidt tot andere constellaties voor windparken dan momenteel door ontwikkelaars worden gebruikt. Ook dit kan leiden tot meer plaatsen waar windenergie kan worden gerealiseerd.

Voor offshore heeft een lichtere en minder onderhoudsgevoelige transmissie, die delen van verschillende belastingen absorbeert, zelfs nog hogere voordelen.

2.2 Doelstelling

Het doel van het project betreft de industriële ontwikkeling (ontwerp) van een hydraulische transmissie. Om de technologische ontwikkeling zo dicht mogelijk bij de bestaande geavanceerde technologie te houden en zo snel mogelijk de markt te betreden, wordt besloten om in eerste instantie te werken aan een transmissie-oplossing met een gecombineerde hydraulische en mechanische transmissie. Deze projecten en het rapport omvatten gedetailleerde engineering van de hydraulische componenten en het opzetten van een programma voor de praktische tests van de componenten zoals ontworpen in dit project. Parallel aan dit follow-up componenttestproject zal de markt worden geraadpleegd om de ontwikkeling zoveel mogelijk af te stemmen op de ontwikkeling

van de klanten. Aan het einde van het huidige project werden de volgende belangrijke resultaten behaald:

1. Een gedetailleerd ontwerp voor de ideale hydraulische transmissie, op component- en systeemniveau.
2. Een schatting voor de Hydrautrans inside-oplossing (de HDT als vervangingsoptie voor standaardtoepassing in turbines, dus zonder grote aanpassingen aan het turbinebeeld).
3. Een gedetailleerd en financieerbaar plan voor de productie- en testfase van component- en systeemprototypes (na aantrekken van financiering).
4. Een beter inzicht in de marktkansen, met schattingen voor kostprijs en besparingen.

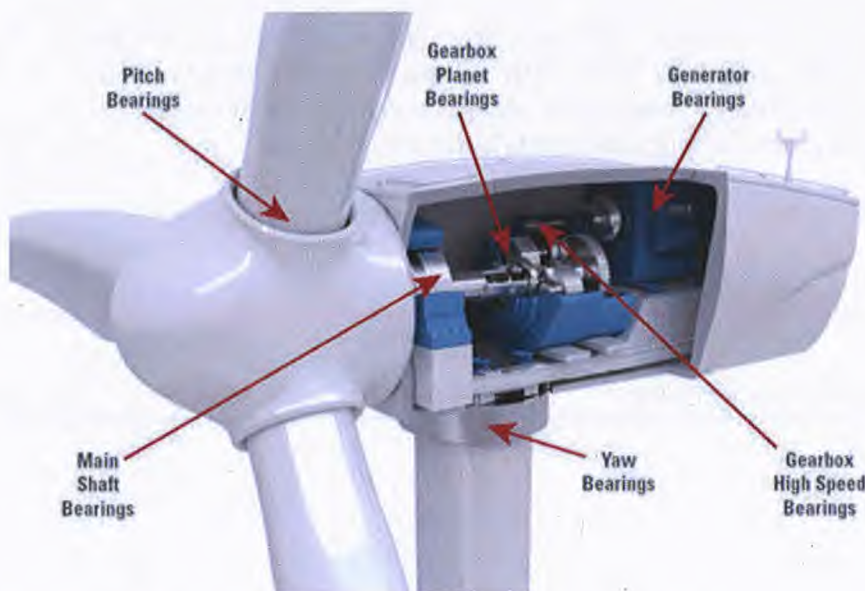
2.3 Behaalde resultaten en knelpunten

Traditionele windturbine aandrijvingen hebben het principe van een directe aandrijving of een meertraps tandwielkastoplossing. Hoe hoger het vermogen, hoe groter, zwaarder en gecompliceerder de aandrijflijn zal zijn, voor alle mogelijke oplossingen.



Afbeelding 2 Principe Direct Drive

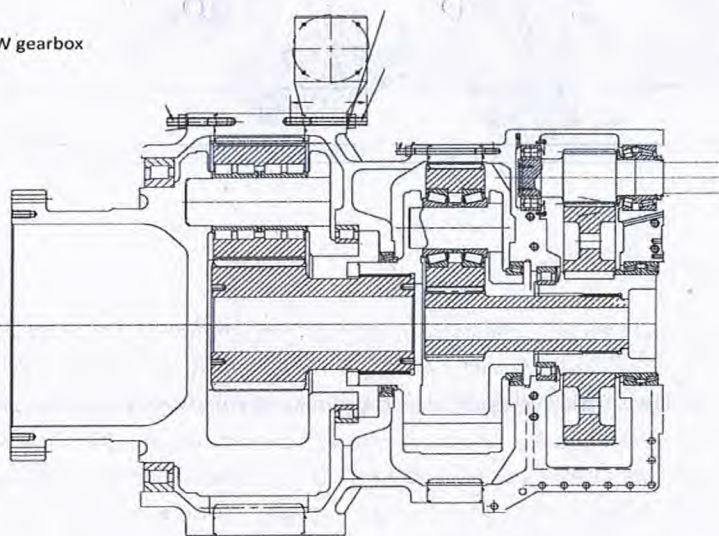
Bij een directe aandrijving drijft de rotor rechtstreeks de rotor van een enorme generator aan, er is geen tandwielkast nodig. Het voordeel van de directe aandrijving is het relatief eenvoudige ontwerp, maar voor hogere vermogens zullen de afmetingen en het gewicht toenemen naar immense proporties vanwege de lage snelheden, en zal resulteren in een zeer dure aandrijflijn / windturbine. Verder is het niet duidelijk of een oplossing voor een megawindturbine mogelijk is met een directe aandrijving.



