

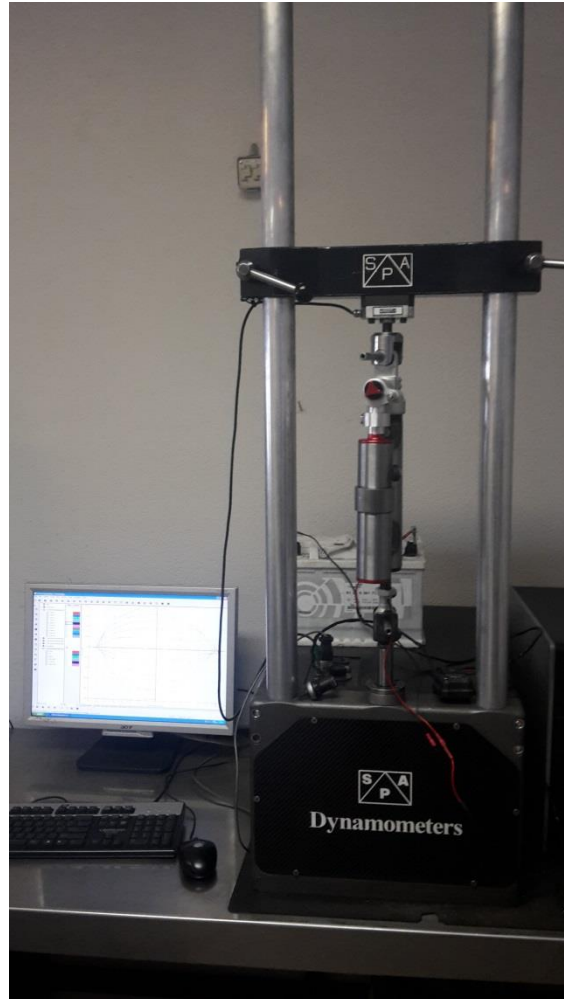
Elektrisch verstelbare schokdemper



inTrax
SUSPENSION TECHNOLOGY


Fontys

Van mechanisch naar elektrisch



Jim Peeters

2578492

Werktuigbouwkunde

Intrax Suspension Technology

Bob Stevens

Fontys Venlo University of Applied Sciences

Hugo Verzellenberg

12-6-2018

Voorwoord

Voor u ligt het eindverslag 'Elektrisch verstelbare schokdemper'. Dit verslag is uitgevoerd in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding werktuigbouwkunde aan de Fontys Hogeschool te Venlo. In samenwerking met Intrax Suspension Technology is de mechanisch verstelbare schokdemper onder de loep genomen en is een systeem ontwikkeld om de mechanische demperverselling, elektrisch te reguleren. Dit omdat Intrax een vooruitstrevend bedrijf is en op deze manier de concurrentie een stap voor wil blijven.

Iedereen die van auto's of autosport houdt en technische ontwikkelingen kan waarderen zal dit verslag zeker de moeite waard vinden. Specifiek is dit verslag voor de afdeling Research and Development van Intrax, zodat deze het prototype verder kan ontwikkelen tot een verkoopbaar product.

Eerst zal er ingegaan worden op de huidige situatie, de mechanisch verstelbare schokdemper van Intrax. Daarna wordt er stilgestaan bij de mogelijkheden die momenteel op de markt zijn met betrekking tot de elektrische schokdempers. Deze informatie zal gefilterd worden tot haalbare concepten. Deze concepten worden getoetst en de beste wordt verder uitgewerkt tot een prototype. Hoe dit prototype tot stand komt zal uitgebreid behandeld worden en daarna zullen de testresultaten vergeleken worden. Als laatste wordt de toekomstvisie van dit project uitgelicht, met conclusies en aanbevelingen voor de technische staf van Intrax.

Tijdens dit project heb ik bij Intrax altijd veel steun gehad van mijn begeleider, Bob Stevens. Mijn dank gaat uit naar hem omdat hij me goed geholpen heeft bij het vorderen en sturen van dit project. Naast Bob is ook Niek van Sambeek een goede informatiebron voor mij geweest. Ook wil ik Jos Schuurmans, Daniël van Moeren en Eddie Schuurmans bedanken voor het helpen bij de bouw van de demper en het geven van nieuwe inzichten voor verbeterpunten van het prototype. Het maken van de verschillende onderdelen had ik niet gekund zonder de hulp van Gijs Verbeek, ook gaat mijn dank naar hem uit.

Ik wens u een zeer leerzame en plezierige leeservaring toe.

Jim Peeters

Volkel, 12 juni 2018

Inhoud

Voorwoord	3
Inhoud.....	4
Samenvatting	1
Summary.....	2
Introductie	3
Bedrijfsbeschrijving	4
Projectplan.....	5
1. Vooronderzoek.....	6
2. Conceptvorming	7
2.1. Piëzo element.....	7
2.2. Spoel	8
2.3. Kesselring	9
3. Prototype	12
3.1. Belasting.....	12
3.2. Sun Hydraulics	13
3.3. Werking componenten	14
3.3.1. Elektronica.....	14
3.3.2. Verstelling.....	17
3.3.3. Integratie cartridge	18
3.4. Prototype bouw.....	21
4. Testen	22
4.1. Mechanische demper	23
4.2. Elektrische demper	25
4.2.1. Test controle verstelling.....	25
4.2.2. Test met verstellingen.....	28
4.2.3. Aanpassingen mechanisme	30
4.2.4. Test met aangepast mechanisme	31
5. Conclusies	38
5.1. Algemene conclusie	38
6. Aanbevelingen.....	39
6.1. Lengte spoel	40

6.2. Verstelmechanisme	41
6.3. Kabels wegwerken	42
6.3.1. Interne versteller	42
6.3.1.a. Concept 1	42
6.3.1.b. Concept 2	43
6.3.1.c. Concept 3	43
7. Literatuurlijst.....	44
8. Bijlagen	I

Samenvatting

De auto industrie blijft zich alsmaar ontwikkelen en verbeteren. Deze ontwikkelingen is de wegligging een groot onderdeel van. De wegligging van een auto wordt mede door de schokdempers bepaald. Om onder verschillende omstandigheden een goede wegligging en comfort te hebben zijn er ook verstelbare schokdempers op de markt gekomen. Deze worden doorontwikkeld door de verschillende fabrikanten en zo zijn er elektrisch verstelbare schokdempers ontstaan. Deze schokdempers doen hetzelfde als de mechanisch verstelbare schokdempers, maar bieden de gebruiker meer luxe omdat de verstelling sneller en eenvoudiger te doen is. Intrax Suspension Technology is een vooruitstrevende schokdemperleverancier die aan de top mee doet. Om aan die top mee te kunnen blijven doen willen ze ook mee met de elektrische trend.

Het doel van dit project is om te achterhalen hoe de mechanisch verstelbare schokdemper van Intrax voorzien kan worden van elektrische componenten om de verstelling volledig elektrisch regelbaar te maken. Daarbij is onderzoek gedaan naar de reeds bestaande mogelijkheden en deze zijn met elkaar vergeleken om de meest haalbare methodes er uit te filteren. Deze methodes zijn uitgewerkt tot concepten. De concepten zijn getoetst volgens de Kesselring methode waardoor het beste concept naar voren is gekomen. Dit concept is uitgewerkt tot een prototype.

Het prototype is opgebouwd uit zo veel mogelijk onderdelen die in de mechanisch verstelbare dempers van Intrax ook gebruikt zijn. Dit is gedaan om de kosten laag te houden. De elektrische componenten zijn afkomstig van Sun Hydraulics. Dit bedrijf kwam uit het onderzoek naar boven drijven omdat ze wereldwijd toonaangevend zijn op het gebied van hydraulische ventielen. Ze bieden goede componenten aan die bij hoge druk (350 bar) stabiel zijn en de elektrische ventielen zijn via een mobiele app te programmeren. De onderdelen zijn waar nodig aangepast en geïntegreerd in de spindel van de demper. Alle kritische componenten zijn doorgerekend en/of gesimuleerd om er zeker van te zijn dat de testopstelling de krachten aankan. Hierbij is steeds een minimale veiligheidsfactor van $K = 2$ opgesteld.

Nadat het prototype ontworpen en doorgerekend is, zijn de verschillende nieuwe componenten gemaakt en is het geheel opgebouwd. Dit prototype bestaat uit een Intrax 4weg schokdemper waarbij de reboundverstelling vervangen is door een elektrisch verstelmechanisme. De demper is daarna in de testbank gezet en daar zijn testgegevens uitgerold. Uit de resultaten blijkt dat het prototype met elektrisch verstelbare damping goed functioneert en aan de meeste eisen voldoet. Het is goed mogelijk dit prototype door te ontwikkelen naar een verkoopbaar product.

Summary

The car industry continues to develop and improve. These developments make road holding a large part of the business. The road holding of a car is partly determined by the shock absorbers. In order to have good road holding and comfort under different circumstances, adjustable shock absorbers have also come on the market. These are being further developed by the various manufacturers, which has resulted in electrically adjustable shock absorbers. These shock absorbers do the same as the mechanically adjustable shock absorbers, but offer the user more luxury because the adjustment is faster and easier to do. Intrax Suspension Technology is a progressive shock absorber supplier that is at the top of the market. In order to stay at the top, they also want to participate in the electrical trend.

The aim of this project is to find out how the mechanically adjustable shock absorber of Intrax can be equipped with electrical components to make the adjustment fully electrically adjustable. The existing possibilities were researched and compared in order to filter out the most feasible methods. These methods have been developed into concepts. The concepts were tested according to the Kessel Ring method, which resulted in the best concept coming forward. This concept has been worked out into a prototype.

The prototype is made up of as many parts as possible, which were also used in the mechanically adjustable dampers of Intrax. This has been done to keep costs down. The electrical components come from Sun Hydraulics. This company came out of the research to the top because they are world leaders in the field of hydraulic valves. They offer good components that are stable at high pressure (350 bar) and the electric valves can be programmed via a mobile app. The parts are adapted where necessary and integrated into the spindle of the damper. All critical components have been calculated and/or simulated to ensure that the test stand can cope with the forces. A minimum safety factor of $K = 2$ has always been set up.

After the prototype has been designed and calculated, the various new components have been made and the whole thing has been built up. This prototype consists of an Intrax 4-way shock absorber in which the rebound adjustment has been replaced by an electric adjustment mechanism. The damper was then placed in the test bench, where test data was rolled out. The results show that the prototype with electrically adjustable damping works well and meets most of the requirements. It is quite possible to develop this prototype into a marketable product.

Introductie

Schokdempers zijn voor een groot deel bepalend voor het weggedrag van een auto. Verschillende rijomstandigheden zoals het weer, ondergrond en temperaturen maken het gedrag van een auto anders. Daarom zijn er bij de duurdere automerken, en bij aftermarket schokdemper leveranciers, verstelbare schokdempers ontwikkeld. Deze bieden de consument de mogelijkheid om het weggedrag van de auto aan te passen aan de omstandigheden en/of de rijder. Het verstellen van een schokdemper is vaak een lastig klusje omdat de auto ervoor stilgezet moet worden en soms zelfs de wielen gedemonteerd moeten worden. Dit heeft er voor gezorgd dat de elektrisch verstelbare schokdemper op de markt gekomen is. De elektrisch verstelbare schokdemper doet hetzelfde als de standaard verstelbare schokdemper, maar is deze via een knop of scherm op het dashboard af te stellen. Hierdoor is de verstelling sneller en eenvoudiger te realiseren.

De vraag naar elektrisch verstelbare schokdempers neemt toe. Dit zorgt ervoor dat bedrijven die dit (nog) niet in hun pakket hebben, zoals Intrax Suspension Technology, klanten naar de concurrentie zien lopen. Dit zit niet in het DNA van Intrax, omdat zij toonaangevend zijn wat betreft schokdempertechnologie. Daarom wil Intrax mee met deze trend, en zelf een elektrisch verstelbare schokdemper ontwikkelen.

In dit verslag wordt er nagegaan of het mogelijk is om zelf een schokdemper te ontwikkelen die de mechanische dampingverstelling vervuuld voor een elektrische variant, waarbij dezelfde verstelmogelijkheden behouden blijven. Om deze mogelijkheid te toetsen wordt er een prototype gebouwd en deze zal vergeleken worden met een mechanisch verstelbare demper met exact dezelfde dempingsconfiguratie.

Om tot het geteste prototype te komen zijn verschillende stappen doorlopen, deze worden ieder in een apart hoofdstuk behandeld. Om de schokdempers van Intrax goed te begrijpen zijn deze onderzocht en is de werking van het geheel, zo ook van ieder onderdeel afzonderlijk, in kaart gebracht. Daarnaast is onderzocht welke manieren van elektrische verstelling er al op de markt zijn en welke overige mogelijkheden er zijn. Dit vooronderzoek wordt behandeld in hoofdstuk 1. Uit de verschillende mogelijkheden zijn concepten gevormd. Deze concepten zijn getoetst aan verschillende aspecten, en uit deze toetsing is het beste concept naar voren gekomen. De conceptvorming en toetsing wordt behandeld in hoofdstuk 2. Het concept is verder onderzocht en ontwikkelt tot een prototype. Dit prototype is doorgerekend en gerealiseerd. Deze stappen zijn verwerkt in hoofdstuk 3. Nadat het prototype gebouwd is, zijn er tests gedaan waarbij de verschillende resultaten vergeleken zijn met de resultaten van de mechanisch verstelbare schokdempers. Hoe deze tests verlopen zijn en wat de resultaten hiervan zijn is te vinden in hoofdstuk 4. Tot slot zijn de resultaten geëvalueerd waardoor er conclusies getrokken konden worden. Daarnaast zijn er aanbevelingen gedaan voor het door ontwikkelen van de elektrisch verstelbare schokdemper. Deze bevindingen zijn in hoofdstuk 5 en 6 te vinden.

Bedrijfsbeschrijving

In de autosport maar ook voor straatauto's zijn er veel verschillende leveranciers voor schokdempers. Een van deze leveranciers is Intrax Suspension Technology BV.

Intrax is opgericht in 1994 door Henk Thuis. Dit is dezelfde man die in 1975 het legendarische White Power Suspensions opgericht en grootgemaakt heeft. Onder de paraplu van Henk Thuis zijn ook andere vering bedrijven als Technoflex, Hyperpro, Ohlins Holland en Wilbers Suspension gestart.

Met meer dan 30 jaar intensieve ervaring aan de top van de autosport, waar onder de Formule 1, heeft Intrax een dusdanig goed schokdemper arsenaal ontwikkeld dat klanten vaak onder de indruk zijn van het positieve verschil tussen een Intrax demper en een 'gelijkwaardige' demper van een concurrent. Alle schokdempers gemaakt door Intrax zijn klant specifiek samengesteld. Hierdoor wordt de klant nauw betrokken bij het productieproces en kunnen alle wensen van de klant waargemaakt worden.

Grofweg heeft Intrax 3 verschillende schokdempers. De RS schokdemper is de meest basis schokdemper. Deze is niet verstelbaar, maar levert een zeer goede wegligging gecombineerd met het nodige comfort.

De volgende in de reeks is de 1K2 schokdemper. Deze heeft een enkele verstelmogelijkheid waardoor de klanten met een beperkt budget toch een zeer goede schokdemper kunnen laten maken waarbij ze zelf aanpassingen aan kunnen doen.

Tot slot is er de 4way schokdemper. Dit is de meest complexe demper, omdat deze maar liefst 4 verstelmogelijkheden heeft. Deze demper maakt het mogelijk om onder alle omstandigheden het maximale uit de auto te halen.

Al deze dempers zijn weer in verschillende uitvoeringen en toepassingsgebieden te verkrijgen, zo is er voor ieder voertuig een schokdemper van Intrax te maken, ongeacht waarvoor deze gebruikt gaat worden.

Intrax streeft ernaar om klanten uit zo veel als mogelijk verschillende auto(sport) segmenten te voorzien van de best mogelijke schokdempers, nu en in de toekomst. Denk daarbij aan straatauto's, trackday auto's, raceauto's maar ook rally en rallycross auto's. Intrax is constant bezig met door ontwikkelen van de bestaande systemen en het ontwikkelen van nieuwe producten om zo meer oplossingen te bieden en problemen op te lossen.

