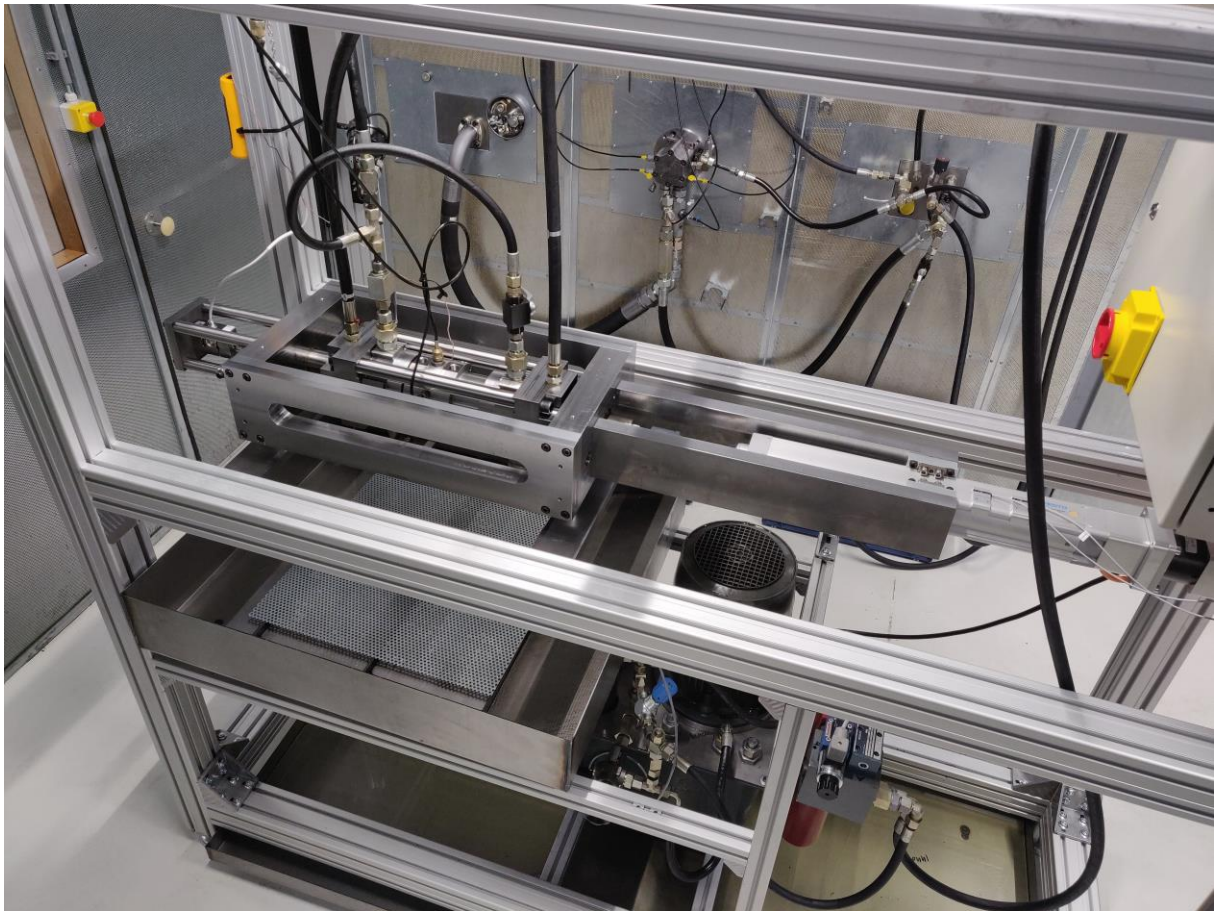


# Test van plunjers en cups voor de Hydrautrans Drive Train Hernieuwbare Energie TEHE118006



**Openbaar eindrapport**

## Inhoud

---

Inhoud .....	2
1 Samenvatting, uitgangspunten en resultaten .....	3
1.1 De samenwerkende partijen .....	4
1.2 De experimenten en de resultaten .....	4
1.3 Conclusies .....	9
1.4 Bijdrage aan doelstelling van de subsidieregeling .....	9
1.5 Vervolg en publiciteit .....	9

Dit rapport kan vrij worden verspreid.

Contact persoon: Ernst van Zuijlen, CEO Hydrautrans, [vanzuijlen@hydrautrans.com](mailto:vanzuijlen@hydrautrans.com)

“Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland binnen het programma van het TKI Wind op Zee.”