Afbeelding 3 Principe van snellopende generator wind turbine

De oplossing met de traditionele tandwielkast is normaal gesproken een tandwielkast met hoge snelheid of een gemiddelde snelheid. De tandwielkast met hoge snelheid heeft een overbrengingsverhouding van ongeveer 150 vanwege de invoersnelheid van 10 en de generatorsnelheid van 1.500 tpm. Dit resulteert in een 3-traps tandwielkast met meestal 2 planetaire versnellingsfasen en 1 parallelle versnellingsfase. Alle kracht gaat naar alle versnellingen en dit resulteert in een hoog gewicht om de tandwielkast betrouwbaar te maken. In traditionele wind turbines met tandwielkast zijn er veel problemen met de tandwielkasten vanwege het falen in voornamelijk de snelle parallelle versnellingsfase. Dit komt door de hoge snelheden in combinatie met de hoge koppels en stijfheid van de aandrijflijn wat resulteert in hoge impulsen en dynamisch gedrag. Vanwege dit en de resulterende slijtage, moeten veel tandwielkasten worden vervangen tijdens hun levensduur wat resulteert in hoge operationele kosten.

5 MW gearbox

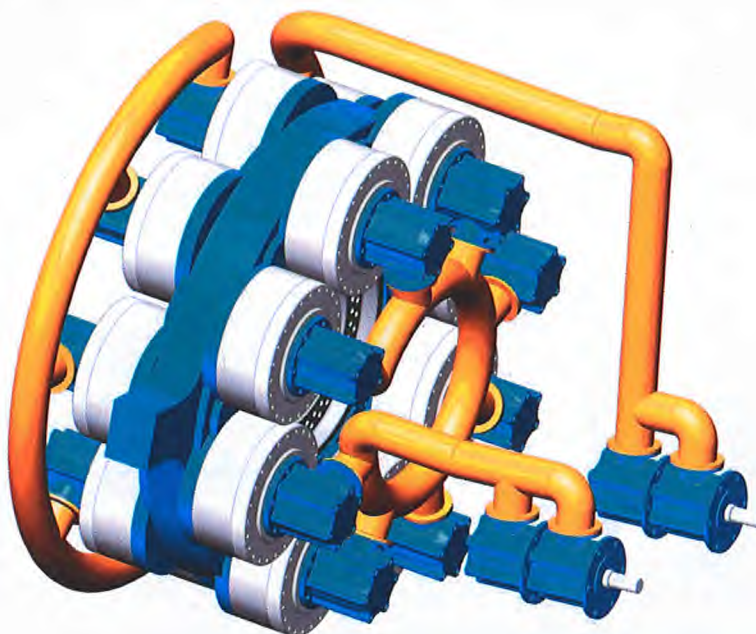


Afbeelding 4 Tandwielkast voor snelheid generator

De tandwielkast met gemiddelde snelheid is een technisch betere oplossing omdat de snelheid van de generator wordt verlaagd tot 750 tpm en hierdoor neemt de overbrengingsverhouding van de versnellingsbak af tot ongeveer 75. Maar dit resulteert in een grotere generator met een hoger gewicht. Verder levert de snelheid van 750 tpm andere praktische problemen op.

Conclusie: voor hogere vermogens is het niet duidelijk of een directe aandrijving mogelijk zal zijn en traditionele tandwielkast oplossingen met hoge snelheid en medium snelheid zullen resulteren in zware aandrijflijnen met mogelijk uitvallen van de tandwielkasten.

2.3.1 Mechanisch hydraulische aandrijving



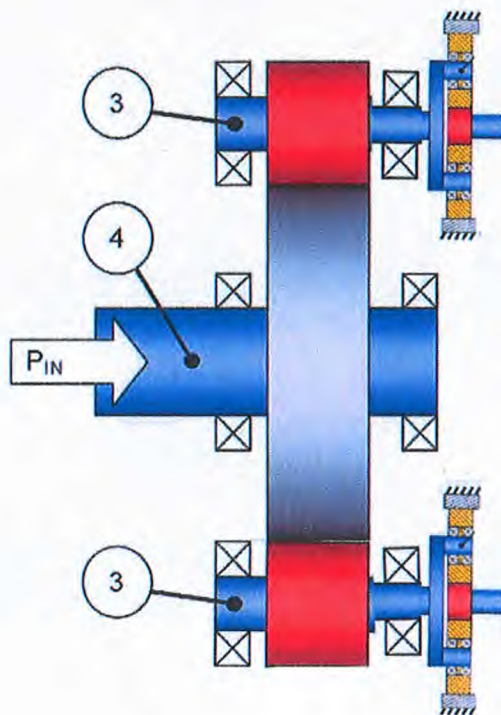
Afbeelding 5 Overzicht Hydrautrans aandrijflijn

De ontwikkeling van Hydrautrans is een alternatief voor de traditionele aandrijftreinen voor windturbines. In deze aandrijflijn drijft de rotor de hoofdas aan. De hoofdas is verbonden met de turbine met een of twee lagers. De vermogenssplitser tandwielkast wordt rechtstreeks op de hoofdas gemonteerd door middel van lagers, de verbinding van de vermogenssplitser met de turbine gebeurt door koppelsteunen. Het belangrijkste grote cilindrische tandwiel van de tandwielkast is rechtstreeks op de hoofdas gemonteerd en roteert met de hoofdas. Het hoofdwiel drijft verschillende rondsels aan. De tandwiel / rondselaandrijving is het mechanische deel van de aandrijftrein met een relatief grote overbrengingsverhouding van ongeveer 7 tot 10.