Projectplan

Voordat begonnen wordt aan het inhoudelijke deel van het project wordt eerst een projectplan geschreven. In het projectplan wordt de projectopdracht omschreven en worden de leerdoelen vastgesteld. Het pakket van eisen en de wensen worden vastgesteld en de randvoorwaarden en afbakening worden duidelijk. Er wordt omschreven welke activiteiten en deliverables er bij de verschillende projectfasen horen zodat deadlines kunnen worden ingepland. Uiteindelijk wordt de projectbeheersing behandeld om de kwaliteit, kosten en risico's te kunnen waarborgen.

Dit project heeft het volgende doel:

Ontwerp en maak een prototype van een elektrisch verstelbare schokdemper waarbij de verstelmogelijkheden gelijk zijn aan de verstelmogelijkheden van een Intrax mechanisch verstelbare 4weg schokdemper.

Dit project zal leiden tot het volgende resultaat:

Een prototype elektrisch verstelbare schokdemper waarbij de verstelmogelijkheden gelijk zijn aan de verstelmogelijkheden van een Intrax mechanisch verstelbare 4weg schokdemper, en conclusies en opgesteld aan de hand van tegengekomen problemen, nieuwe inzichten en testresultaten.

De in het projectplan gestelde leerdoelen zullen teruggekoppeld worden in het reflectieverslag van de afstudeerstage.

Het volledige projectplan en het Programma van Eisen is te vinden in de bijlagen.

1. Vooronderzoek

In het vooronderzoek wordt gekeken naar de verschillende schokdempers die Intrax in het assortiment heeft, waarna op de 4-weg demper dieper ingegaan wordt. Dit omdat deze gebruikt zal worden voor de prototype vorming en het testen.

Naast de dempers van Intrax wordt er ook gekeken naar de elektrisch verstelbare dempers die concurrenten en autofabrikanten aanbieden. Dit wordt gedaan om een goed beeld te krijgen van wat haalbaar is.

Binnen in de dempers komen hoge hydraulische drukken voor, hierdoor wordt er gekeken naar het onderzoek 4-weg testschokdemper, Bart van Dijk. (2017). 4-weg testschokdemper, Geraadpleegd op 3 april 2018. Dit omdat zijn verslag een mooie aanvulling is omtrent de interne belastingen van een Intrax schokdemper. Dit zal helpen bij het maken van de juiste keuzes.

Het vooronderzoek is onderverdeeld in de volgende hoofdstukken:

1. Intrax schokdempers
2. Elektrische schokdempers van andere aftermarket leveranciers
3. Elektrische schokdempers van autoproducenten
4. Belasting van een schokdemper

Uit het vooronderzoek is gebleken dat er enkele mogelijkheden zijn om de elektrische verstelling te realiseren. De mogelijkheden zijn de volgende:

- Magnetorheologische vloeistof
- Elektrorheologische vloeistof
- Stappenmotor
- Piëzo element
- Spoel
- Servomechanisme

Door dieper op deze mogelijkheden in te gaan is de conclusie getrokken dat er twee mogelijke verstelmechanismen voor dit project de oplossing kunnen bieden, namelijk het piëzo element en de spoel.

Het volledige vooronderzoek is te vinden in de bijlagen.

2. Conceptvorming

Uit het vooronderzoek komt naar voren dat het piëzo element en de spoel de voorkeur genieten. Om te bekijken welke van deze twee de betere is zullen beiden uitgewerkt worden tot een of meerdere concepten en deze zullen dan naast elkaar gelegd worden om te vergelijken en te toetsen.

2.1. Piëzo element

Het grootste voordeel van het piëzo element is dat het kleine onderdelen zijn die eenvoudig te integreren zijn, en de daarbij behorende hoge stijfheid. Hierdoor is een zeer stabiele verstelbare demper te verkrijgen. Het grootste nadeel van het piëzo element is de kleine slag die gemaakt kan worden. Door deze kleine slag zijn de mogelijkheden beperkt, of er moet met een overbrenging gewerkt worden waardoor er meer onderdelen en meer plaats nodig is.

Met de gegevens over de piëzo elementen zijn de volgende concepten naar voren gekomen:

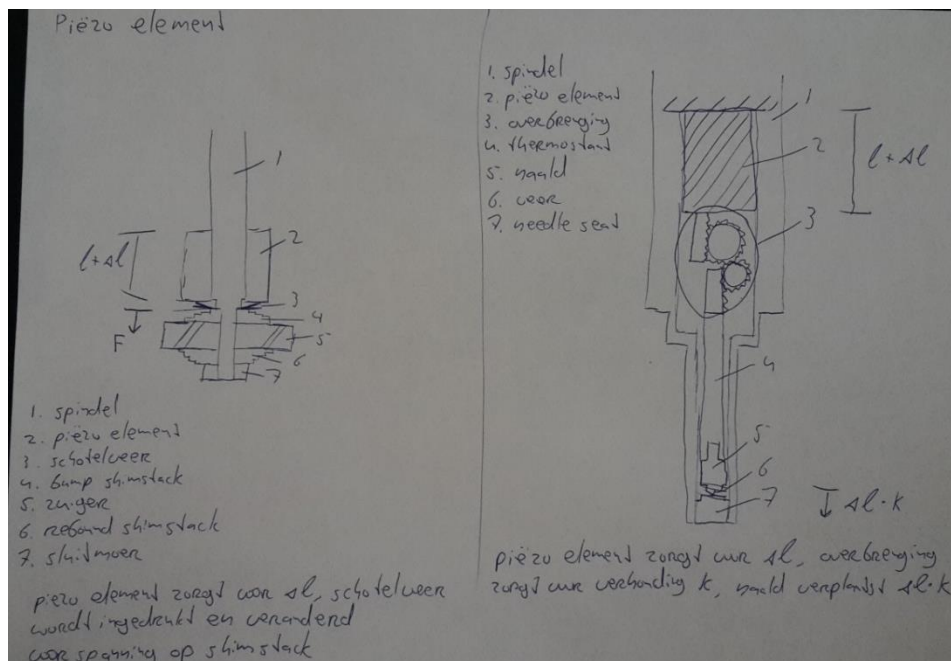


Figure 1 Concepten Piezo element

Beschrijving linker afbeelding in Figure 1 (concept 1): Het piëzo element heeft een lengte L , door bekrachtiging neemt deze toe met ΔL . Deze ΔL wordt op de schotelveer overgebracht omdat het element van bovenaf opgesloten/geklemd is. De veer zorgt met de indrukking en veerconstante voor een kracht die doorgegeven wordt op de shims die op de zuiger liggen. Door het veranderen van de voorspanning op de shims kan de demping gereguleerd worden.

Beschrijving rechter afbeelding (concept 2): Het piëzo element heeft een lengte L , door bekrachtiging neemt deze toe met ΔL . Deze ΔL wordt via de overbrenging doorgegeven aan de thermostaat. De overbrenging zorgt dat ΔL met een factor K vergroot wordt. De verplaatsing van de thermostaat, en daarmee de verplaatsing van de naald, wordt $\Delta L \cdot K$. Door het veranderen van de afstand tussen de naald en de needle seat kan de demping gereguleerd worden.

2.2.Spoel

De spoel was de tweede mogelijkheid die de voorkeur kreeg. De grootste voordelen van de spoel zijn de aansturing, dit kan redelijk eenvoudig door de spanning op de spoel te variëren, en de beschikbaarheid. Spoelen worden in bijna alle elektronica gebruikt en zijn daardoor in oneindig soorten en maten te verkrijgen waardoor de kans groot is dat er ook voor deze toepassing de juiste te vinden is. Ook een spoel op maat laten maken is een optie omdat de kosten bij grote afname kunnen dalen tot €10,- per stuk.

Het idee van de spoel is uitgewerkt tot onderstaande concepten.

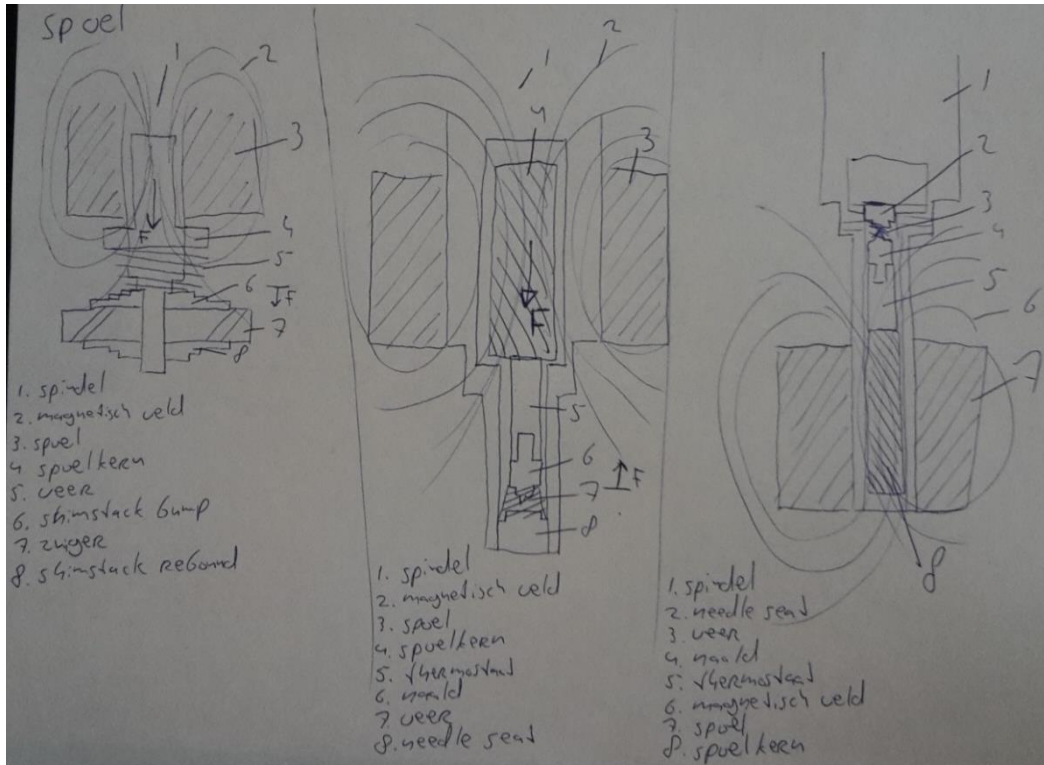


Figure 2 Concepten spoel

Beschrijving linker afbeelding (concept 3): In deze afbeelding is te zien dat de spoel er voor zorgt dat de spoelkern tegen een veer drukt. Deze veer zal de kracht doorgeven op de shimstack die er onder ligt en hiermee de voorspanning veranderen op deze stack. Door de voorspanning te veranderen kan de weerstand van de shims op de olie gereguleerd worden en hiermee de damping. Dit concept is wellicht ook zonder veer mogelijk omdat de spoelkern weggedrukt kan worden tegen de spoelkracht in. Of dit met of zonder veer beter is, is afhankelijk van de krachten die nodig zijn en gegenereerd worden.

Beschrijving middelste afbeelding (concept 4): in deze afbeelding is te zien dat de spoelkern binnen in de spindel zit. De spoel zal de spoelkern naar beneden drukken bij bekrachtiging en deze kracht zorgt voor een verplaatsing. De veer tussen de naald en de needle seat zal deze verplaatsing tegen willen gaan en drukt terug. Als de veerkracht en spoelkracht even groot zijn stelt zich een evenwicht in en zal de

doorgang tussen naald en needle seat constant blijven. Deze doorgang wordt door een andere stroom op de spoel veranderd en hiermee kan de demping gereguleerd worden.

Beschrijving rechter afbeelding (concept 5): deze afbeelding lijkt op het middelste concept, alleen is de spoel achter de zuiger en shims geplaatst waardoor de naaldverstelling omgedraaid wordt. Verder werkt dit concept hetzelfde als de vorige. Voordeel hiervan is dat het brede gedeelte van de spindel volledig beschikbaar is voor het maken van slag.

2.3.Kesselring

Bovenstaande concepten lijken allemaal haalbaar, maar om de beste eruit te vinden worden deze getest aan de hand van de Kesselring methode. Hierbij worden verschillende onderwerpen behandeld en deze worden beoordeeld met een punt van 1 tot 5, waarbij 1 onvoldoende is en 5 is perfect.

De onderwerpen die behandeld worden zijn de volgende:

- Integreerbaarheid. Hoe goed past de methode in de huidige schokdempers en hoe veel moet er aangepast worden om de werking te realiseren.
- Stabiliteit. Is de methode stabiel tussen de verstellingen in, of is deze zeer trilling gevoelig en kan de dempingswaarde zonder veranderende input wijzigen.
- Fragiliteit. Is de methode kwetsbaar, gaat het relatief snel kapot of is een storing goed mogelijk.
- Precisie. Hoe precies is de dempingswaarde te realiseren met de methode.
- Kosten. Hoe duur is de methode. Hierbij wordt vooral de aanschafwaarde bekeken en de aansturing.
- Gebruiksgemak. Om de methode aan te sturen is een bepaalde manier nodig. Is deze gebruiksvriendelijk voor ontwerper en gebruiker.
- Toepassingsgebied. Is de methode toepasbaar op alle soorten auto's, of is er een specifieke groep waarbij de methode (beter) past.

Niet elk onderwerp is even belangrijk, dus krijgt ieder onderwerp een weegfactor. Hoe hoger de weegfactor is, hoe meer de invloed is van het onderwerp op de totaalscore. De weegfactoren zijn de volgende:

- Integreerbaarheid: 3. Als het concept niet integreerbaar is dan is het geen goed concept en wordt deze niet verder bekeken.
- Stabiliteit: 2. De dempingswaarde moet constant zijn om een betrouwbare demping te geven. Als deze niet stabiel is dan kunnen de ontwerper en klant niet vertrouwen op het product.
- Fragiliteit: 3. Een kapot product heeft niemand iets aan, daarom is het zeer belangrijk dat het concept beschermd is tegen factoren die deze kunnen beschadigen.
- Precisie: 2. De dempingswaarde moet niet alleen stabiel zijn, maar ook exact vast te zetten zijn. Als de verstelstappen te grof zijn is de demper voor minder toepassingen een oplossing.
- Kosten: 1. De kosten worden doorberekend aan de klant. Als deze te hoog zijn dan worden de dempers te duur en neemt de vraag af. Omdat de prijzen van de methoden bij elkaar in de buurt liggen worden de kosten niet zeer belangrijk geacht.

- Gebruiksgemak: 2 De klant moet de demper eenvoudig kunnen verstellen en er weinig (extra) onderhoud aan doen. Dit maakt het product aantrekkelijker.
- Toepassingsgebied: 2 Als het concept maar voor een enkele toepassing bruikbaar is dan neemt het aantal mogelijke klanten af waardoor het concept minder interessant is voor doorontwikkeling.

Kesseling met weegfactoren												
Onderwerp	Weeg factor	Concept 1	Score	Concept 2	Score	Concept 3	Score	Concept 4	Score	Concept 5	Score	Maximaal
Integreerbaarheid	3	4	12	2	6	2	6	5	15	3	9	15
Stabiliteit	2	5	10	3	6	3	6	4	8	4	8	10
Fragiliteit	3	3	9	2	6	3	9	4	12	4	12	15
Precisie	2	5	10	4	8	3	6	4	8	4	8	10
Kosten	1	3	3	2	2	4	4	5	5	4	4	5
Gebruiksgemak	2	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	10
Toepassingsgebied	2	2	4	2	4	4	8	4	8	4	8	10
Totaal [%]			75		53		63		85		76	100

Uit de Kesseling methode blijkt dat concept 4 het beste lijkt te zijn. Toch kan dit nog niet met zekerheid geconcludeerd worden omdat de onderwerpen nog in twee groepen verdeeld kunnen worden, namelijk de fabricage onderwerpen en de klant onderwerpen. Deze moeten gescheiden worden omdat een concept wellicht gemiddeld goed scoort, maar voor de klant totaal onaantrekkelijk is, of juist zeer slecht scoort in de fabricage onderwerpen.