## 1 Samenvatting, uitgangspunten en resultaten

Hydrautrans werkt aan een lichte en betrouwbare transmissie voor hele grote windturbines (>12 MW). Deze windturbines, die ontwikkeld worden voor toepassing op zee, worden steeds groter en daarmee zwaarder. Alternatieve oplossingen gebaseerd op direct drive generatoren hebben een goede track record maar het is de vraag of ze geschikt gemaakt kunnen worden voor meer dan 12 MW wind turbines, vanwege de grote afmetingen, het grote gewicht en de enorme constructies (grote rotor en stator met een, onder allerlei omstandigheden stabiele en zo klein mogelijke luchtspleet) die op zee, op grote hoogte geïnstalleerd moeten worden. De meer standaard oplossing: een versnellingskast die omwentelingsnelheid van de ('wieken-')rotor van ca. 8 rpm moet versnellen tot 1200 a 1500 rpm wordt ook steeds groter en zwaarder en bovendien blijkt, zeker de laatste snelle trap, nog altijd een belangrijke bron van (langdurige) storingen. Medium speed generatoren (met een beperkte versnellingskast en dan een (permanent magneet) medium speed (ca 350 rpm) generator hebben als nadeel een lager rendement (en een dure generator).

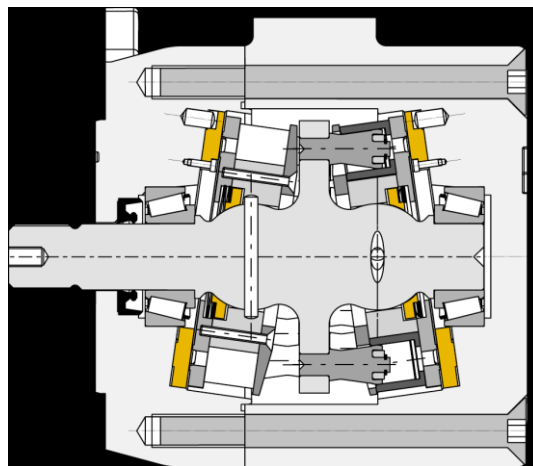


Figure 1 The floating cup pump

Hydrautrans kiest voor de standaard oplossing (tandwielkast en hoge toeren generator) maar splitst het vermogen in de tandwielkast en past hydraulische pompen en motoren toe om de laatste snelle trap met een lichte, betrouwbare, makkelijk te installeren en onderhouden technologie uit te voeren. Dit is eerder geprobeerd, maar hydrauliek had tot nu toe te lage rendementen en was gevoelig voor storingen (o.a. Mitsubishi: Sea-angel). De Floating Cup Technologie (Patent Innas) echter, paart hoge rendementen aan afwezigheid van slijtage. In figuur 1 is de FCT pomp weergegeven. Deze bestaat uit 28 cups en plunjers die door een draaibeweging van een scheef staande swashplate afwisselend in en uit elkaar bewegen en zo olie verpompen. De floating cup zorgt ervoor dat de cup en plunjers altijd precies uitgelijnd zijn waardoor er geen metaalcontact optreedt. De FCT technologie is in april 2019 grootschalig gelanceerd voor pompen met een relatief hoog toerental (en beperkt olievolume). Om de enorme vermogens van grote windturbines bij relatief lage toerentallen te kunnen doorgeven zijn pompen met een veel groter koppel en volume nodig. Deze zijn in een vorig project ontworpen en ge-engineerd. De vrijwel identieke motoren die door 4 pompen worden aangedreven draaien sneller en verpompen dus ook 4 keer zo veel olie (ca.  $4 \times 7\text{m}^3$  per minuut). De meest kritische componenten zijn de cups en de plunjers. Er is besloten om deze eerst daadwerkelijk te maken (met de gewenste hoge precisie) en vervolgens te testen op wrijving, olie lekkage en dus (berekend) rendement.