De uitgaande assen van de rondsels zijn verbonden met een planetaire tandwielkast en de uitgaande as van de planetaire tandwielkast is verbonden met de hydraulische pompen met de floating cup technologie van Innas. Verschillende pompen zijn verbonden met een hydraulische motor die een generator aandrijft. De pompen en de motoren zijn het hydraulische deel van de aandrijftrein. De afmetingen en nummers van de pompen en motoren bepalen de hydraulische verhouding. De totale Hydrautrans aandrijving bestaat uit een mechanische versnellingsbak en een hydraulisch systeem met een totale verhouding van ongeveer 150.

De Hydrautrans aandrijflijn heeft technische voordelen ten opzichte van de traditionele aandrijftreinen, de belangrijkste voordelen worden hier kort beschreven:

- De vermogenssplitser is direct op de hoofdas gemonteerd. De hoofdas is verbonden met de turbine met een of twee lagers. De vermogenssplitser wordt rechtstreeks op de hoofdas gemonteerd door middel van lagers, de verbinding van de hoofdversnellingsbak met de turbine gebeurt door koppelsteunen. Hierdoor verplaatst de vermogenssplitser zich samen met de uitwijkingen van de rotor en de hoofdas en dat heeft geen invloed op de binnenkant van de tandwielkast. Het contact van de tandwielen (hoofdaandrijving en rondsels) wordt niet beïnvloed door de uitwendige uitwijkingen en ook krachten en trillingen op de rotor en hoofdas hebben geen invloed op dit tandwielcontact. Dit ontwerp is cruciaal en nieuw en de octrooirechten liggen bij Hydrautrans;
- Het hoofdwiel drijft meerdere tandwielen aan en daarom wordt het koppel over de tandwielen verdeeld (beperking van de tand kracht in de overbrenging). In traditionele versnellingsbakken is de eerste trap een zeer groot en zwaar planetair tandwielontwerp omdat het totale invoerkoppel moet overbrengen. Ook kan de overbrengingsverhouding in de eerste trap groter zijn in het Hydrautrans-ontwerp dan in een planetaire versnellingsbak. Vanwege het lagere koppel per rondsel zullen de tandwielen kleiner zijn en zal de versnellingsbak veel lichter zijn;
- Met tussentrap van een planetaire tandwielkast, drijft elk rondsel de hydraulische pomp aan met de floating cup-technologie, deze pompen hebben een zeer hoog rendement en een hoge vermogensdichtheid. De pompen en motoren hebben geen metaalcontact en daarom een zeer lange levensduur. Het hydraulische systeem is zeer compact en licht. Wanneer 4 pompen 1 motor aandrijven en beide hetzelfde volume hebben dan zal de hydraulische verhouding 4 zijn. Defecten van traditionele versnellingsbakken vinden plaats in het hoge snelheidsgebied. In de Hydrautrans-aandrijftrein wordt de hogesnelheidstransmissie gedaan door de hydraulische componenten, dus hier geen mogelijke uitval van de versnelling;
- Storingen in traditionele aandrijftreinen worden ook veroorzaakt door de stijfheid van de aandrijflijn wat resulteert in hoge impulsen en dynamisch gedrag. Het hydraulische systeem is "zacht" en trillingen of piekkoppelmomenten van buiten de rotor worden gedempt in het hydraulische systeem en dit beïnvloedt de uitlijning van het tandwiel in de hoofdversnellingsbak niet. Dit is een heel groot voordeel.