De onderverdeling in deze twee groepen is als volgt:

Fabricage:

- Integreerbaarheid
- Fragiliteit
- Gebruiksgemak

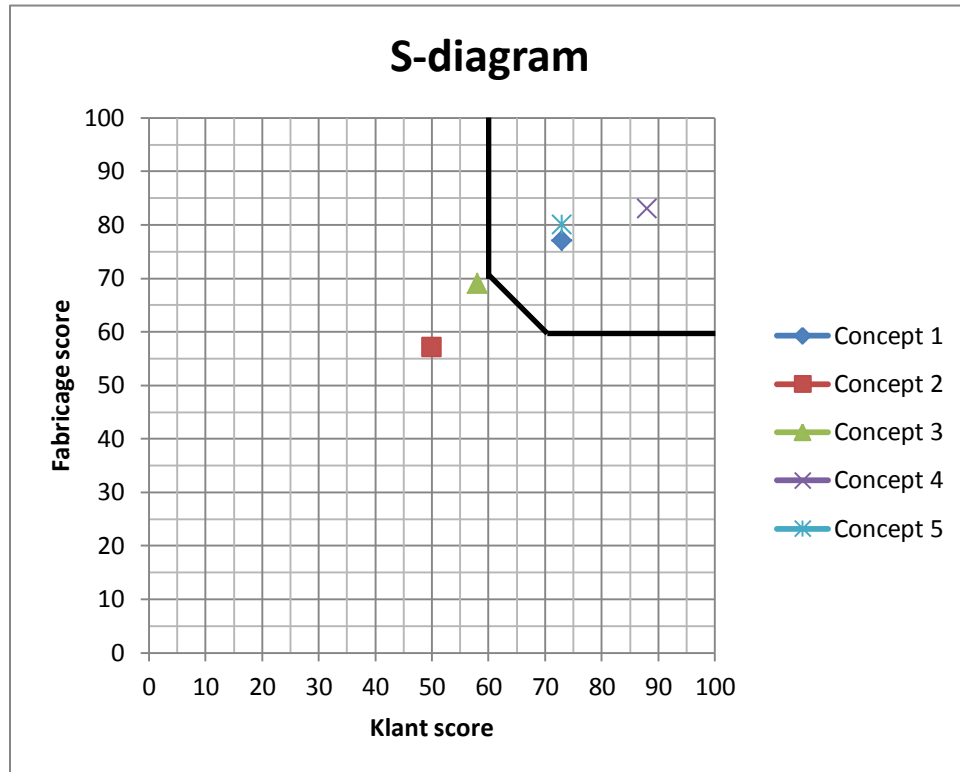
Klant:

- Stabiliteit
- Precisie
- Kosten
- Toepassingsgebied

De verschillende concepten komen dan tot de volgende fabricage- en klantscores:

Groep	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5	Maximaal
Fabricage	29	20	23	35	29	40
Klant	27	20	24	29	28	35
Fabricage [%]	73	50	58	88	73	100
Klant [%]	77	57	69	83	80	100

De scores van de twee groepen worden in onderstaande grafiek gezet. Dit is een S-diagram. In het S-diagram is een gebied vastgelegd waarbinnen een concept moet liggen om acceptabel te zijn. Daarbij wordt gesteld dat de minimale score per groep 60 moet zijn en het gemiddelde minimaal 65 moet zijn.



Door de vereiste minimale score van 60 vallen concept 2 en 3 af. Concept 2 komt in beide groepen niet aan de eis en concept 3 heeft een te lage klant score.

Concept 1 en 5 liggen dicht bij elkaar, maar concept 4 heeft in beide groepen de overhand. Er kan nu geconcludeerd worden dat concept 4 het beste concept is. Dit concept wordt gekozen voor verdere ontwikkeling.

3.Prototype

Het beste concept is gekozen aan de hand van de Kesselring methode en het S-diagram. Dit concept kan nu verder ontwikkeld worden om er een werkend prototype van te maken. Om de ontwikkeling goed te kunnen doen zal er eerst verder onderzoek gedaan moeten worden, met name naar spoelen en leveranciers hiervan.

3.1.Belasting

Alle componenten die gekozen worden om in het prototype gebruikt te worden moeten de extreme omstandigheden binnen in de schokdemper aankunnen. Denk hierbij aan hydraulische drukken, en trek- en drukkrachten. Ook zorgt de damping voor warmteontwikkeling.

Om een inzicht in de drukken binnen de schokdemper te krijgen wordt er gekeken naar het onderzoek van Bart van Dijk. (2017). 4-weg testschokdemper. In dit onderzoek zijn de drukken van de mechanisch verstelbare 4-weg testdemper van Intrax onderzocht. Dit is de demper die voorzien wordt van een elektrisch verstelmecanisme. Uit dit onderzoek blijkt dat in deze schokdemper onder maximale belasting piekdrukken ontstaan van 60 bar. Om de componenten extra te beschermen wordt over deze druk een veiligheidsfactor van $K = 1,5$ genomen. De piekdruk wordt hiermee gesteld op 90 bar.

De trek- en drukkrachten worden niet duidelijk uit dit onderzoek. Wel kan al bepaald worden waar de grootste krachten op werken. Deze krachten werken namelijk op de onderdelen die de grootste damping veroorzaken. Dit zijn de verstellers en de zuiger. Met name de zuiger zal veel weerstand opwekken omdat deze door de olie getrokken en gedrukt wordt. De zuiger zal deze kracht overbrengen op de spindel. De grootste kracht kan bepaald worden door de demper in de testbank te testen. Later in het verslag wordt hier op terug gekomen.

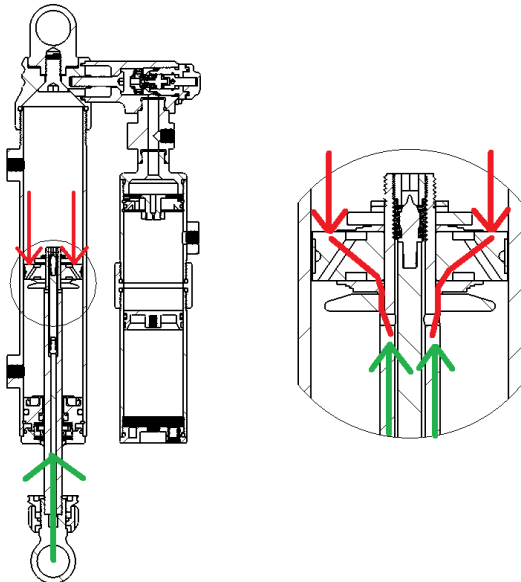
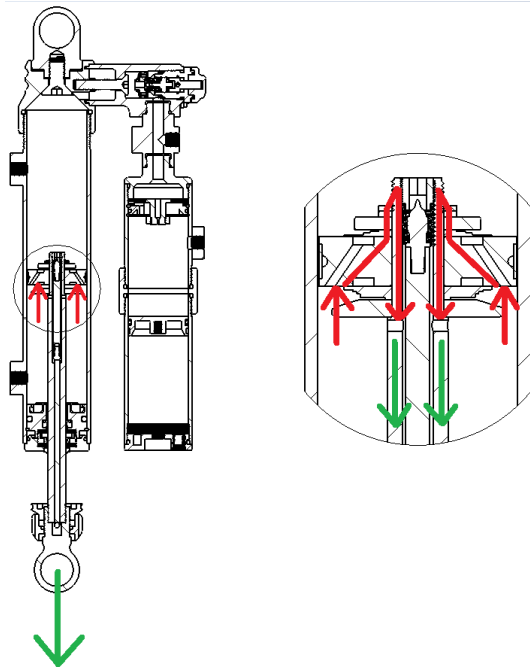


Figure 3 krachten in spindel

Bij bump wordt de demper ingedrukt, de groene pijl is deze kracht. Rood is de reactiekracht veroorzaakt door de weerstand tussen zuiger en olie. In de detailtekening is te zien hoe deze krachten door de zuiger en overige componenten heen geleid worden. De drukkrachten worden via het demperoog op de spindel doorgegeven, en de reactiekrachten worden via de zuiger en de shims op de spindel doorgegeven. In het geval van bump is de spindel het kritische onderdeel. Omdat deze hol is heeft deze het minste oppervlak om de krachten over te verdelen. Hierdoor is de kracht per oppervlak het grootst in de spindel.

Concept 4 heeft een spoel nodig. Om deze spoel te beschermen moet deze zo geïntegreerd worden dat deze geen drukkrachten hoeft te geleiden. Dit kan door de spoel om de spindel heen te bevestigen waardoor de krachten alleen via de spindel gaan en niet door de spoel.



Bij rebound wordt de demper langer getrokken. Hierdoor werkt de kracht in tegengestelde richting. De reactiekracht komt daardoor vanaf de andere kant van de zuiger. De krachten worden dan via de zuiger, door de bovenste shims en de sluitmoer naar de spindel geleid. De kracht komt uit op de schroefdraad van de sluitmoer en spindel. Hier is het oppervlak van de spindel het kleinste dus is dit het kritische punt bij rebound van de spindel. Het is eenvoudig de spoel hier uit de buurt te houden dus zal dit verder geen probleem opleveren bij de integratie van de spoel.

Figure 4 Krachten in spindel

Naast mechanische belasting kennen de Intrax dempers ook thermische belasting. De bewegingsenergie wordt omgezet in warmte, zo ontstaat de demping. Deze warmte wordt niet direct afgevoerd waardoor de dempers opwarmen. Een Intrax demper kan wel 90°C worden. Alle componenten die binnen in de demper gebruikt gaan worden zullen deze temperatuur binnen hun werkgebied moeten hebben.

3.2.Sun Hydraulics

Spoelen zijn er in oneindig veel soorten en maten, daarom is het van belang een juiste leverancier te vinden die toepasselijke spoelen kan leveren voor dit prototype. Na veel zoeken en contact leggen is de Amerikaanse firma Sun Hydraulics naar voren gekomen. Sun Hydraulics is een bedrijf dat zich specialiseert in het maken en aansturen van hydrauliek spoelen. Daarbij bieden ze eenvoudige open/dicht spoelen, maar ook proportionele spoelen. Deze proportionele spoelen zijn te verkrijgen in een drukvariabele- en een doorstroomvariabele variant. In dit prototype is het de bedoeling dat bij variabele druk de doorstroom geregeld wordt zodat de demping bij dezelfde instelling constant blijft. Hierdoor is er gekozen voor doorstroomvariabele spoelen.

Sun biedt naast de spoelen ook de ventielen, door hun cartridges genoemd, die aangestuurd worden door de spoelen. Samen vormen ze een unit die in een ventielenblok geschroefd kan worden om zo een (olie)stroom te controleren, zie Figure 5. Volgens Sun zijn de cartridges stabiel tot een druk van 350 bar, dit is veel hoger dan de maximale 90 bar die in de testdemper



Figure 5 Spoel en cartridge

optreedt. Daarnaast hebben ze een werkgebied van -30°C tot 110°C.



De aansturing van de spoel is nog een aantrekkelijk punt van Sun Hydraulics. Ze hebben een driver ontwikkeld die het mogelijk maakt om de spoelen aan te sturen door bijvoorbeeld een potentiometer, en de output van de driver naar de spoel is in te stellen via een mobiele app. De driver is aan te sluiten op een accu, en via bluetooth kan er verbinding gemaakt worden tussen de driver en een mobiel apparaat. Deze driver is de XMD-01 en is in Figure 6 te zien.

Figure 6 Sun Driver

In samenwerking met Doedijns BV, de Nederlandse distributeur van Sun Hydraulics onderdelen, is een lijst met onderdelen samengesteld die nodig zijn om het prototype te kunnen bouwen.

Volgens Doedijns zijn de volgende onderdelen nodig om een prototype te kunnen bouwen:

- Cartridge (1) FPBI XDN
- Spoel (2) 740212 LD
- Driver (3) XMD-01

De cartridge is de kleinste in hun assortiment, waardoor de benodigde ruimte minimaal is. De spoel is de kleinste die in combinatie met de cartridge kan werken en de driver is de eenvoudigste van de twee die ze aanbieden.



Figure 7 Prototype benodigheden

Deze onderdelen zijn besteld geworden en daarna is met de integratie van de onderdelen begonnen. Dit is te vinden onder het kopje '3.3.3 Integratie cartridge'.

3.3. Werking componenten

Het integreren van de Sun componenten kan nog niet beginnen. Eerst moet de exacte werking ervan onderzocht worden zodat de juiste integratie toegepast kan worden.

3.3.1. Elektronica

De spoel is eenvoudig over de cartridge heen te schuiven en wordt met een kunststof moer op zijn plek gehouden. De spoel is voorzien van een stekker met vier pennen, een DIN 43650 A stekker, zie afbeelding.

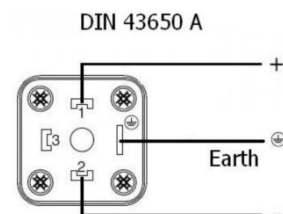


Figure 8 DIN 43650 A stekker

Pen 1 en pen 2 zijn bedoeld voor de plus en min aansluiting. Indien nodig kan op de rechte pen een aardkabel aangesloten worden, maar met de driver is dit niet nodig. Pen 3 blijft onbenut.

De driver is voorzien van twaalf pennen. Niet elke pen wordt benut. In onderstaand schema is te vinden welke pen waarvoor dient.

Pen nr.	Functie	Omschrijving
1	CAN_LO	Niet gebruikt
2	CAN_HI	Niet gebruikt
3	GND (Output & 5Vref)	-pool 5V Potentiometer
4	-	
5	GND (Output & 5Vref)	-pool spoel (solenoid)
6	PWM Output, Coil A	+pool spoel (solenoid)
7	Supply GND	-pool voeding (accu)
8	Supply PWR	+pool voeding (accu)
9	Enable	+pool startonderbreker (accu)
10	+5 Vref (250 mA max)	+pool 5V Potentiometer
11	Universal Input 1	0-5V variable uit Potentiometer
12	-	

Pen 1 en 2 zijn voor een CAN bus, deze wordt in het prototype niet gebruikt omdat het geen meerwaarde heeft. De CAN aansluitingen worden pas bij een terugkoppel systeem gebruikt, iets wat Intrax niet wil maken aangezien de race reglementen het niet toelaten.

Zoals in het schema te zien is, is er een potentiometer nodig. De potentiometer bepaalt een signaal tussen 0 en 5V waarmee de driver een uitgangssignaal berekend voor de spoel. Via de app kan dit uitgangssignaal ingesteld worden.

De potentiometer is voorzien van drie aansluitingen, een + pool, een – pool en een uitgangssignaal. Als er nog een 12V accu bijgenomen wordt zijn alle componenten compleet. Hieronder volgt het elektrisch schema voor de aansturing van de spoel. In Figure 9 zijn de volgende onderdelen te zien: In het midden de driver met 12 polen, links de potentiometer, boven de spoel en onder de accu.

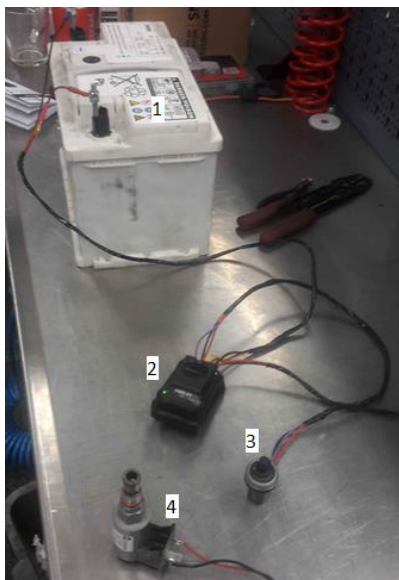


Figure 10 elektrisch systeem

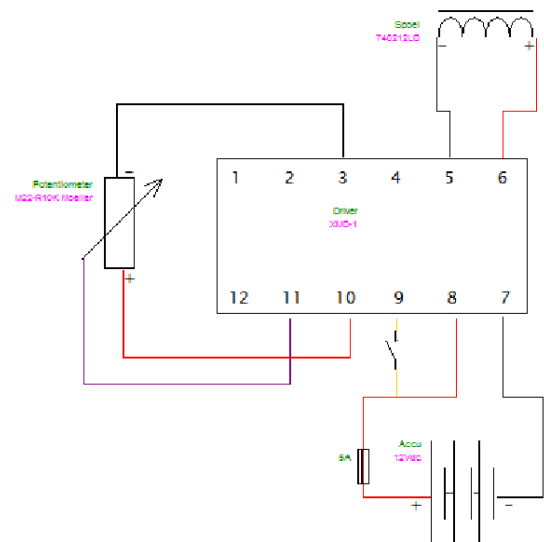


Figure 9 Elektrisch schema XMD-01

Om de driver te beschermen is er een 5A zekering tussen de voeding en de driver geplaatst.