## 1.1 De samenwerkende partijen

Het project is een samenwerking tussen Hydrautrans, de eigenaar van patenten op het gebied van de vermogensplitsing en de toepassing in windturbines, Innas, de ontwerper en eigenaar van de floating cup technologie en VDL, die de vaardigheden bezit om de gewenste hoge precisie en kwaliteit te leveren. VDL is ook de beoogde producent van de volledige pompen en motoren

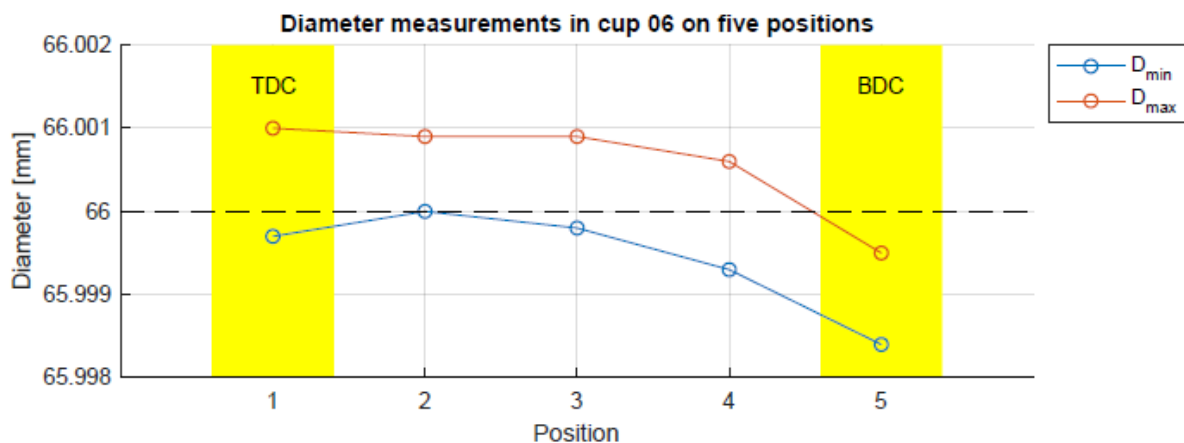
Het onderhavige project is gestart in september 2018 en afgerond op 1 juni 2019.

Naast de uitvoerders waren 3 adviseurs betrokken: Wil Post als hydraulisch expert; Kees Versteegh (Techadvice) als windturbine expert; en Pieter van Beek (TNO) als meetexpert op het gebied van grote vermogens.

## 1.2 De experimenten en de resultaten

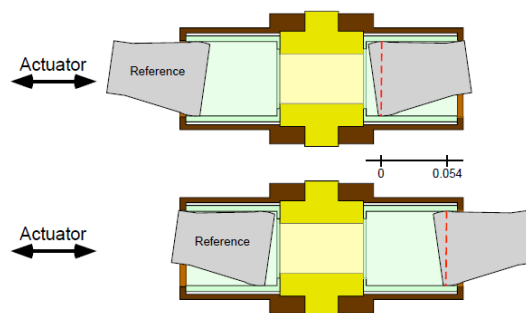
Door VDL zijn met hoge precisie cups en plunjers gefabriceerd die in een groot aantal combinaties zijn doorgemeten.

In onderstaande figuur is de diameter van de cup als functie van de afstand tot TDC (Top Dead Centre) weergegeven. Minimum en maximum waarden geven aan dat de cups zeer precies gedraaid zijn. Opvalt dat bij de BDC (Bottom Dead Centre) er over de lengte een geringe verloop optreedt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de wijze van inklemming. Tijdens de productie in de toekomst kan hiervoor gecorrigeerd worden hetgeen de lekverliezen zou moeten kunnen beperken.