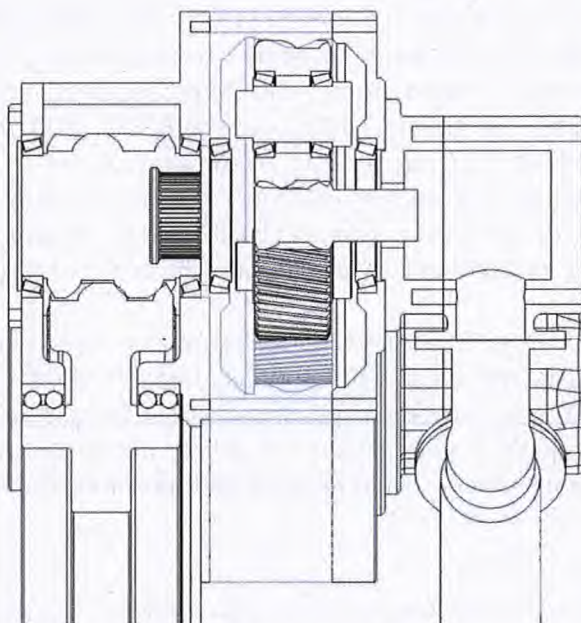


Afbeelding 6 Mechanisch gedeelte van de Hydrautrans aandrijflijn

2.3.2 Lay out of Gearbox & Hydraulic pump and motor 13,65 MW

Het uiteindelijke Hydrautrans aandrijftreinontwerp is gemaakt voor een windturbine van 13,65 MW. Het elektrisch vermogen is 12 MW, met een algemeen rendement van 88% moet het ingangsvermogen 13,65 MW zijn. Het totale rendement is opgebouwd uit de efficiëntie van de versnellingsbak 98,0%, hydraulisch circuit zoals pomp 98,7%, motor 98,3% en systeem 98,2% en de generator 98%. Verderop hebben we de efficiëntie van de converter, maar dit is klantspecifiek. We rekenden met een omzetterrendement van 96% en de totale efficiëntie zal 88% zijn. Het rendement van de versnellingsbak en generator kan worden berekend of is bekend, en het Hydrautrans-ontwerp is van cruciaal belang voor de efficiëntie van de hydraulische componenten. Daarom willen we de hydraulische pompen en motoren zo ontwerpen dat ze in de volgende fase kunnen worden geproduceerd en getest.

Systeem	Hydrautrans efficiëntie
Tandwielkast (G1)	98,0%
Stage 1	99,0%
Stage 2	99,0%
Hydrauliek (H)	95,3%
Pomp	98,7%
Systeem	98,2%
Motor	98,3%
Generator (G2)	98,0%
Total = G1 * H * G2	91,5%
Converter (klant specifiek)	96,0%
Totaal	87,9%



Afbeelding 7 Doorsnede Hydrautrans aandrijving

Eén cilindrisch tandwiel drijft meerdere rondsels aan, elk rondsel drijft een planetaire tandwielkast en een hydraulische pomp aan. Meer hydraulische pompen voeden de oliestroom naar de hydraulische motor en een of meerdere motoren kunnen een generator aandrijven. Voor het totale ontwerp is het een voordeel om 2 kleinere generatoren te gebruiken in plaats van 1 grotere generator. De redenen en voordelen etc. zullen in een ander hoofdstuk worden besproken. Een van de voordelen is dat we een hydraulische pomp en motor van dezelfde grootte kunnen gebruiken, vanwege het verschil in functie en snelheid, zullen ze intern op een andere manier worden geoptimaliseerd.

Met alle mogelijkheden in ratio's, aantal pompen, motoren en een generator, moeten we komen tot een geoptimaliseerd ontwerp voor veiligheid, kracht, efficiëntie, gewicht, kosten enz. Dit gebeurt met behulp van dezelfde berekeningscriteria voor de verschillende mogelijkheden, gevolgd op het einde door een grondiger studie van het definitieve ontwerp.

2.3.3 Hydraulische aandrijving

Er kunnen grenzen zijn aan het vermogen van direct aangedreven windturbines en windturbines met tandwielkasten zijn minder betrouwbaar. Hydrautrans ging op zoek naar een alternatief. Hydrautrans was bekend met de Floating Cup Technology (FCT) als de enige technologie die kan worden toegepast in hydrostatische pompen en motoren met de efficiëntie die nodig is in windturbines. Het voordeel van de FCT is in de eerste plaats een zeer hoog rendement. Bovendien heeft het Innas FCT-ontwerp, in vergelijking met andere hydrostatische pompen en motoren, een ontwerp van een pomp / motor die goedkoper is, minder gewicht heeft en een veel langere levensduur heeft.

De uitkomst van initiële ontwerpdiscussies leidde tot de conclusie dat het mechanische vermogen moest worden gesplitst met behulp van een aantal pompen die op een hydraulische motor waren aangesloten. Innas bekeek een circuit waarin zes pompen met een nominaal toerental van 100 tpm en een nominaal vermogen van 1,83 MW en een hydraulische motor met een nominaal toerental van 1500 tpm een 11 MW-generator konden aandrijven.