Met dit schema als basis is een kabelboom gemaakt voor de aansturing van de spoel (Figure 10).

Deze kabelboom bevat de aansluiting naar de accu (1), de driver (2), de potentiometer (3) en de spoel met cartridge (4).

De rode voedingskabel (pen 8) is doorverbonden met de gele kabel (pen 9). Op de tekening staat er een schakelaar tussen, maar deze is niet aanwezig. Dit is bewust gedaan omdat de driver altijd hoort te werken als deze op de accu is aangesloten. De schakelaar zou nodig zijn om de driver uit te schakelen zonder de voeding weg te nemen, maar aangezien de accu alleen erbij genomen wordt als de driver ook moet werken is deze direct doorverbonden.

Door aan de potentiometer te draaien kan een signaal naar de spoel gestuurd worden tussen 0 en 0,8A. Bij 0A is de doorgang maximaal en bij 0,8A is de doorgang minimaal, dicht. Er kan tot drie decimalen nauwkeurig elke stand hiertussen gekozen worden. De stand is af te lezen op het display van het mobiele apparaat. Op de afbeelding hiernaast is dit te zien. de potentiometer staat op de waarde 2,544V, en de driver heeft dit omgezet in een signaal van 395 mA naar de spoel. De spoel is dus voor bijna 50% bekrachtigd.

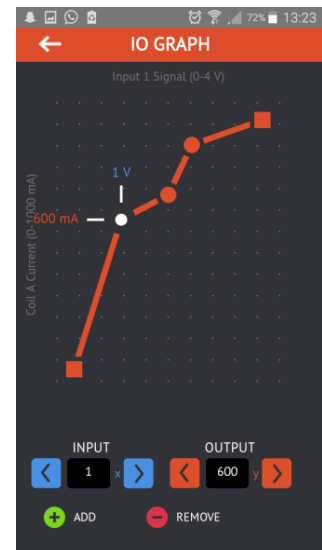
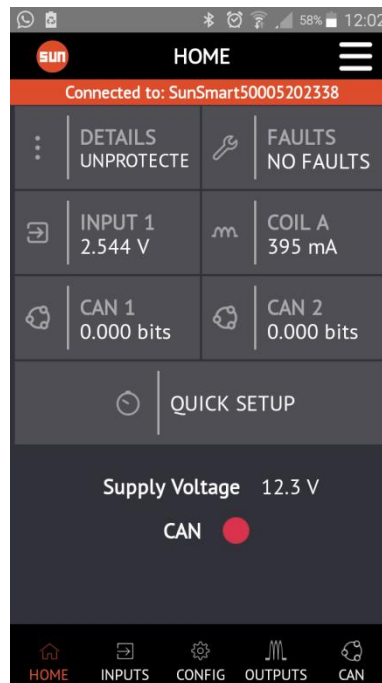


Figure 12 Sun app grafiek

Figure 11 Sun app

Het input signaal is te regelen met de potentiometer, dit is variabel van 0 tot 5V.

ingesteld worden voor alle waarden tussen 0 en 0,8A, afhankelijk van het inputsignaal. Als er niets ingesteld wordt dan is het verloop van 0 tot 5V recht evenredig met 0 tot 0,8A. In de app kunnen extra punten ingegeven worden tussen deze waarden, zodat bijvoorbeeld van 0 tot 2V een lineaire stap gemaakt wordt van 0 tot 0,6A, en dat vanaf 2 tot 5V een lineaire stap gemaakt wordt van 0,6 tot 0,8A. Er kunnen oneindig veel punten aangemaakt worden en tussen twee punten is de lijn altijd lineair. In de afbeelding hiernaast zijn drie tussenpunten opgenomen, waarbij het eerste punt is genomen op 1V met een stap van 600mA tussen 0 en 1V.

het output signaal kan

3.3.2. Verstelling

De elektrische aansturing van de spoel is bekend. Nu is het van belang om uit te zoeken wat er intern precies gebeurt. Als de spoel bekrachtigd wordt is te zien dat in de cartridge de verstelpen op en neer beweegt, maar wat er allemaal intern gebeurt is onbekend. Daarvoor is de cartridge open gemaakt. In de afbeelding zijn alle componenten genummerd. Voor een beschrijving per onderdeel zie de bijlagen.



Figure 13 cartridge componenten

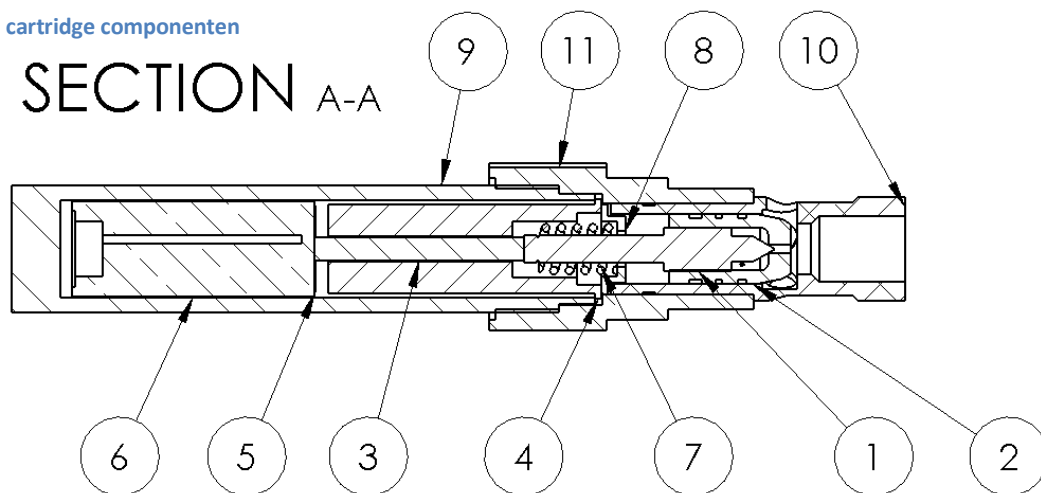


Figure 14 cartridge componenten 2D

- | | |
|---------------|--------------------|
| 1. Naald | 7. Veer |
| 2. Verstelpen | 8. Veerschotel |
| 3. Drukstift | 9. Spoelhuis |
| 4. Geleider | 10. Verstelpenhuis |
| 5. Shim | 11. Koppelstuk |
| 6. Spoelkern | 12. Sluitmoer |

Als de spoel bekrachtigd wordt zal er een magnetisch veld ontstaan. Dit magnetisch veld drukt de spoelkern (6) naar rechts. De spoelkern zal de drukstift (3) net zo naar rechts drukken. Deze drukstift bevindt zich in de geleider (4). Tussen de spoelkern en de geleider bevindt zich een shim (5), deze is aangebracht om de mogelijke verplaatsing aan te passen naar een door Sun vastgestelde waarde. De geleider zit ingeklemd tussen het spoelhuis (9) en het koppelstuk (11) waardoor deze niet kan meebewegen. Deze zorgt er alleen voor dat de drukstift in een rechte lijn beweegt en goed tegen de naald (1) aandrukt. Als de naald naar rechts bewogen wordt zal de veer (7) ingedrukt worden tegen de veerschotel (8). De drukkracht van de spoelkern zal een evenwicht instellen met de veer en zo de doorgang tussen de verstelpen (2) en het verstelpenhuis (10) vaststellen. Deze doorgang is het te verstellen gebied. Hierdoor wordt de damping bepaald in het prototype. In het midden van de verstelpen zit een klein gaatje. Dit gaatje zit er om drukverschillen tussen voor en achter de verstelpen

op te vangen. Als er drukverschil is kan er olie door dit gaatje ontsnappen en het verschil opheffen. Hierdoor wordt de verstelling druk onafhankelijk. Dit noemt Sun hun 'zwevende verstelling'.

De werking van de cartridge is nu duidelijk, waardoor er onderzocht kan worden hoe deze in de bestaande demper verwerkt moet worden.

3.3.3.Integratie cartridge

De onderdelen van de cartridge die kritisch zijn voor de werking ervan kunnen niet aangepast worden, omdat het namaken hiervan tot problemen kan leiden aangezien de toleranties niet bekend zijn. In een later stadium is dit wellicht wel mogelijk, maar voor de eerste testopstelling zal de standaard werking van de Sun componenten gebruikt worden.

De onderdelen die niet aangepast kunnen worden zijn nummers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 en 8.

Dan blijven onderdelen 9, 10, 11 en 12 over. Dit zijn de onderdelen die van buitenaf te zien zijn.

Aan de kant van de cartridge waar de oliestroom plaatsvindt zal een manier gevonden moeten worden om de zuiger en het shimpakket te bevestigen. Daarbij zijn enkele concepten gevonden.

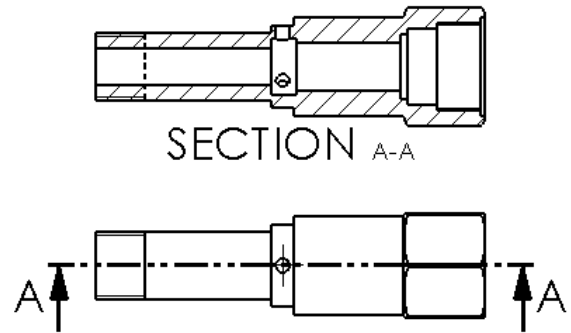
1. Draad tappen in het verstelpenhuis. Hierdoor kan er een onderdeel dat lijkt op het eindstuk van een normale Intrax spindel in gedraaid worden. Op dit onderdeel kan dan het shimpakket en de zuiger bevestigd worden.
2. Draad snijden om het verstelpenhuis. Dit heeft dezelfde functie dan het eerste concept alleen door de grotere diameter kan een grotere sterkte verkregen worden.
3. De aanwezige M16x1,5 draad gebruiken. Deze draad is bedoeld om de cartridge in een ventielenblok te draaien, maar hier kan ook een ander onderdeel opgeschroefd worden.
4. De aanwezige M16x0,75 draad gebruiken. Dit betekent dat niet alleen het verstelpenhuis maar ook het koppelstuk vervangen zullen worden. Het binnenwerk van het vervangend deel zal dan hetzelfde worden als het binnenwerk van de cartridge en het buitenwerk zal na de zijwaartse gaten hetzelfde zijn als van een Intrax spindel.

Al deze concepten kennen problemen. Concept 1 en 2 zorgen voor te veel lengte waardoor er te weinig slag over blijft om te testen. Hier is 1 inch (25,4mm) voor nodig maar met deze concepten zal er maximaal 15mm overblijven.

Concept 3 zorgt voor een te grote diameter, waardoor het shimpakket en de zuiger van de mechanisch verstelbare testdemper niet meer gebruikt kan worden. Hierdoor zal de test geen vergelijkbare resultaten geven en valt dit concept dus af. Concept 4 lijkt de grootste kanshebber op succes, maar de wanddikte is erg dun door de schroefdraad dus moet dit berekend worden.

Concept 4 is uitgewerkt in 3D om de haalbaarheid ervan te testen. Het concept is hieronder te zien.

Het rechterdeel van dit concept is gelijk aan de cartridge, inclusief het hexagonale deel voor een steeksleutel 19. Vanaf de kleine gaten naar links is het gelijk aan een Intrax spindel. Met dit concept wordt er de minste slag ingeleverd, de resterende slag bedraagt 32mm. Ook is de diameter geen probleem, aangezien het eindstuk hetzelfde is als een spindel en een



bijkomend voordeel is dat er twee onderdelen vervangen worden door een **Figure 15 Concept M16x0,75** enkel onderdeel. Minder onderdelen betekent sneller (de)monteren en er zijn minder afdichtingen nodig.



In het midden is de wanddikte erg dun. 1mm bedraagt de wanddikte op het dunste stuk. Om te bepalen of dit voldoende is, is het nodig om te weten welke krachten er op het onderdeel komen te staan. Uit de test met de mechanisch verstelbare demper blijkt de maximale trekkracht op de zuiger 5113 N te zijn, dit is te vinden in het onderwerp “4.1. Mechanische demper”.

Aan de hand van een simulatie is bepaald of het concept sterk genoeg is om de trekkracht aan te kunnen.

Figure 16 Concept M16x0,75 Bijkomende kracht is de trekkracht gegenereerd door de sluitmoer. Deze wordt met een aanhaalmoment van 25 Nm vastgezet waardoor er extra trek in de spindel ontstaat. De uitwerking van de simulatie en berekening is te vinden in de bijlagen. Het concept blijkt een veiligheidsfactor van $K = 2,94$ te hebben op deze kracht dus wordt geconcludeerd dat het onderdeel sterk genoeg is.

Aan de andere kant van de cartridge zal de rest van de spindel bevestigd



moeten worden om de zuiger aan het demperoog te bevestigen. Ook **Figure 17 spindel dwarsdoorsnede** moeten de kabels aan de spoel hierdoor naar buiten geleid worden. Dit is gedaan door de sluitmoer weg te laten, en de daardoor beschikbare draad ook in de spindel te tappen. De spindel is buitenwerks $\varnothing 18\text{mm}$ waardoor dit net past. Er blijft wederom een wanddikte van 1mm over waardoor ook dit onderdeel doorgerekend is. De berekening is te vinden in de bijlagen. Achter de schroefdraad is een ruimte geboord om de kabels eenvoudiger door de spindel heen te leiden. De spindel is voorzien van twee kleine gaatjes waar de kabels net doorheen passen. De kabels zijn $\varnothing 2,3\text{mm}$ en de gaten zijn $\varnothing 2,4\text{mm}$.

De onderdelen zijn ontworpen, gesimuleerd en berekend op sterkte dus kan de elektrisch verstelbare spindel gemaakt worden. Het resultaat is hieronder te zien.

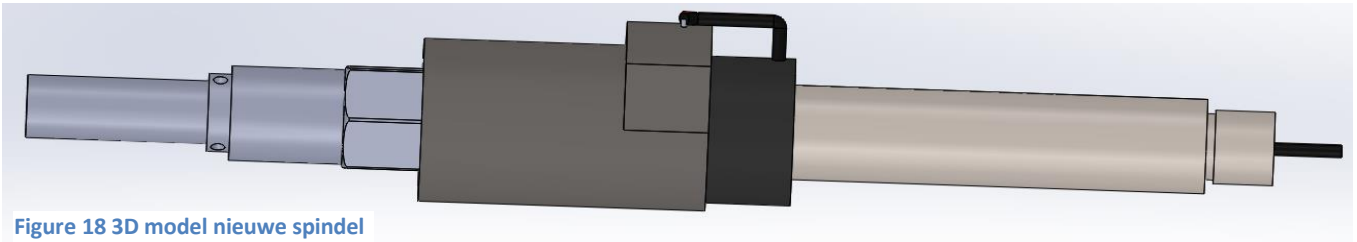


Figure 18 3D model nieuwe spindel

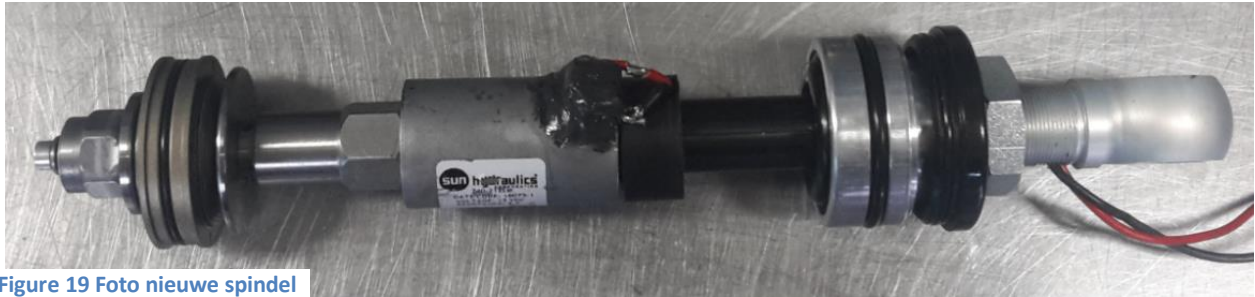


Figure 19 Foto nieuwe spindel

Er is nog een onderdeel te zien dat nog niet aan bod gekomen is. Het zwarte onderdeel waar de kabels doorheen lopen voordat ze de spindel ingaan. Dit is de kabelbeschermers, deze zorgt ervoor dat de kabels niet afgeknipt worden als de demper te ver ingedrukt wordt. Deze is gemaakt van kunststof.