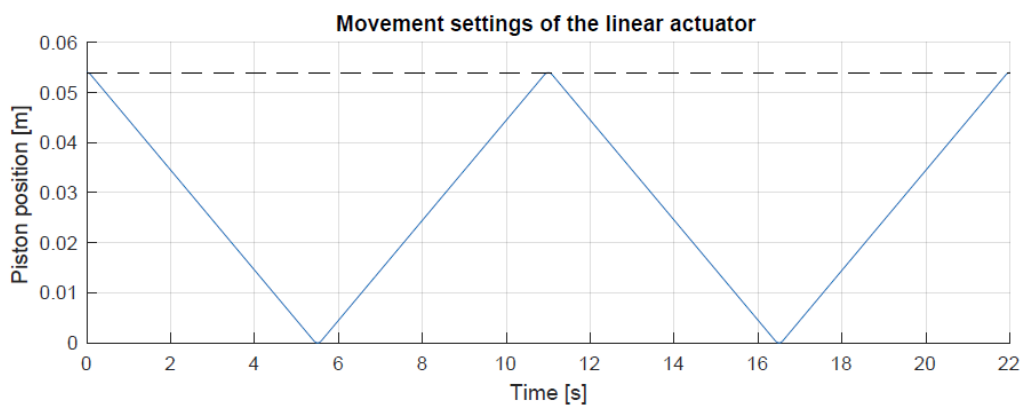


### 1.2.1 Opstelling

In onderstaande figuur is de opstelling (die op de voorpagina als foto is opgenomen) schematisch weergegeven. Een actuator beweegt het huis (inclusief de licht groene 'cups') ten opzichte van twee (grijze) plunjers. De linker plunjer is een zogenaamde referentieplunjer die ruim past. Deze veroorzaakt dus geen wrijving (maar laat wel flinke lekkage zien, die verder niet gemeten wordt). De kracht die de actuator moet uitoefenen voor de beweging is erg klein en opzichte van de krachten die beide plunjers ondervinden. Doordat deze krachten elkaar opheffen kan een precieze meting worden uitgevoerd van de voor de actuator benodigde kracht. Tevens wordt in statische posities de lekkage van de rechterplunjer gemeten, zodat over de hele slag bekend is wat de lekkage voor verliezen oplevert. Rechtsonder staat een maat voor de positie van de plunjer, die ruim 5 cm in en uit beweegt.



Onderstaand is een typische beweging weergegeven zoals veroorzaakt door de actuator.

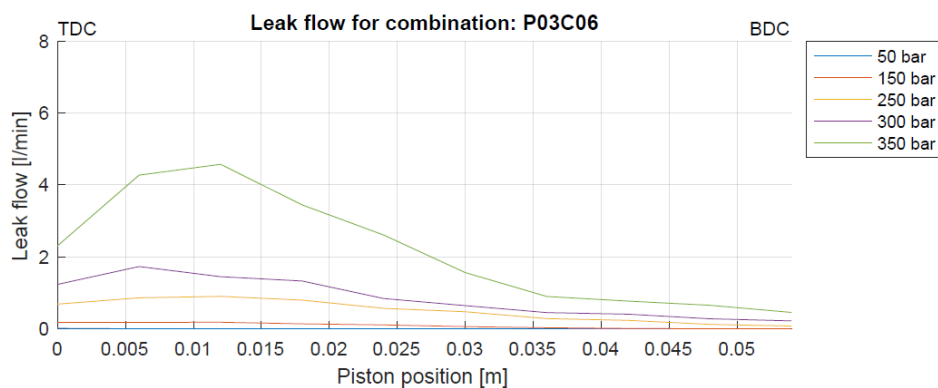
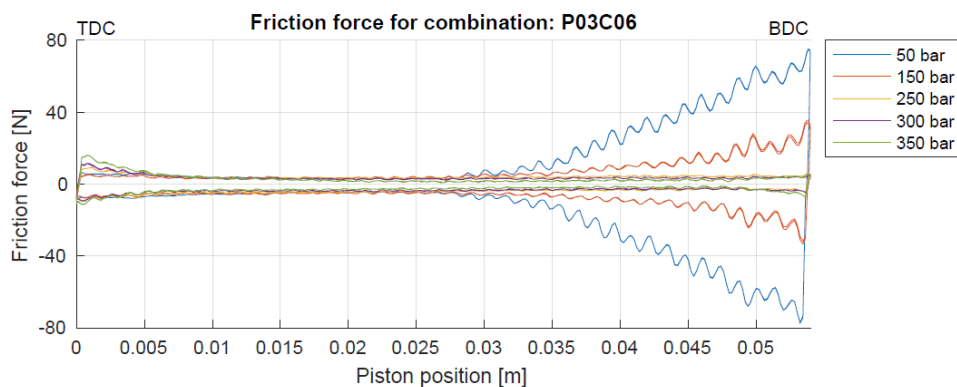


## 1.2.2 Resultaten en aanpassingen aan het ontwerp

In onderstaande figuur is een voorbeeld van de meetresultaten opgenomen. Er is gebruik gemaakt van hoge precisie meetinstrumenten omdat zeer geringe krachten bepaald moesten worden in verhouding tot de hoge krachten die de plunjers ondervinden. De eerste figuur betreft wrijving en lek als functie van de positie. In de tweede figuur zijn deze meetresultaten vertaald in wrijving en lekkage als functie van de druk over de hele slag van de zuiger, door de resultaten te integreren over het hele bereik. Dit bepaalt de te verwachten verliezen en dus het rendement van de pompen en motoren.