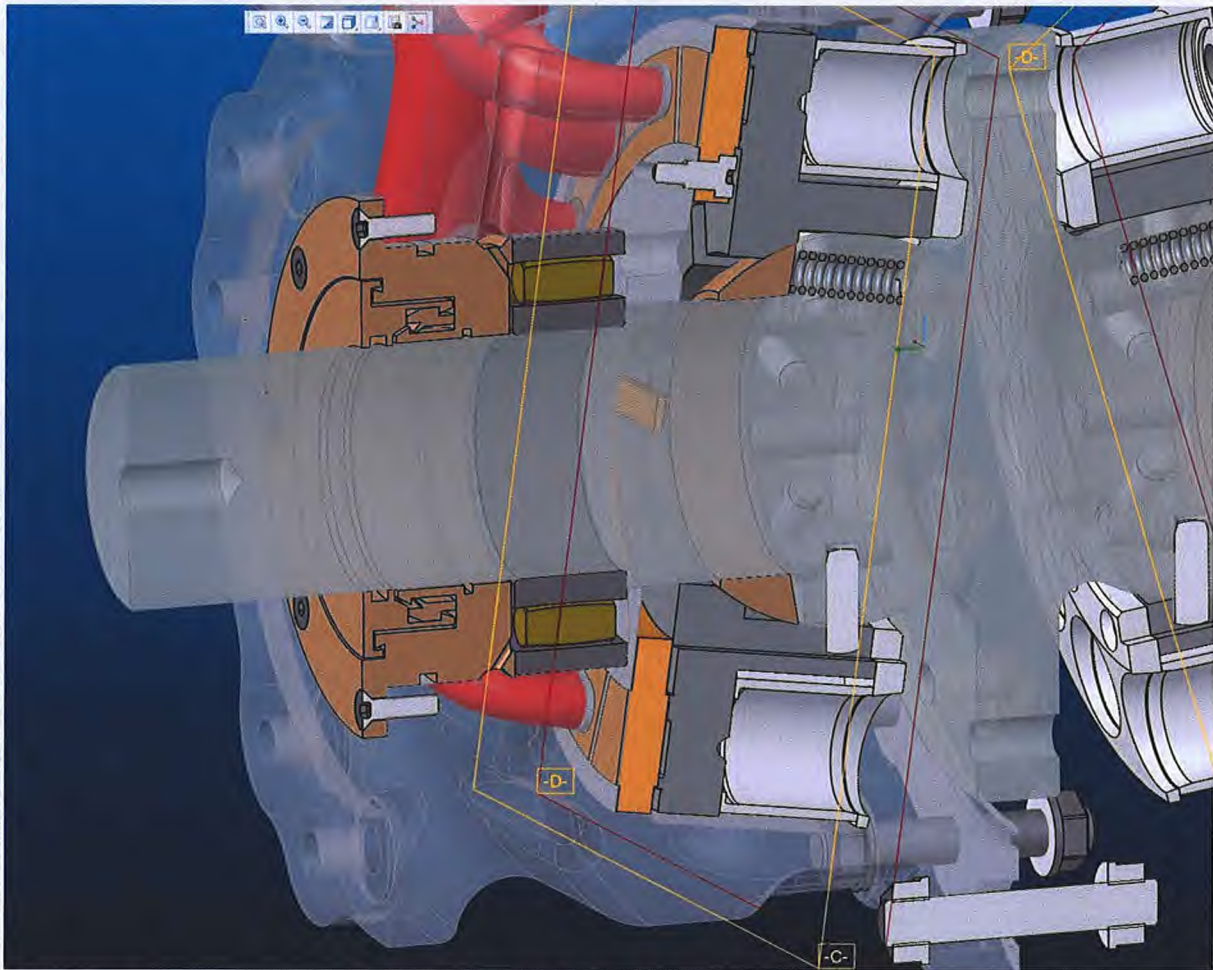
De conclusies van het onderzoek (toepassing van floating cup pompen en motoren in de hydraulische overbrenging van een 11 MW windturbine) waren dat de voordelen van hydrostatische systemen, zijnde de betrouwbaarheid en de hoge vermogensdichtheid resulterend in het lage gewicht van de transmissie, binnen handbereik zijn. Een gedetailleerd ontwerp was nodig om tot definitieve conclusies te komen. Een Innas-studie met de naam: "Hydrautrans, Tests of Components", mei 2014, toont enkele gegevens die nodig zijn voor de volgende acties. Tijdens de jaren 2016 en 2017 werden veel projectvergaderingen tussen Innas en Hydrautrans georganiseerd waarin alternatieve configuraties werden besproken. Gedetailleerde studies werden uitgevoerd met verschillende groottes van de Hydrautrans Drive Train (HDT) en zijn componenten. Een voorbeeld is het Innas rapport: "Berekening van de stijfheid, damping en traagheid van de hydraulische overbrenging voor een 3 MW windturbine" januari 2017.

Een onshore-toepassing met kleine afmetingen om landtransport mogelijk te maken is overwogen, in de veronderstelling dat dit een goedkopere en daarom gemakkelijker manier bood om de status "Bewezen technologie" te bereiken. Innas heeft enkele berekeningen gemaakt om de haalbaarheid te beoordelen, maar dit idee werd opgegeven vanwege de snelle ontwikkelingen in de offshore-markt en het tijdsverlies dat deze nevenstap zou hebben. Toch is het voor de toekomst een optie om deze route verder te ontwikkelen.

2.3.3.1 Ontwerp hydraulische pomp

Na de optimalisatiestudies beschreven in de voorgaande hoofdstukken en paragraaf, werden de volgende kenmerken van het hydraulisch circuit geselecteerd. Elke module draagt 3,4 MW vermogen over, bij een maximale druk van 370 bar (280 bar nominale druk), met een oliestroom van meer dan 7 m³ per minuut. Een koelsysteem van 210 kW is nodig. Het totale rendement van de hydraulische overbrenging zou minstens 95% zijn met een ontwerp levensduur van 25 jaar, wat haalbaar is omdat er geen metaal-op-metaalcontacten zullen zijn. Olie en filters hebben een kortere onderhoudsinterval nodig.