Op de foto zijn alle overige componenten ook te zien die op de mechanische testdemper ook bevestigd waren. Omdat deze niet aangepast of veranderd zijn, zijn ze weggelaten in de tekening.

De connector van de spoel is weggehaald, dit omdat het geheel anders niet in de demperbuis zou passen. De kabels binnen in de connector zijn voorzichtig blootgelegd en daarna zijn de rode en zwarte kabel er aan gesoldeerd. De elektrische verbindingen zijn bedekt met een laag twee componenten epoxy hars. Hierdoor zijn ze beschermd tegen externe factoren en elektrisch geïsoleerd. Ook is binnen in de spindel de afdichting gerealiseerd met epoxy hars. De berekening hiervan is te vinden in de bijlagen.

3.4. Prototype bouw

De spindel is klaar, en de rest van de demper is hetzelfde gebleven. Dat betekent dat de demper geassembleerd kan worden. Aan de buitenkant is er maar een verschil waarneembaar: De verstelknop is vervangen door twee kabeltjes waar de kabelboom en externe componenten aanhangen.

Door de spoel in de spindel te verwerken is er veel slag ingeleverd. De mechanisch verstelbare demper heeft een slag van 132mm, de elektrisch verstelbare demper heeft een slag van 32mm.

Het verschil in slag is dus 100mm. Dit komt voornamelijk door de lengte van de spoel, dit kost veel slag. Ook het verstelmechanisme wat zich tussen de spoel en de zuiger bevindt neemt veel ruimte in beslag. Tot slot is er nog de kabelbeschermer die ook plaats inneemt. Hoe dit op te lossen is volgt in het hoofdstuk "6 Aanbevelingen".

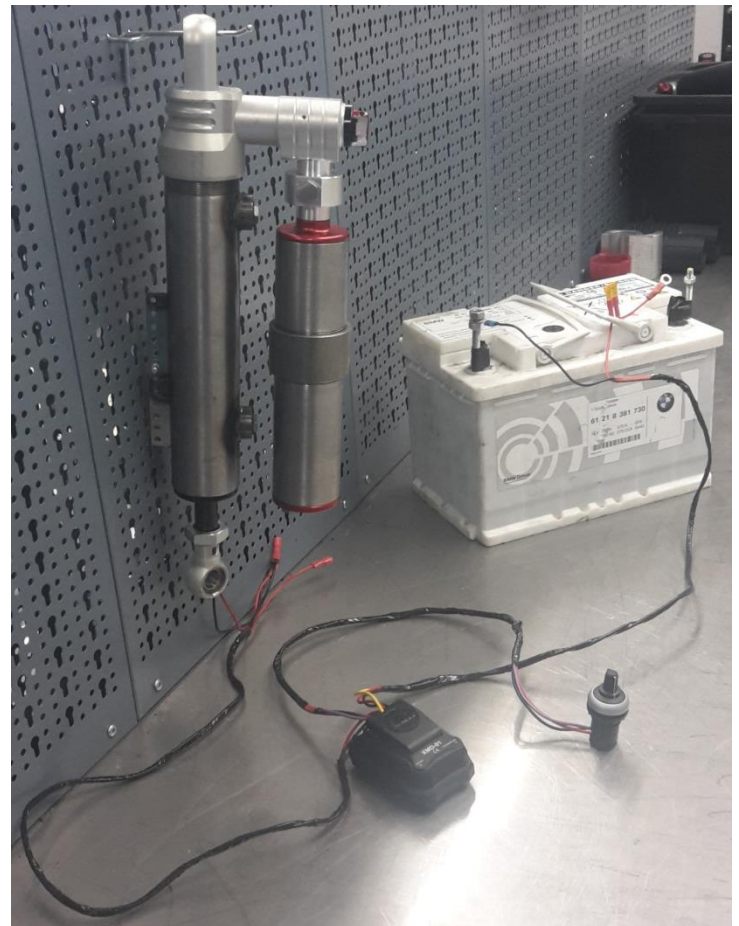


Figure 21 Prototype

4. Testen

Intrax zorgt ervoor dat elke demper op de testbank geweest is voordat deze de deur uitgaat. Door elke demper te testen wordt de kwaliteit gegarandeerd. Uit de testbank rollen de dempingswaarden, en deze worden vergeleken met de gewenste waarden. Als de demping zich binnen 5% van deze waarden bevindt wordt de demper goedgekeurd. De 5% marge mag genomen worden omdat dit op te vangen is met de verstellingen.

Ook het prototype zal op de testbank belanden. Het testen van de demper zal laten zien of de elektrische verstelling voldoet aan de eisen die vooraf opgesteld zijn. Voor de tests wordt de testbank van Intrax gebruikt, dit is een SPA Dynanometer, zie afbeelding. De demper wordt boven en onder ingeklemd, waarna de demper een stuk ingedrukt moet worden zodat deze midden in zijn werkgebied staat. Gebeurt dit niet dan kan de demper tijdens het testen tegen zijn einde aanlopen en verkeerde data opleveren, of zelfs beschadigd raken.



Figure 22 SPA Dynanometer

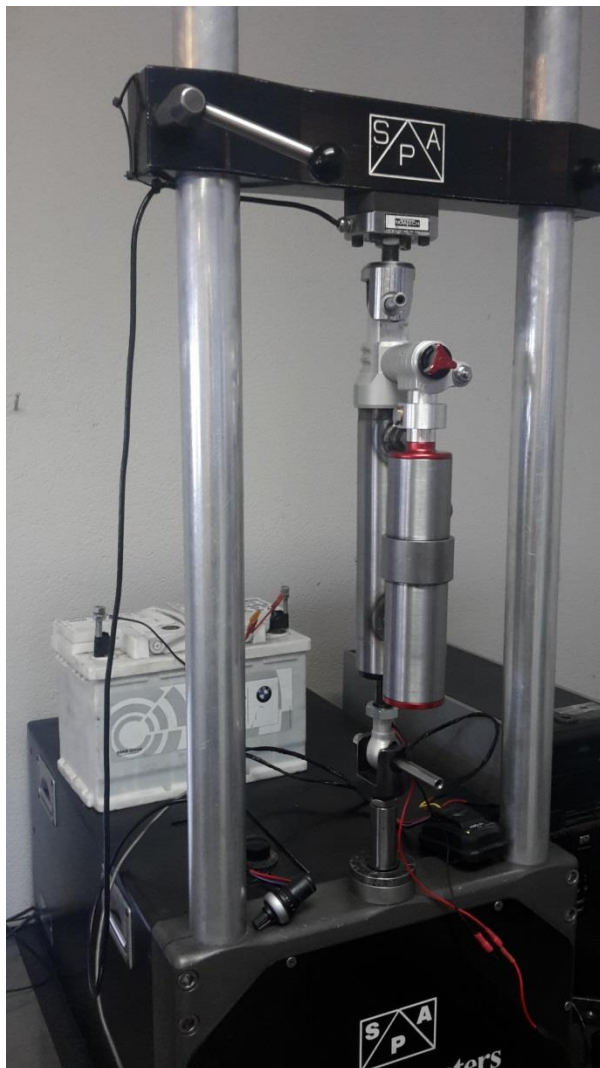


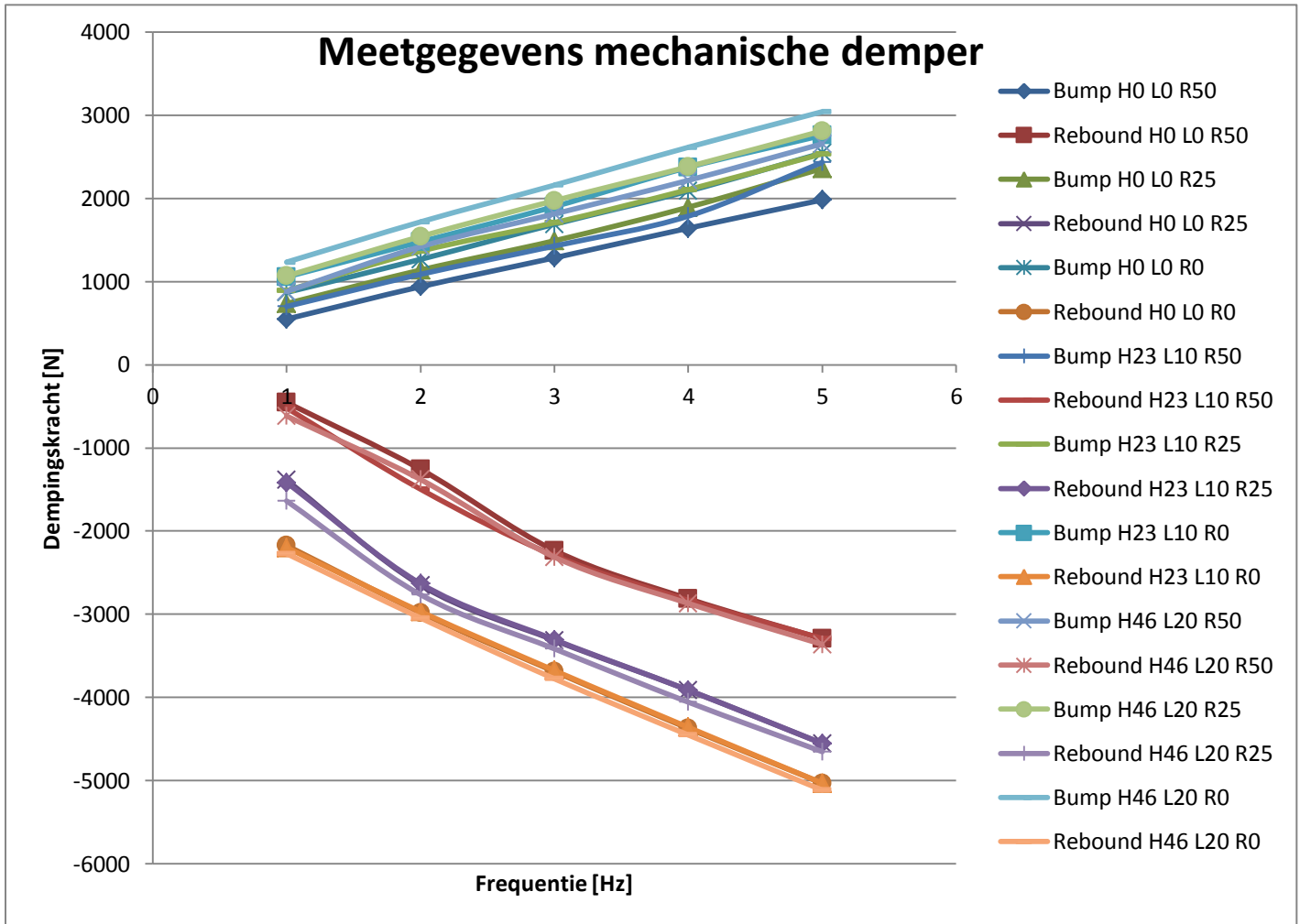
Figure 23 Prototype in testbank

Als de demper ingespannen is wordt deze met knopbediening eerst warmgedraaid zodat de olietemperatuur oploopt naar gebruiksgebied. Als dit niet (goed) gebeurt zal de olie door de eerste paar tests verder opwarmen waardoor de resultaten niet goed te vergelijken zijn. Door het opwarmen verandert de viscositeit namelijk en zal de demping bij warmere olie afnemen. Als de demper op bedrijfstemperatuur is kan de voorgeprogrammeerde test doorlopen worden. Deze temperatuur is onbekend omdat per demper en situatie het temperatuurevenwicht anders kan zijn. Dit programma zal de demper testen op de frequenties 1 t/m 5 Hz. Daarbij wordt de kracht gemeten die nodig is om deze frequenties te halen. Deze kracht is gelijk en tegengesteld aan de dempingskracht. Van deze kracht wordt een grafiek gemaakt waaruit de krachten af te lezen zijn.

4.1. Mechanische demper

De elektrische demper is nu ontworpen en de onderdelen zijn gemaakt. Toch kan deze demper nog niet geassembleerd worden omdat er eerst getest moet worden met de originele demper, de mechanisch verstelbare demper.

Deze demper is in de testbank gezet en geeft de volgende resultaten:



Boven de x-as is het bump gebied, indrukken demper is positieve richting. Onder de x-as is het rebound gebied, trekken aan demper is negatieve richting.

In de legenda zijn de verschillende tests te zien. Er staat bij vermeld of het de bump of rebound kracht is, en hoe de verstellers ingesteld zijn. H0 betekent hoge frequentie versteller op 0 clicks, helemaal open. H46 betekent hoge frequentie versteller op 46 clicks, helemaal dicht. L0 is lage frequentie versteller helemaal open, en L20 is lage frequentie versteller helemaal dicht. De rebound versteller werkt andersom. Daarbij is 0 helemaal dicht en 50 helemaal open.

Aan het verloop van de bump lijnen is te zien dat per verstelling de lijn een beetje naar boven verschuift, hiermee is zeer precies de gewenste demping in te stellen.

De rebound lijnen vertonen groepjes van drie. Er blijkt dat de hoge en lage frequentie instellingen nauwelijks invloed hier op hebben en dat de rebound lijnen met dezelfde rebound instellingen boven op elkaar liggen. Dit maakt dat de rebound zorgvuldig te kiezen is onafhankelijk van de bump instellingen.

Met deze test zijn er steeds stappen gemaakt van 50% van de complete verstelmogelijkheden. Tussen deze stappen zijn nog 10 tot 25 extra verstelmogelijkheden. Deze zijn niet getest omdat het verloop van deze resultaten voldoende laat zien hoe de verstelling zich gedraagt, namelijk de bump verloopt lineair toenemend en de rebound verloopt degressief afnemend.

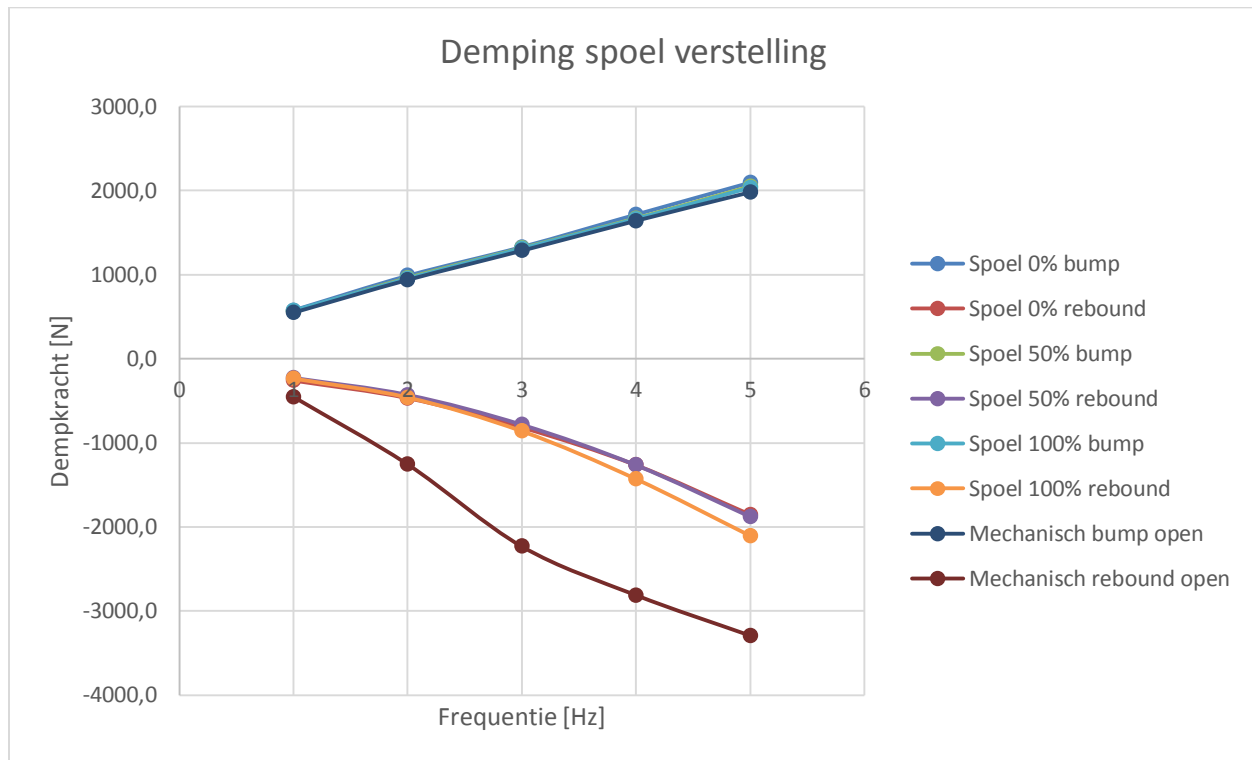
Met de elektrisch verstelbare demper wordt gepoogd zo dicht mogelijk in de buurt van deze resultaten te komen. Mocht dit niet mogelijk zijn dan is wel vereist dat het verloop van de lijnen in de buurt komen. Mocht dit ook niet het geval zijn dan blijkt dat het gekozen verstelmechanisme niet kan voldoen aan de eisen.