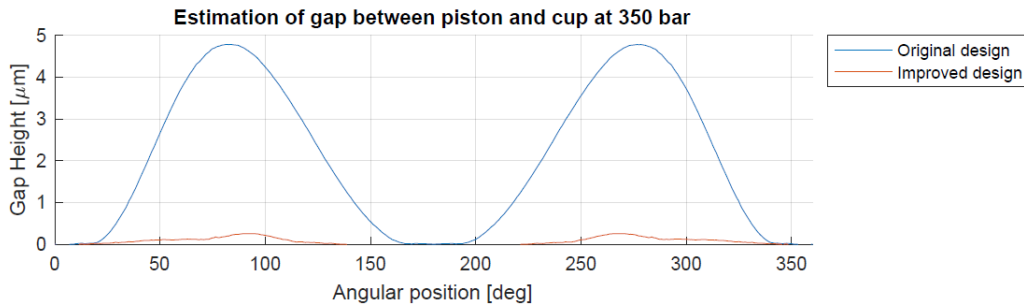
Piston 03, Cup 06  
Difference in diameter  $-7.0 \mu\text{m}$

Numerical results at 300 bar		
Maximum friction force TDC	11.58	N
Maximum friction force BDC	4.98	N
Estimated average friction	3.88	N
Minimum leak flow (BDC)	0.22	l/min
Maximum leak flow (TDC)	1.73	l/min
Estimated leakage full pump	12.12	l/min



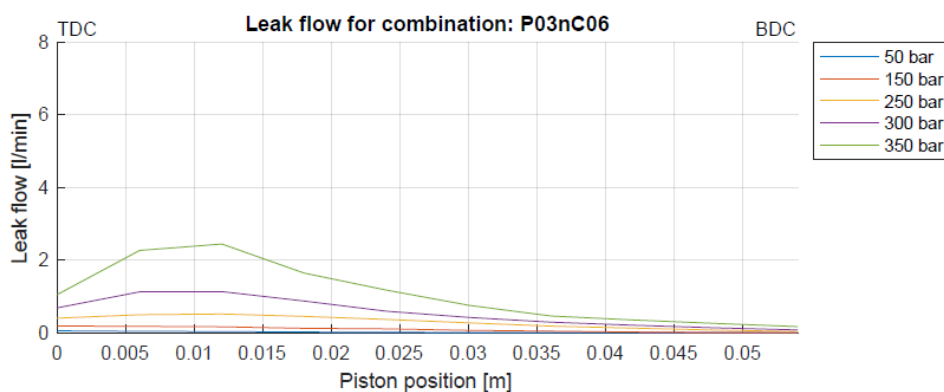
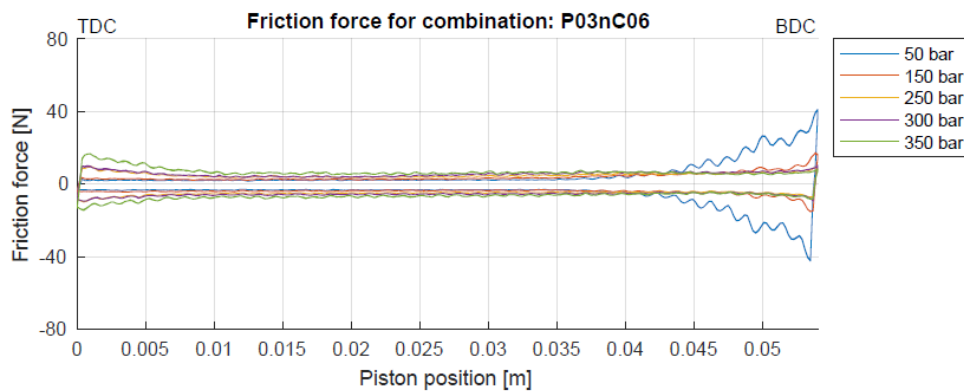
Afhankelijk van de positie van de cup en plunjer is de wrijvingskracht gemeten en de olie lekkage en dit bij verschillende drücken. De wrijvingskracht is groter bij lagere drücken, terwijl de lekverliezen toenemen bij hogere druk.