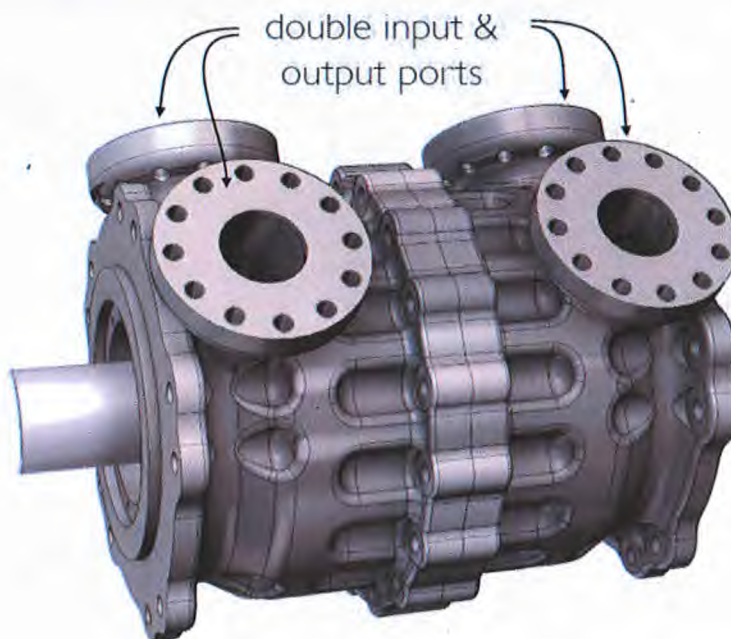
Voor het gedetailleerde ontwerp is een eindig elementenmodel ontwikkeld. In **Afbeelding 8 Eindig elementen model van de hydraulische pomp** is een voorbeeld opgenomen van de gemodelleerde elementen.



Afbeelding 8 Eindig elementen model van de hydraulische pomp

De pompen zijn ontworpen om risico's op zuig cavitatie te voorkomen, door gebruik te maken van grote lagedrukkanalen. De lage snelheid van de oliestroom kan leiden tot gemengde smering. Daarom moet het huis vervorming worden geminimaliseerd en is het plunjer zuigersysteem systeem geoptimaliseerd. De hoogste prioriteit was de algehele efficiëntie, omdat 4 pompen parallel worden gebruikt. In de volgende afbeeldingen wordt de opbouw geïllustreerd.

De input en outlet werden dubbel uitgevoerd om gebruik te kunnen maken van standaard componenten (slangen en flenzen, Afbeelding 9 Behuizing met dubbele aansluiting voor de oliekanalen).



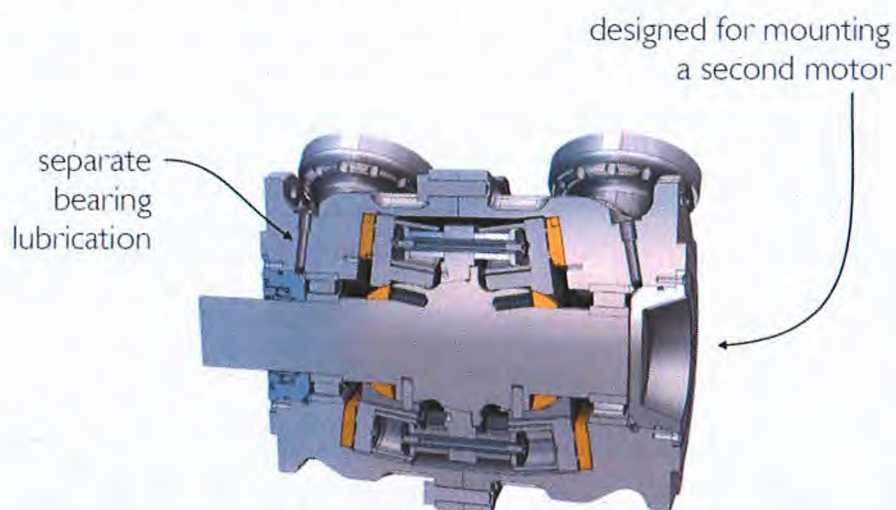
Afbeelding 9 Behuizing met dubbele aansluiting voor de oliekanalen

2.3.3.2 Ontwerp hydraulische motor

Oorspronkelijk zou het motorontwerp verschillen van het ontwerp van de pomp. Tijdens de ontwikkeling is besloten om voor beide applicaties (bijna) hetzelfde ontwerp te gebruiken. De motor is ontworpen om de montage van een tweede motor op dezelfde as mogelijk te maken.

De smering is ontworpen met een aparte toegang. Een labyrint wordt gebruikt voor afdichting. Het filteren en meten van de verontreiniging wordt gebruikt voor het bewaken van de levensduur.

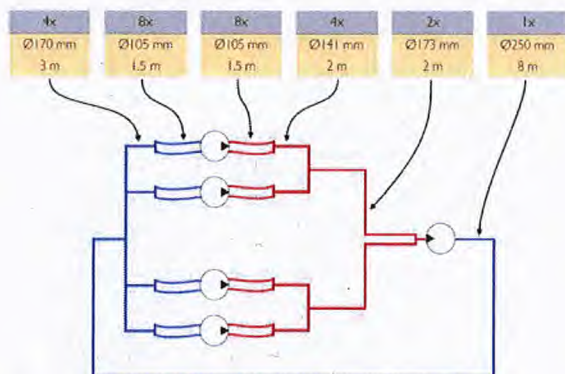
Afbeelding 10 Doorsnede hydraulische motor.