4.2. Elektrische demper

De nulmeting is gedaan en dus is er een richtlijn.

4.2.1. Test controle verstelling

De elektrische demper heeft voor de eerste test het volgende doorlopen: Beide bump verstellingen helemaal open (0), en de elektrische bekrachtiging van de spoel gevarieerd tussen 0, 50 en 100%. Dit geeft de volgende resultaten:



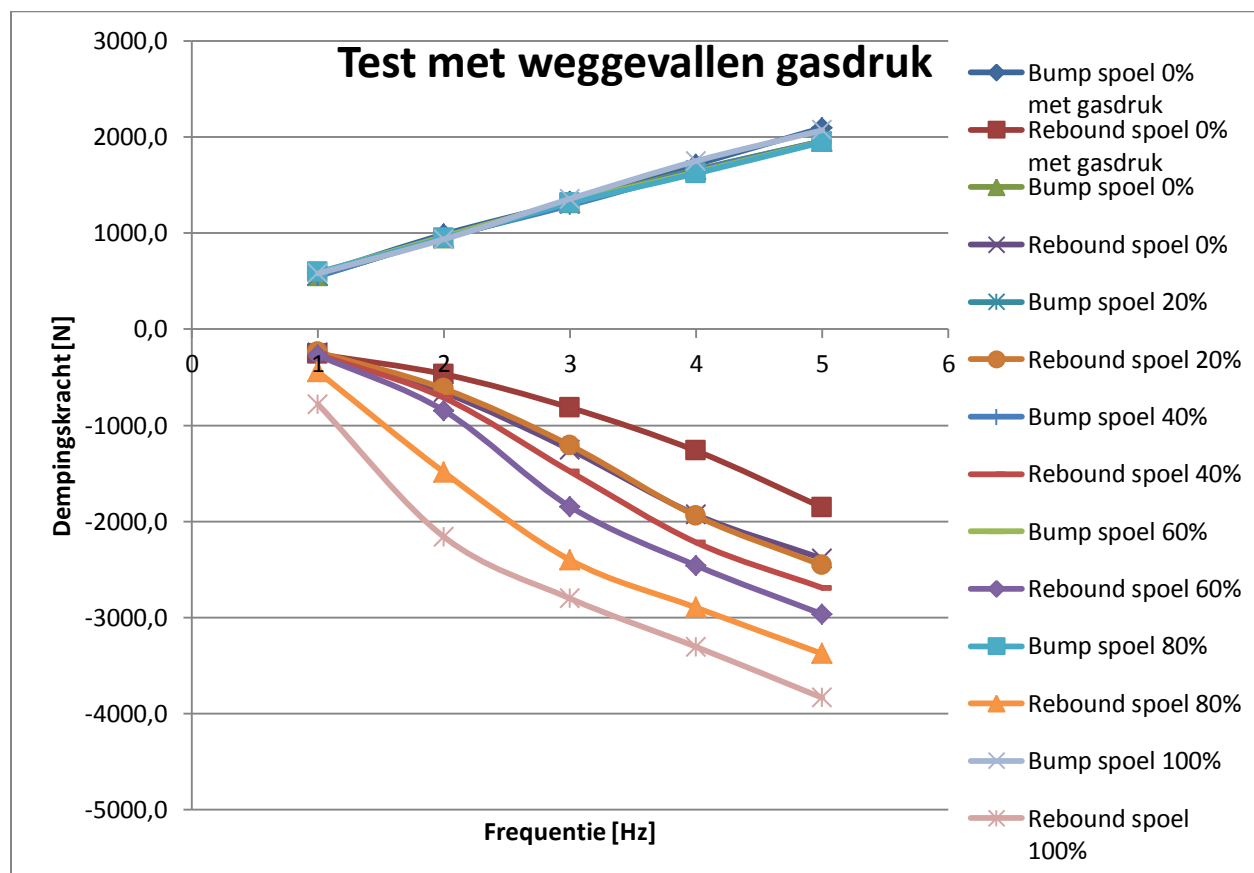
In de resultaten is ook de damping van de mechanische demper meegenomen met de bump en rebound open.

Bij de bump valt op dat alle vier de lijnen over elkaar heen liggen. Spoel 0% bump en Mechanisch bump open horen ook over elkaar te liggen, want dit is dezelfde instelling. Maar de spoel 50% bump en spoel 100% bump liggen ook over elkaar. Uit de data van de mechanische demper blijkt dat de rebound verstelling ook een kleine invloed heeft op de bump. Dit is bij de elektrische demper niet het geval. Dat wil zeggen dat het verstelmecanisme zelfs bij 100% niet voldoende weerstand biedt om de bump te beïnvloeden.

De route die de olie via de bypass tijdens bump moet volgen is door het kleine gaatje in de bout en dan door de verstelling heen. Omdat de damping zelfs bij 100% niet verandert betekent dit dat het kleine gaatje ook dan nog de beperkende factor is in de stroming. Bij 100% bekrachtiging is de doorgang om de verstelling heen dus nog groter dan het gaatje. Dit zou niet mogelijk moeten zijn dus is de verwachting dat de verstelling toch niet volledig aansluit bij 100% bekrachtiging. Of de verstelling faalt onder bump en wordt aan de kant gedrukt.

Bij rebound valt op dat de waardes totaal niet in de buurt komen van de mechanische rebound demping. De verklaring hiervoor is dat het verstelmecanisme veel te groot is waardoor er weinig tot geen extra weerstand wordt opgewekt. Bewijs hiervoor is dat bij 50% bekrachtiging de dempingswaarden gelijk zijn aan de 0% bekrachtiging waarden. Bij volledige bekrachtiging is een kleine toename in de demping te zien. Het systeem werkt dus wel, maar heeft weinig invloed op het systeem.

Na dataverwerking is bovenstaande test nogmaals uitgevoerd. De data bleken bij de tweede keer testen totaal anders te zijn. Achteraf werd duidelijk dat de gasdruk weggevallen was. Deze was gedaald van 16 bar naar ongeveer 4 bar. Toch is dit geen verklaring voor het anders zijn dan de testdata. De gasdruk zorgt namelijk alleen voor het tegengaan van cavitatie. Waarschijnlijk is door het rusten van de demper ergens in het verstelmecanisme een luchtbel ontsnapt waardoor het mechanisme zijn werk beter kon doen. De resultaten zijn hieronder te zien.



In de grafiek is te zien dat de bump constant blijft, op de laatste meting na. Bij 100% spoelbekrachtiging wordt de bump demping ook in kleine mate vergroot door het mechanisme.

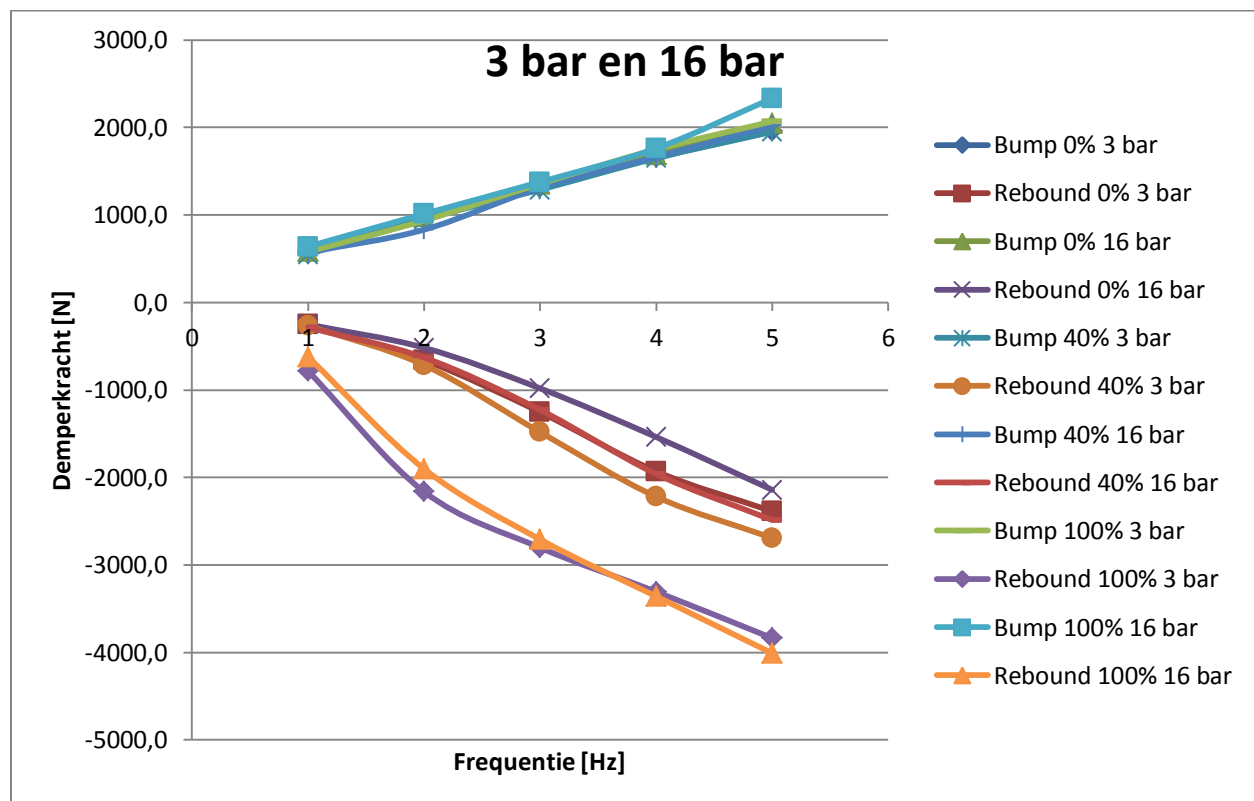
De rebound ziet er veelbelovend uit. Als de spoel niet bekrachtigd is, is het verschil tussen de eerste en tweede test aanzienlijk te noemen. Door alleen het wegvallen van de gasdruk en waarschijnlijk betere ontluchting van de verstelling neemt de demping met gemiddeld 30% toe. Als de spoel 20% bekrachtigd is, heeft dit geen verder effect op de demping. de verstelling is tot hier dus niet van invloed op de demping.

Vanaf 40% bekrachtiging zijn er verschillen te zien met onbekrachtigde spoel. Er zijn in iedere toename van bekrachtiging ook duidelijke stappen te zien in toename van de demping. Bij volledige bekrachtiging van de spoel is de demping gemiddeld twee keer zo hoog als bij onbekrachtigde spoel.

Als deze resultaten vergeleken worden met de mechanische demper dan blijkt dat er nog veel demping tekort gekomen wordt. Uit de resultaten blijkt dat met de spoel 75% van de demping gegenereerd wordt die bij de mechanische verstelling bereikt wordt. Bij een frequentie van 1 Hz wordt maar 40% van de demping bereikt.

In de nozzle van de elektrische versteller zit een klein bleedkanaal met een diameter van 0,3mm. wellicht dat dit een verklaring is voor het tekort komen van de overige demping.

Omdat de gasdruk afgenomen was, is de test nogmaals gedaan met gasdruk. De resultaten vertonen gelijke waarden met de test met afgenomen gasdruk. Er zijn wel enkele uitschieters naar boven bij de rebound demping. wellicht dat door de hoge gasdruk de bleed van de nozzle minder goed toegankelijk is voor de olie. Bij de lagere frequenties is de rebound gemiddeld zo'n 10% lager. Reden hiervoor kan zijn dat de druk ervoor zorgt dat de versteller tegen zijn stand teruggedrukt wordt en zo de doorgang iets groter wordt, terwijl bij lage gasdruk de verstelling iets meer de doorgang kan blokkeren door de lagere weerstand.

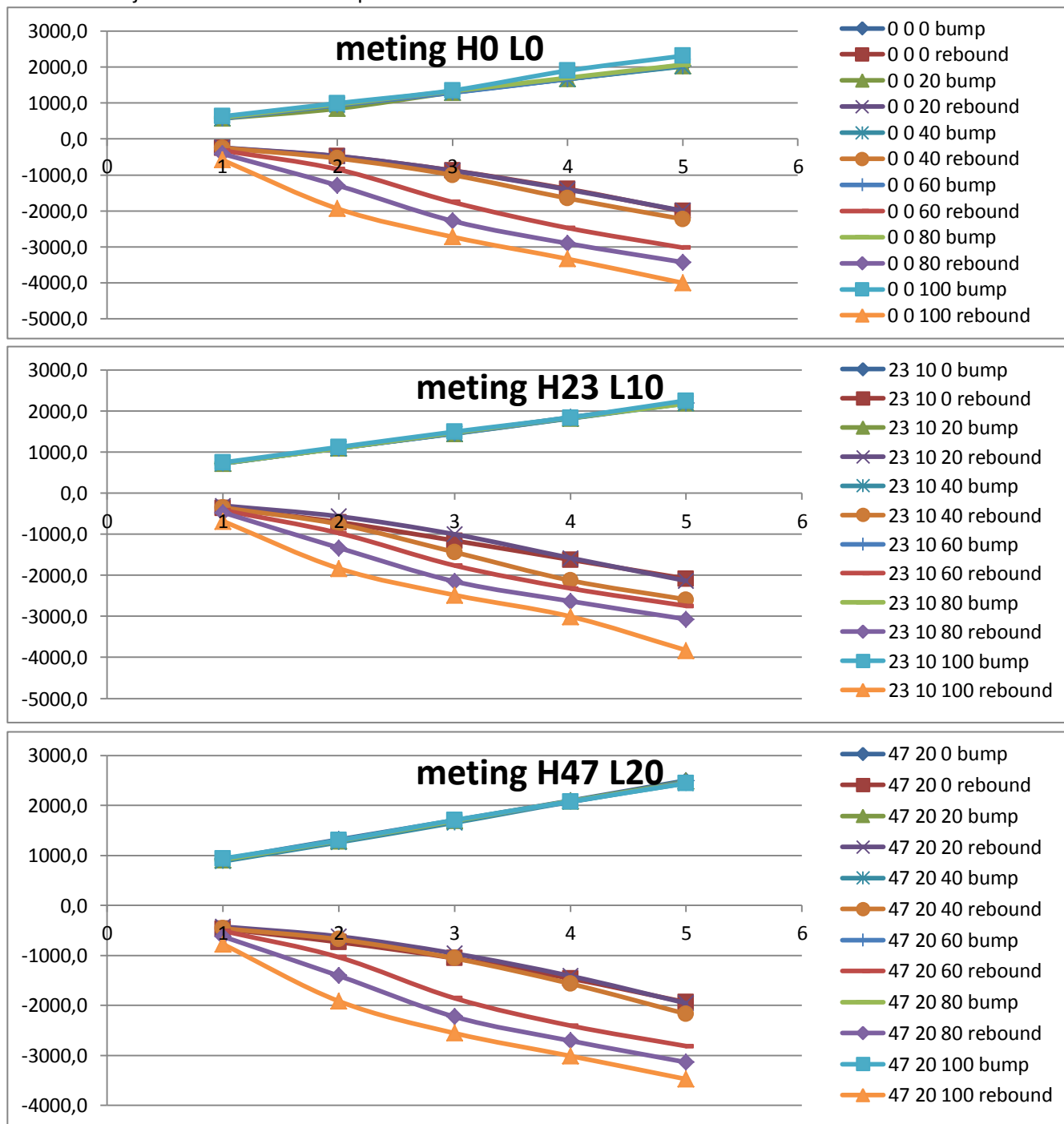


Als de spoel volledig bekrachtigd is dan worden de verschillen in rebound weggewerkt. In de bump liggen de verschillen over de hele test binnen een marge van 5% dus is dit geen probleem.