Door geringe aanpassingen aan het ontwerp van de pluniers zijn de wrijvingskrachten verder gereduceerd. Deze vernieuwde (improved) pluniers zijn ook doorgemeten. Onderstaand het verschil in spleetgrootte afhankelijk van de positie van de plunjer in de cup oorspronkelijk en na de aanpassing en daaronder de wrijving en lekverliezen. Beide zijn aanzienlijk verbeterd.



**Piston 03 (new), Cup 06**  
**Difference in diameter -7.0 µm**

Numerical results at 300 bar	
Maximum friction force TDC	10.12 N
Maximum friction force BDC	10.48 N
Estimated average friction	5.98 N
Minimum leak flow (BDC)	0.07 l/min
Maximum leak flow (TDC)	1.13 l/min
Estimated leakage full pump	7.75 l/min





In de figuur op de volgende pagina is een samenvatting weergegeven van de effecten van de meetresultaten op de te verwachten prestaties van pompen en motoren (voor het nieuwe ontwerp van de plunjers).

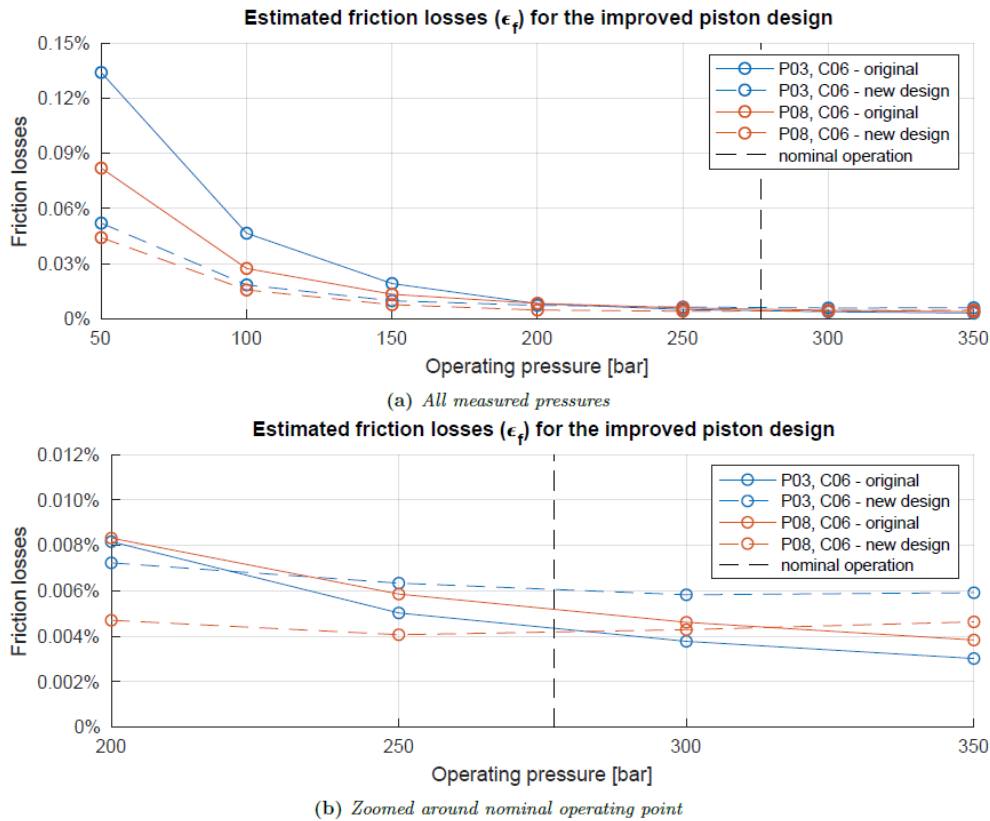


Figure 14: Estimated friction losses for a full pump and motor for two re-processed pistons.