Afbeelding 10 Doorsnede hydraulische motor

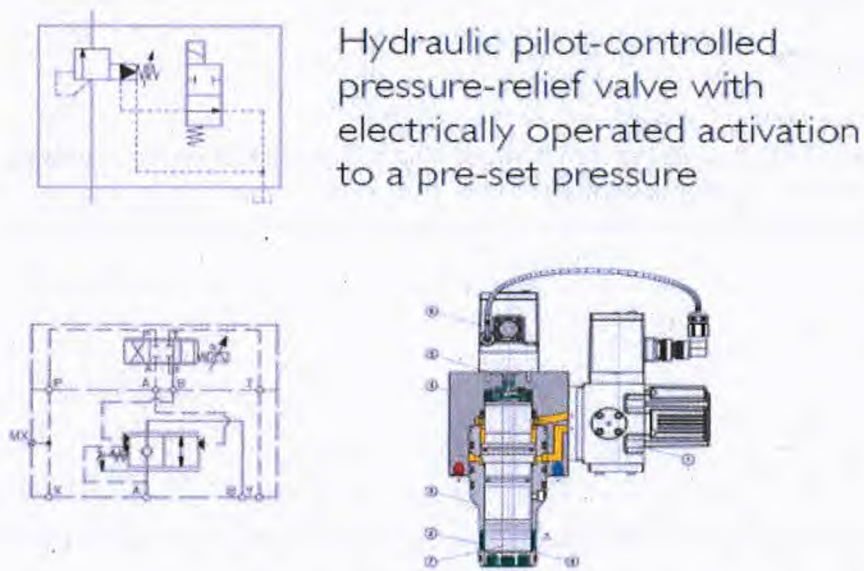
2.3.3.3 Ontwerp van het hydraulisch circuit

Het principe van het ontwerp wordt weergegeven in Afbeelding 11 Opzet hydraulisch systeem ontwerp: Een pomp produceert een hoge druk (rode) oliestroom. Na het aandrijven van de motor keert de lagedrukoliestroom terug naar de pomp. Kritieke elementen zijn het gesloten circuit (lage olieverliezen) en het voorladen van het circuit. Er moet een extra open circuit zijn (om stationair draaien van de windturbine mogelijk te maken).



Afbeelding 11 Opzet hydraulisch systeem ontwerp

Thermische uitzetting (geabsorbeerd door geautomatiseerde overdrukventielen met elektrisch bediende activering tot een vooraf ingestelde druk), lekcompensatie en compensatie voor samendrukbaarheid van olie worden in aanmerking genomen.



Afbeelding 12 Overdrukventiel ontwerp

Het systeem is ontworpen om spoelen, vullen, ontluchten, dehydrateren, koelen, filteren en conditiebewaking te vergemakkelijken. Standaardcomponenten worden geselecteerd als slangen (ContiTech Kill Lines. -18°C tot 100°C , 690 bar), maar ook speciale componenten van hoge kwaliteit zijn inbegrepen.

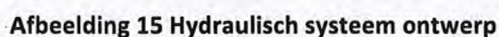


Afbeelding 13 Olie drukslang



Afbeelding 14 Expansie verbinding

Het totale circuit is dan schematisch weergegeven in Afbeelding 15 Hydraulisch systeem ontwerp. Dit is de lay-out voor 4 pompen die 1 motor aandrijven.



- Overgebracht vermogen: 3,4 MW
- Maximale druk: 370 bar
- Nominale druk: 280 bar
- Oliestroom > 7 m³ per minuut
- Koelvraag naar het hydraulisch systeem: 210 kW

De hierboven beschreven ontwikkeling heeft tot gevolg dat de kosten voor windenergie verder kunnen dalen door het inzetten van innovatieve nieuwe producten en heeft een Nederlands bedrijf een product in handen wat in de internationale markt zijn weg zal vinden.

De wereldwijde markt voor offshore windturbines groeit snel. Consultancy Make voorspelt dat in 2017 en 2018 elk jaar ca. 3 GW offshore wind zal worden geïnstalleerd, en elk jaar 5 GW vanaf 2019 en verder. Volgens een marktrapport van Zion Market Research werd de wereldwijde marktwaarde voor offshore windenergie in 2016 geschat op USD 20,3 miljard en zal naar verwachting USD 57,2 miljard bereiken in 2022, met een jaarlijks groeipercentage van 16,2% tussen 2017 en 2022.

De markt investeert zwaar in nieuwe producten en snel volwassen, wat leidt tot een grote consolidatie tussen een handvol turbinefabrikanten (Siemens-Gamesa, MHI-Vestas, GE en Senvion).

Hydrautrans wil een aandrijfsysteem voor een 12 MW windturbine realiseren. Gebaseerd op een stabiele wereldwijde offshore windmarkt van 5 GW die elk jaar vanaf 2019 wordt geïnstalleerd, zou de markt elk jaar 417 turbines van 12 MW zijn. Indien Hydrautrans erin zou slagen een marktaandeel van 10% te behalen, zou de omzet 42 aandrijvingen per jaar zijn. Per aandrijflijn 20 pompen / motoren zijn nodig op ca. € 12,50 / kg x 1150 kg per pomp / motor = € 15.000 x 20 = k € 300 per aandrijflijn + andere apparatuur ca. k € 850 = k € 1.150 per aandrijflijn. Dit zou een omzet van k € 1.150 x 42 = 48 miljoen euro per jaar betekenen.