4.2.2. Test met verstellingen

Tot nog toe is de elektrisch verstelbare demper steeds getest met de hoge en lage frequentie dempingsverstelling helemaal open. Om de invloed van deze verstellers te achterhalen op de elektrische verstelling is de voorgaande test herhaald met deze verstellers helemaal open, in middenstand en helemaal dicht.

Hieronder zijn de resultaten te zien per stand van de verstellers.



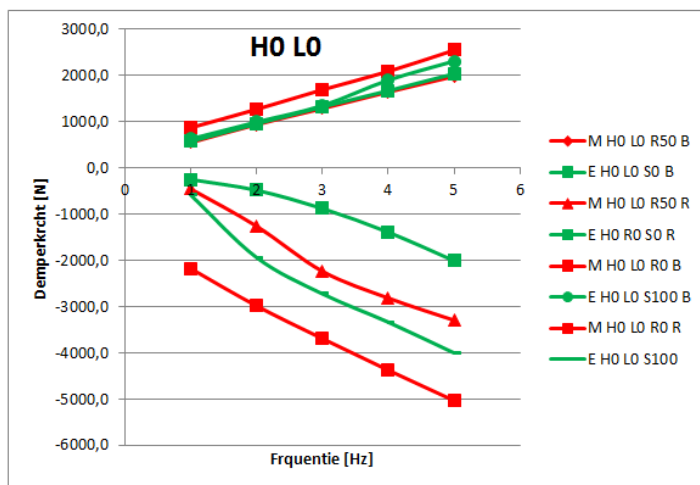
Het is goed te zien dat de bump in elke grafiek een soortgelijk verloop toont, alleen is bij dichtere verstelling de damping hoger, hetgeen ook te verwachten is.

De rebound verstellingen vertonen op het eerste gezicht ook een soortgelijk verloop. Wel valt op dat de eerste drie tests, 0%, 20% en 40%, dicht bij elkaar liggen en dat vanaf 60% pas een duidelijk verschil te zien is tussen de lijnen. Dat wil zeggen dat tot 40% de doorgang niet voldoende geblokkeerd is om een significante invloed te hebben op de damping.

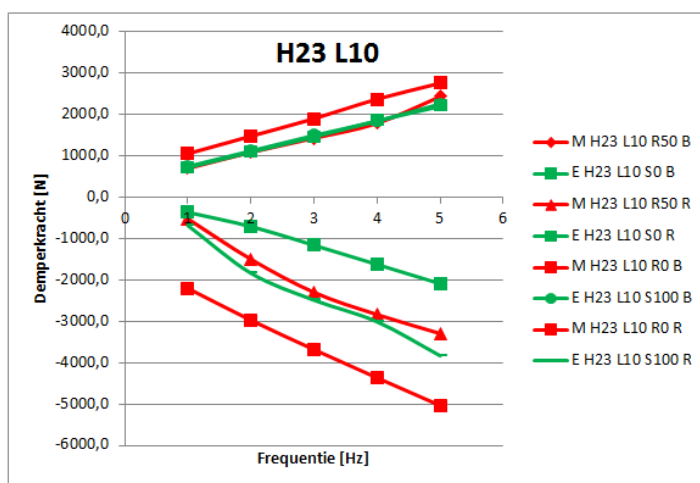
De algemene conclusie horende bij deze test is dat de demper constant is. Bij verschillende instellingen verlopen de grafieken volgens eenzelfde patroon.

De volgende stap is om deze waarden te vergelijken met de mechanisch verstelbare demper. Niet alle waarden worden meegenomen aangezien het dan niet meer overzichtelijk is. In de volgende grafiek wordt het volgende met elkaar vergeleken:

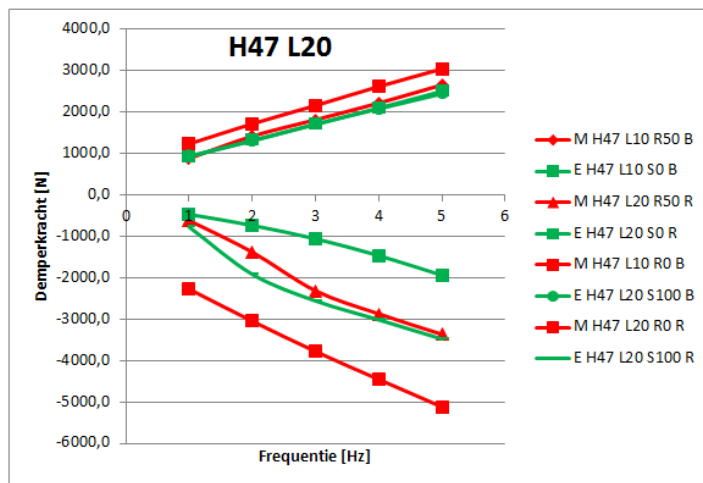
De high en low verstellingen worden helemaal open met elkaar vergeleken, half dicht en helemaal dicht. Daarbij wordt steeds de rebound helemaal open en helemaal dicht meegenomen. In de volgende grafieken is de mechanische demper in rood en elektrische demper in groen te zien.



De bump met open rebound is ongeveer gelijk, met gesloten rebound is de elektrische verstelling niet van grote invloed terwijl de mechanische verstelling wel degelijk een stap laat zien. De rebound ligt een flink stuk achter, en bij lage frequenties is de verstelling niet of nauwelijks merkbaar. Bij hoge frequenties is een gelijke stap te zien tussen mechanisch en elektrisch.



De bump vertoont hetzelfde verloop als bij de vorige grafiek. De verstelling heeft te weinig invloed in verhouding tot mechanische verstelling. De rebound ligt wederom een flink stuk achter, hetzelfde verloop als bij de eerste grafiek.



De bump vertoont wederom hetzelfde verloop. Nauwelijks tot geen invloed van de elektrische verstelling.

De rebound laat ook hetzelfde verloop zien. De verstelling laat eenzelfde stap zien als de mechanische verstelling, maar blijft een stuk achter. Bij lage frequenties is de stap een stuk kleiner met de elektrische verstelling.

De verschillen tussen de mechanische demper en elektrische demper zijn duidelijk aanwezig. Na veel overleg en nadenken is de conclusie getrokken dat wellicht bij volledige

bekrachtiging van de spoel de doorgang niet volledig afgesloten is. Om dit te controleren is de demper uit elkaar gehaald en is de spindel met het verstellingshuis naar boven in de bankschroef gezet. Deze test wordt in de volgende paragraaf verder behandeld.

4.2.3.Aanpassingen mechanisme

De test is gedaan door de spoel 100% te bekrachtigen en daarna olie van bovenaf in de spindel te gieten. Daarbij bleek dat de olie direct weer wegstroomde. De verstelling dicht dus niet af. De versteller is uit elkaar gehaald en met een drukstift is de versteller handmatig helemaal ingedrukt. Het blijkt dat deze nu wel helemaal afsluit.

Na meten blijkt het verschil tussen bekrachtigde spoel en handmatig bediende versteller 0,50mm te zijn. Om dit op te lossen is de verstelpen 0,50mm langer gemaakt. Dit bleek niet de juiste oplossing want de situatie bleef exact hetzelfde. Dit betekent dat de spoel in evenwicht is met de veer en daardoor niet verder kan drukken. De te overbruggen afstand is gevonden in het verder uitdraaien van het aanlegvlak van de veerschotel, hierdoor komt de complete verstelling 0,50mm verder naar de gaten toe te liggen. Na montage bleek inderdaad de verstelling wel af te dichten bij volledige bekrachtiging.

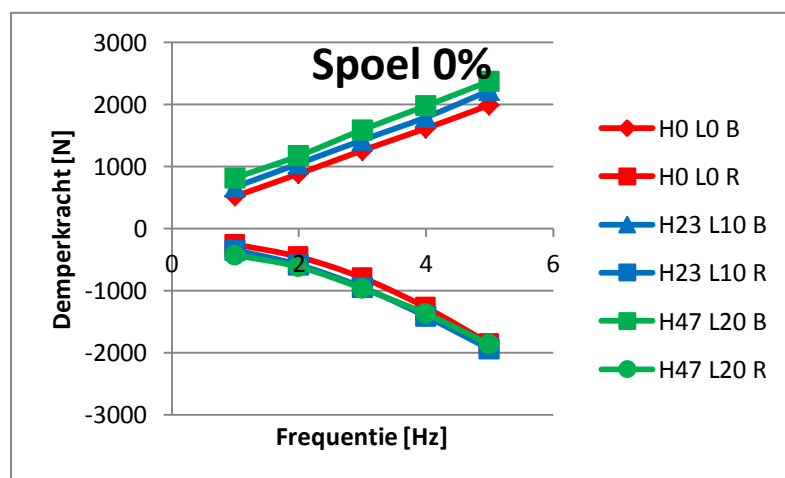
4.2.4. Test met aangepast mechanisme

Doordat de verstelling nu volledig dicht gezet kan worden, is er opnieuw een testprogramma doorlopen. Het testprogramma zag er als volgt uit.

Test	High versteller (0-47)	Low versteller (0-20)	Spoel bekrachtiging (0-100)
1	0	0	0
2	23	10	0
3	47	20	0
4	0	0	25
5	23	10	25
6	47	20	25
7	0	0	50
8	23	10	50
9	47	20	50
10	0	0	100
11	23	10	100
12	47	20	100

In eerdere testprogramma's werd telkens de spoel bekrachtiging veranderd tussen iedere test, terwijl nu deze blijft staan en de verstellers veranderd worden. Dit is gedaan omdat het blijkt dat het verstelmecanisme moeite heeft met het juiste evenwicht vinden tussen de spoel en de veer. Dit komt waarschijnlijk door de zeer kleine openingen waardoor de olie moet stromen binnen in het verstelmecanisme. Door de bekrachtiging langere tijd op dezelfde stand te houden wordt met enkele dummy tests dit evenwicht gevonden en kunnen daarna de werkelijke tests doorlopen worden.

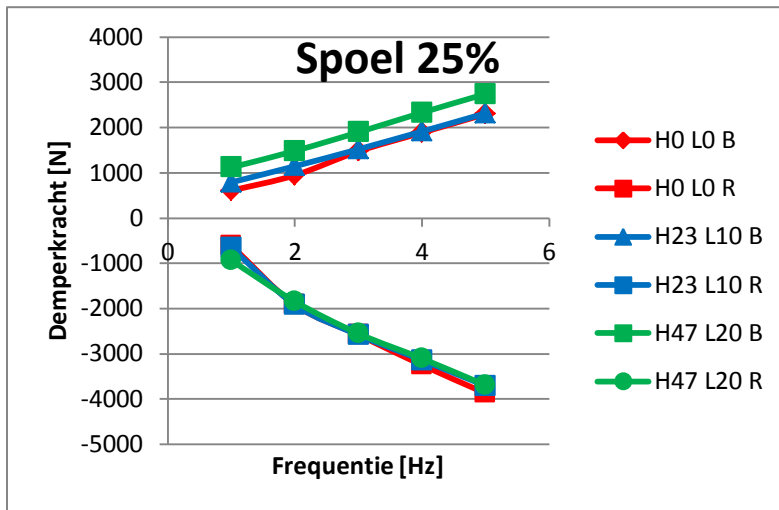
Uit de testdata blijkt dat door de 0,50mm aanpassing de demper een stuk dichtër in de buurt komt van de mechanisch verstelbare demper. De resultaten worden hieronder behandeld, eerst met gelijke spoel instellingen, daarna met gelijke versteller instellingen en tot slot wordt de elektrische demper vergeleken met de mechanische demper.



De spoel blijft op 0% staan, en goed te zien is, is dat de rebound ook binnen de marge van 5% hetzelfde blijft.

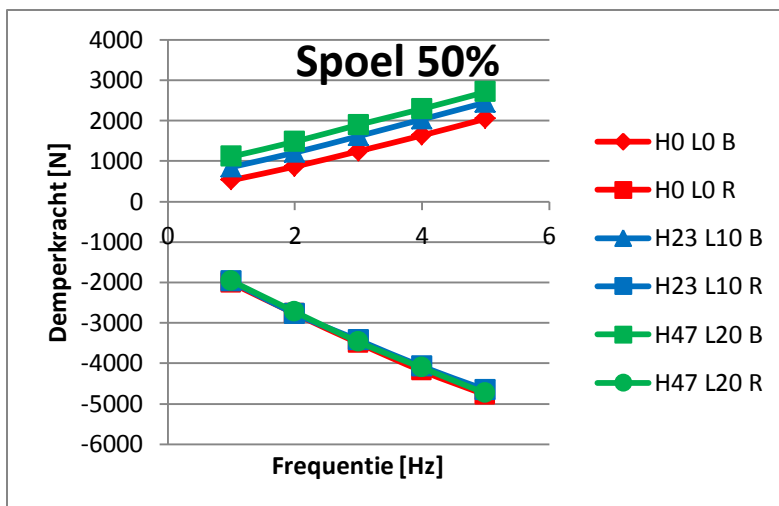
De bump verstelling is duidelijk te zien, hetgeen te verwachten is van de verstellingen.

De test laat zien dat er een constant evenwicht in de verstelling is met de juiste stappen bij het gebruiken van de verstelknoppen.



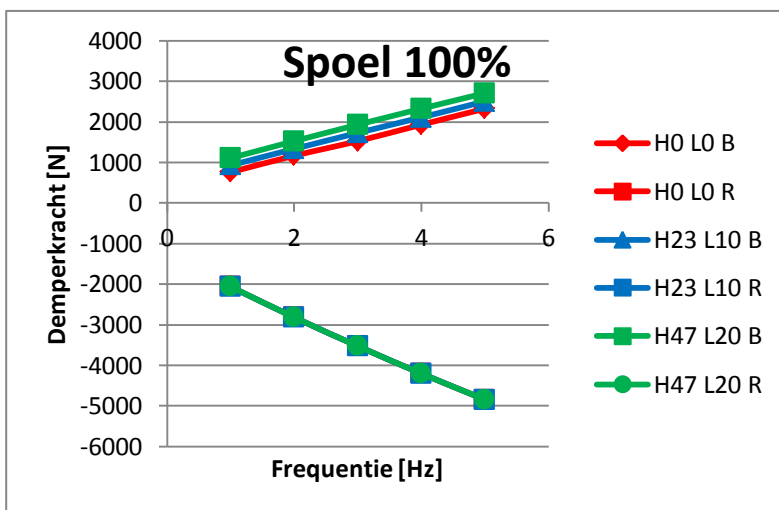
Nu blijft de spoel op 25% staan. De rebound blijft nu nog beter constant, wat kan duiden op een nog stabielere verstelling.

De bump verstelling laat weer duidelijke stappen zien, alleen bij de hogere frequenties vertonen de dempingswaarden enige overlap. Dit kan komen doordat de hoge frequentie versteller nog geen invloed heeft door de verstelling.



Als de spoel op 50% gezet wordt blijkt de rebound zeer constant te blijven.

De bump verstelling is duidelijk zichtbaar en vertoont lineaire toename van demping.