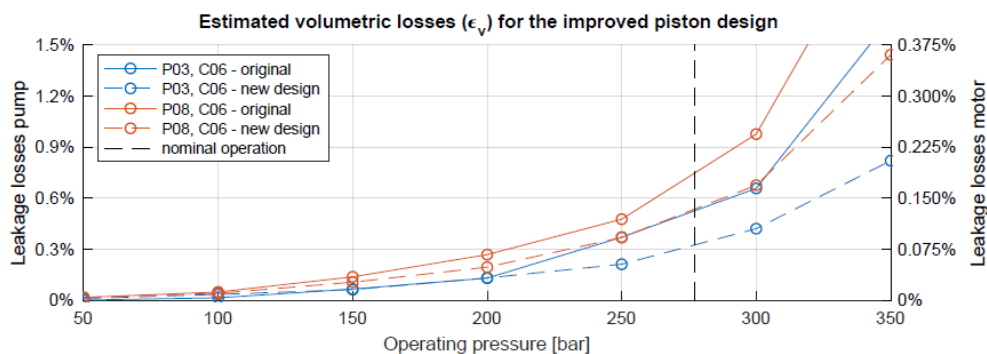


Figure 15: Estimated leakage for a full pump and motor for two re-processed pistons.

In het bovenste deel van de figuur is te zien dat de wrijvingsverliezen voor een aantal combinaties van cups en plunjers varieert van 0.04% tot 0.13%. In de tweede figuur blijkt dat in het werkingsgebied (rond de 275 bar) de verliezen ca. 0.005% bedragen, m.a.w. vrijwel verwaarloosbaar zijn en er dus geen contact van metaal met metaal optreedt. Dit ondanks het feit dat de diameter van de plunjers groter is dan van de cups. De vorm van de beide onderdelen past zich dus zodanig aan dat er altijd een oliefilm aanwezig is. De volumetrische verliezen (ten gevolge van lekkage van olie) rond de 275 bar bedragen 0.05% tot ca. 0.2 % en zijn dus niet verwaarloosbaar. Optimalisatie van het productieproces kan dit verlies verder beperken.



### 1.3 Conclusies

---

Het project heeft de volgende zaken aangetoond:

1. De cups en plunjers kunnen met de beoogde nauwkeurigheid gemaakt worden
2. De wrijving tussen cups en plunjers is verwaarloosbaar
3. De olie lekkage is zoals verwacht, is gereduceerd door ontwerp aanpassingen en kan verder significant verminderd worden door ontwerpaanpassingen
4. Er zijn verder aanbevelingen geformuleerd voor het maakproces en de efficiency.

Tijdens het project is besloten om de cups en plunjers direct in hard staal te draaien omdat verwacht werd dat VDL de gewenste nauwkeurigheid kon bereiken. Daarmee werd afgezien van een nabehandeling (coaten) wat als naast extra werk ook het risico van delaminatie (tussen staal en coating onder de hoge druk (350 bar) in de zuiger) met zich zou hebben gebracht. Geconcludeerd kan worden dat dit een terechte keuze is geweest die risico's en productiekosten heeft verkleind.

Al met al heeft het project het gewenste resultaat opgeleverd. De volgende stap (als onderdeel van het ontwikkelprogramma van Hydrautrans) is het bouwen van een pomp en een motor die in een test opstelling back to back getest zullen gaan worden.

### 1.4 Bijdrage aan doelstelling van de subsidieregeling

---

Dit project draagt bij aan een van de hoofddoelstellingen van het programma van het TKI Wind op Zee dat door middel van de Hernieuwbare Energie Regeling (HER) wordt ondersteund, namelijk de kostenreductie van offshore windenergie. Dit gebeurt doordat het maken van grotere windturbines wordt gefaciliteerd, doordat dure componenten worden vermeden, door eenvoudiger installatie van (offshore) windturbines, want lichter en door lagere onderhoudskosten. De Hydrautrans Drive Train (HDT) kan zo leiden tot een vermindering van de LCoE (Levelised Cost of Energy) van minimaal 1 à 2 € per MWh (en dat is ca 2% van de LCoE). Deze, op zich beperkte, reductie betekent dat een beperkte investering (en subsidie) in de ontwikkeling van de HDT zich snel terugverdiend gezien de verwachte enorme groei van offshore wind energie in de komende 10 tot 30 jaar. Duizenden turbines zullen alleen al in de Noordzee gebouwd worden, zodat al in 2030 ca 50% van alle elektriciteit die in Nederland gebruikt wordt met windturbines op zee wordt opgewekt.

### 1.5 Vervolg en publiciteit

---

Hydrautrans is in overleg met een bouwer van de complete drive train en bereidt de back to back test voor. Om de interesse van eindklanten (windturbinefabrikanten) te vergroten zal op korte termijn begonnen worden met het bekend maken van de veelbelovende resultaten en de volgende stappen.