De aandrijflijn bevindt zich tussen de hub, waar de bladen van een windturbine zijn aangesloten en de generator, waar de mechanische energie wordt omgezet in elektrische energie. Omdat het hydraulisch systeem uniek is in zijn afmetingen en het ontwerp van een variabele motor zich op een te laag TRL-niveau bevindt, heeft het huidige ontwerp een vaste overbrengingsverhouding. Het gevolg hiervan is dat de elektrische vermogensbehandeling identiek is voor de drie configuraties van een aandrijflijn in een windturbine.

- Directe aandrijving
- Klassieke tandwielkast aandrijflijn
- Hydraulische transmissie

Omdat de drie opties verschillende generatorlay-outs hebben, waarbij de efficiëntie van de generator een belangrijke factor is in de vergelijking van de totale systeem efficiëntie. Naast efficiëntie worden ook de massa van de transmissie en de massa van het systeem vergeleken. Kostenanalyse hieromtrent wordt niet gedaan, omdat prijzen alleen gerelateerd zouden zijn aan een vergelijking van massa en productiekosten per kg materiaal.

Op basis van het resultaat van de analyse en het resultaat dat de mechanische hydraulische transmissie grotere voordelen heeft in grote windturbines (> 6 MW), heeft het management van Hydrautrans besloten om een aandrijflijn voor een 12 MW offshore windturbine te ontwikkelen en de ontwikkeling van een aandrijflijn voor een op land gebaseerde turbine van 3 MW niet voort te zetten.

De belangrijkste karakteristieken en voordelen van de Hydrautrans transmissie zijn:

- Nominaal vermogen 12 MW en meer. Generator 1500 tpm mogelijk
- Levensduur meer dan 30 jaar. Piekbelastingen lager
- Gewicht en kosten 12 MW HDT 40% lager per MW
- Binnenlandse productiepompen en motoren
- Assemblagemodules op het land
- In toren hijsen componenten; geen jack-up nodig.

2.5 Spin off

De ontwikkeling van een innovatieve aandrijflijn is een uitdaging. Tijdens het project werden enkele belangrijke wijzigingen in de initiële benadering aangenomen, hoewel het basisprincipe hetzelfde bleef. De opname van een hydraulische component om een langere levensduur, lager gewicht en lagere belastingen in de turbine mogelijk te maken, werd met succes geïmplementeerd. De verspreiding van kennis was beperkt, maar de openbare samenvatting van dit rapport zal een groot deel van deze taak vervullen. Verder is besloten om de ontwikkeling voort te zetten. Er wordt een fabrikant voor de pomp en motoren geselecteerd en de discussie met de systeemintegrator (die de complete aandrijfrees assembleert) is gestart. Dit is een enorme prestatie, omdat het project voor grote uitdagingen en belangrijke wijzigingen in het oorspronkelijke ontwerp stond.

De ontwikkeling van het mechanisch splitsen van het binnenkomende koppel leidde tot een patentaanvraag en versterkte daarom de positie van Hydrautrans.

Tijdens het project zijn enkele kleine persberichten uitgegeven in Windtech-International en Windbiz.

2.6 Vervolgstappen

Tijdens het onderzoek en de berekeningen werd de uitvoering van de volgende fase, inclusief praktische tests, voortdurend in overweging genomen. Het belangrijkste doel van de test is het aantonen van de efficiëntie van de hydraulische pompen en motoren. De ISO-standaarden 4407: 2007 moeten worden gebruikt om de basisprestaties in stabiele toestand te presenteren. ISO 8426: 2008 is de bepaling van de afgeleide capaciteit. ISO 4413: 2010 voor de algemene regels en veiligheidseisen. En ISO 4392-1 om de karakteristieken van de motoren te bepalen.

De sensoren van het testbankcircuit moeten een extreem hoge nauwkeurigheid hebben om de efficiëntie aan te geven, een maximale afwijking van 0,1% is noodzakelijk en niet 1% zoals gebruikelijk bij het testen van hydraulische systemen. Voor het meten van de pompen en motoren moet een speciale testbank worden voorbereid. De algemene contouren zijn al bepaald. Er zijn in principe 3 opties om te testen: (1) totale efficiëntie van 1 pomp gecombineerd met 1 motor; (2) totale efficiëntie van 4 pompen gecombineerd met 1 motor en (3) afzonderlijke rendementsmetingen van pomp en motor. Een discussie tussen Hydrautrans en verschillende ondernemingen wordt voortgezet.

Omdat empirische feedback nodig is om het ontwerpproces te optimaliseren om de hoogste efficiëntie te bereiken, kunnen de definitieve tekeningen voor de te testen prototypes in de volgende fase van het project worden gemaakt.

Met de mogelijke producent(en) kunnen productieprocessen worden besproken, zoals te gebruiken materialen en productiemethoden. Innas is bereid om te helpen bij de test- en productie-uitdagingen. Het is nu de bedoeling dat het eerste testen van het ontwerp van zuiger en cups (inclusief metingen van de efficiëntie) zal worden uitgevoerd.

De volgende stap is een volledige back-to-back test van pomp en motor. Fabrikant van pompen en een systeemintegrator voor de volledige aandrijflijn worden momenteel geselecteerd.

3 Contact informatie

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met:

Bart van Neerbos Hydrautrans BV, bartvanneerbos@hydrautrans.com

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.