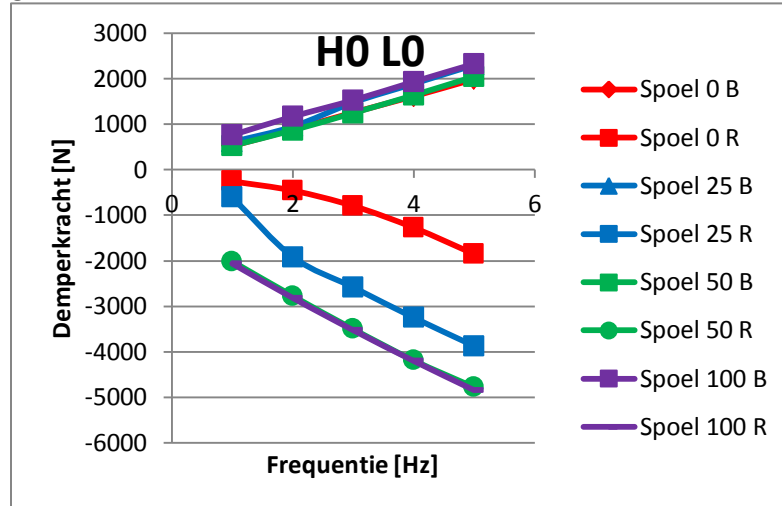


De spoel staat op 100% en de rebound is voor alle drie de metingen exact gelijk. Het verstelmecanisme blijft ondanks de hoge drukken volledig dicht.

De bump verstelling toont wederom duidelijk stappen en de lijnen lopen parallel aan elkaar, dus de hoge en lage frequentie verstelling geven dezelfde grootte van verandering in demping.

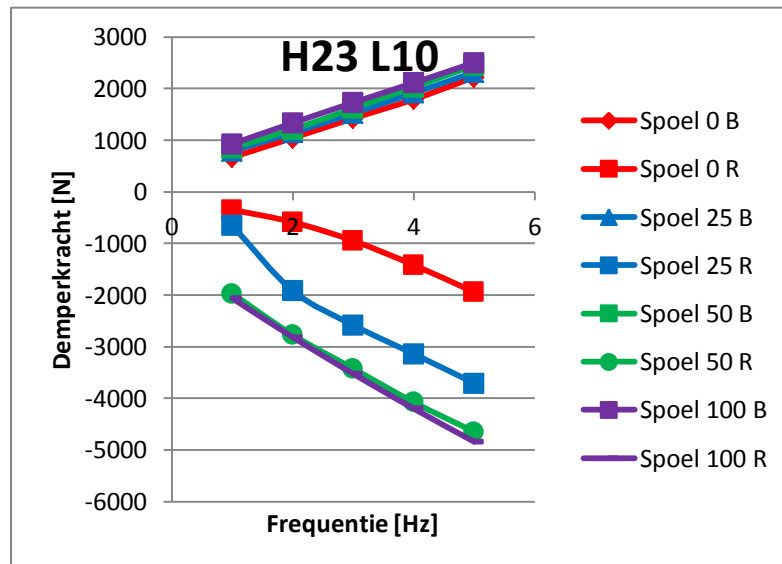
De tests met dezelfde spoelinstellingen blijken succesvol te zijn. De damping in bumprichting vertoont duidelijke stappen en de lijnen lopen parallel. De rebound vertoont per verstelling weinig verschil in damping wat betekent dat de verstelling stabiel is.

Als de verschillende spoelwaarden vergeleken worden met gelijke knopinstellingen komen de volgende grafieken tot stand.



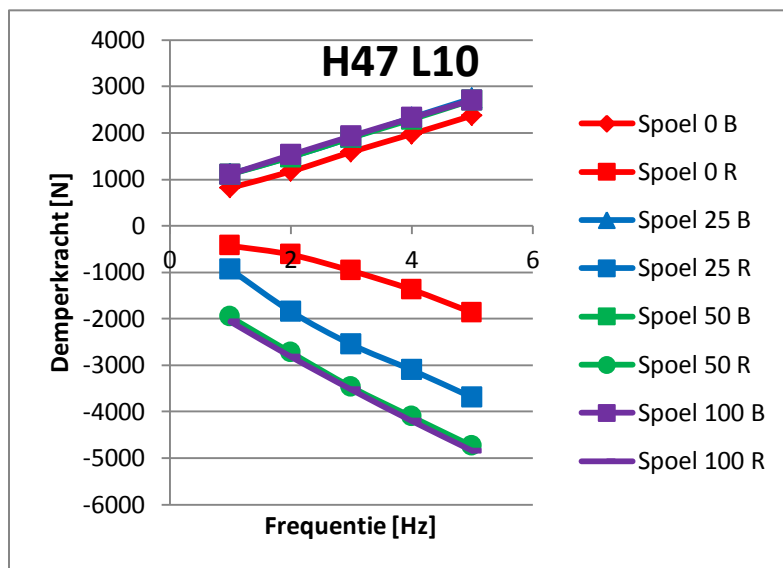
De rebound verandert in grote stappen. Bij 25% blijft de lage frequentie iets achter. Dit kan komen doordat de verstelling nog geen evenwicht bereikt had. Opvallend is dat de 50% en 100% gelijke waarden vertonen.

De bump laat kleine verschillen zien, dit is logisch aangezien de spoelverstelling door het kleine gaatje in de bout maar een kleine invloed heeft op de bump.



De rebound maakt grote stappen bij de verstelling, wederom blijft de lage frequentie van 25% achter. Vanaf 50% lijkt de rebound zijn maximale waarde bereikt te hebben.

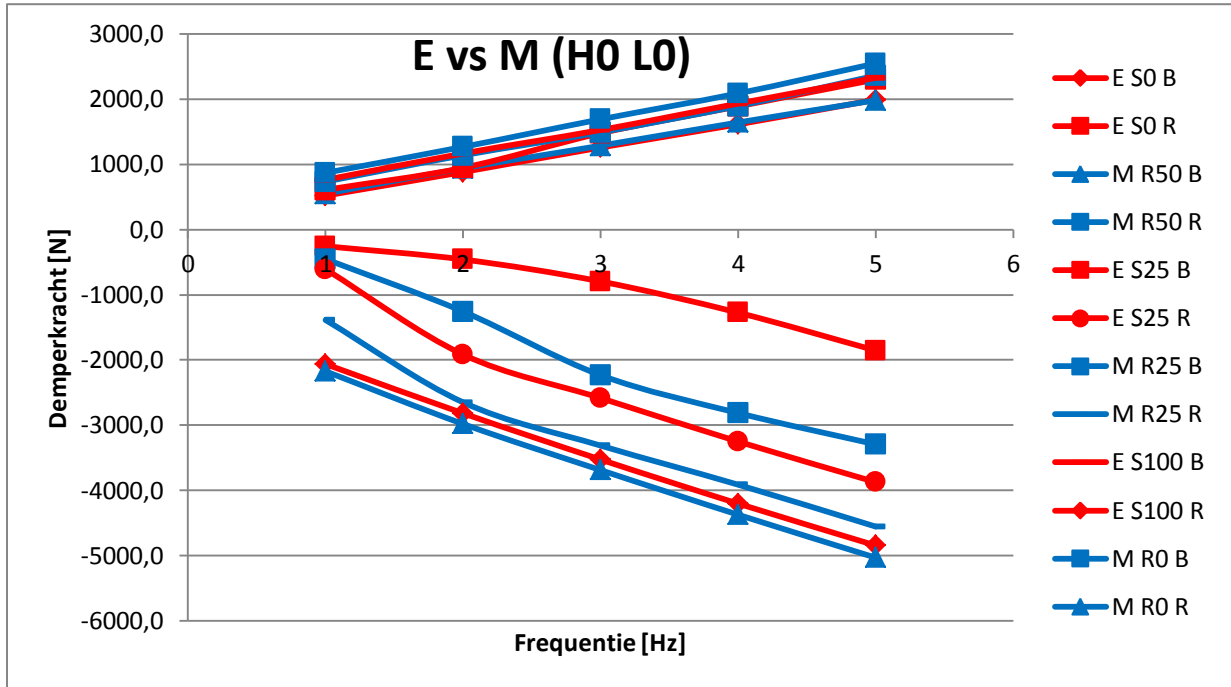
De bump vertoont per verstelling een kleine maar duidelijke stap, dit betekent dat de spoelverstelling wel degelijk invloed heeft op de bump.



Wederom maakt de rebound duidelijke stappen, tot aan 50%. Dit betekent dat de spoel rond de 50% de verstelling helemaal dicht zet. Er zijn nog kleine verschillen, die ontstaan door het zwakkere evenwicht bij 50% dan bij 100%.

De bump vertoont weer kleine stappen, dus de spoel versteller werkt duidelijk wel op de bump.

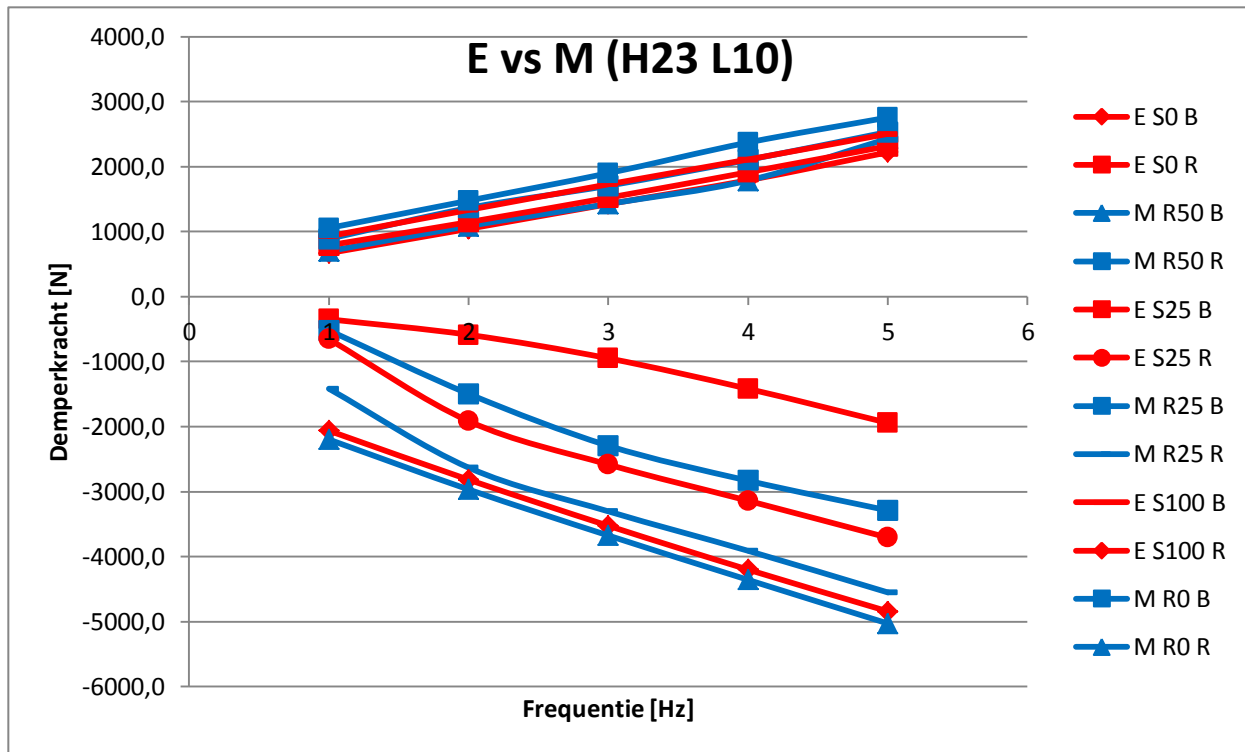
De elektrische verstelling werkt naar behoren, omdat de stappen duidelijk waarneembaar zijn en de lijnen parallel lopen per verstelling. Om te weten of de complete demper ook naar behoren werkt zal deze data vergeleken worden met de data van de mechanische demper. Daarbij wordt de spoelinstelling veranderd en de verstelknoppen blijven constant. Omdat de versteller tussen 50% en 100% weinig verschil vertoonde wordt 50% weggelaten en wordt 25% vergeleken met de half dichte mechanische verstelling.



In het rood is de elektrisch verstelbare demper te zien en in het blauw de mechanisch verstelbare demper.

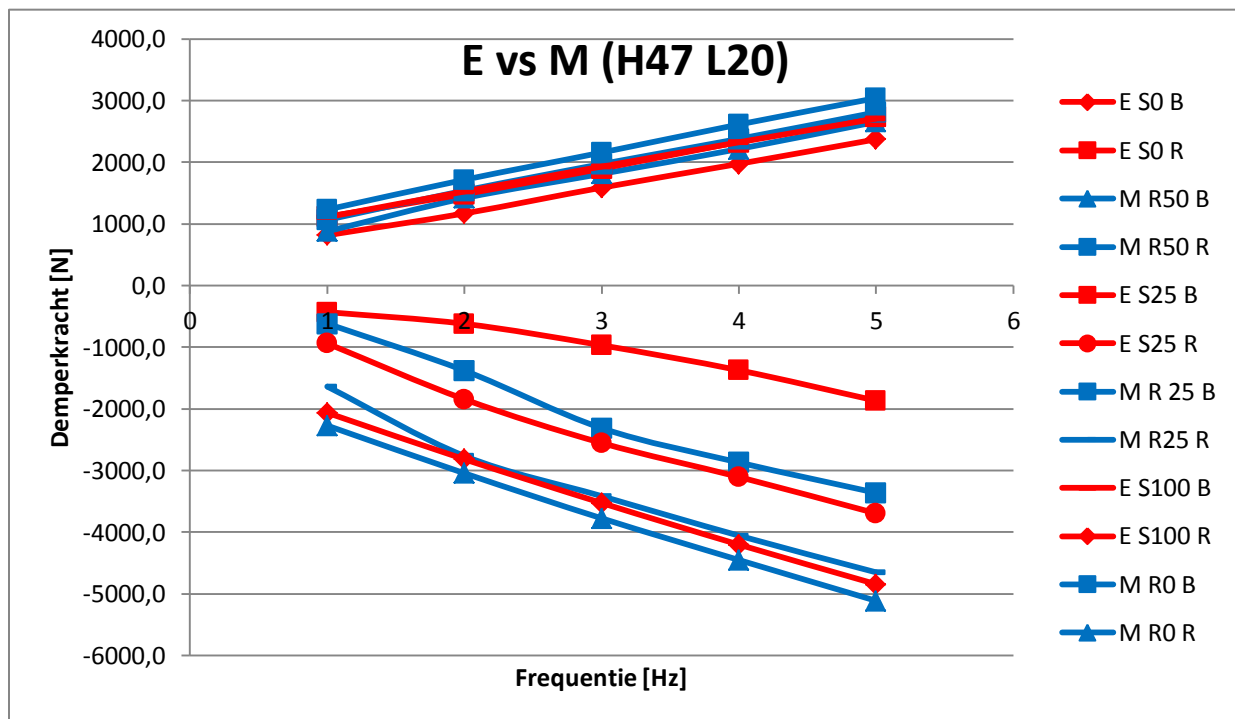
De bump kracht lijnen lopen op kleine verschillen na gelijk. Deze verschillen vallen binnen de 5% marge. De lijnen lopen allemaal netjes parallel wat betekent dat de verstellingen een gelijke invloed hebben op iedere dempingsfrequentie. Het verschil tussen mechanisch en elektrisch in bump is gemiddeld 4,6%.

De rebound laat grotere verschillen zien. De elektrische demperkracht is een stuk lager dan de mechanische demperkracht. Bij gesloten verstelling komt de elektrische kracht wel dicht bij de mechanische demperkracht. Met open verstelling is het verschil gemiddeld 28,7%, waarbij het grote verschil gemaakt wordt door de lage frequentie demping, deze is gemiddeld 53,9% lager.



De bump waarden liggen dicht bij elkaar. Het gemiddelde verschil tussen de bumpwaarden van de elektrische demper en de mechanische demper is 8,3%. Dit is aan de hoge kant en valt buiten de 5% marge. Hoe deze verschillen tot stand komen is onbekend, omdat als de verstelling helemaal dicht is het verschil in bump het grootst is. Deze moeten exact gelijk zijn omdat de bypass helemaal afgesloten is. De lijnen lopen allemaal parallel dus is de demperkarakteristiek niet aangepast door het andere verstelmechanisme.

De rebound lijnen liggen ver uit elkaar, en als de damping toeneemt worden de verschillen kleiner. Bij dichte verstelling is het gemiddelde verschil 4,5%, dit ligt binnen de marge en is dus acceptabel. Bij open verstelling is het gemiddelde verschil 48,6%. Dit is een zeer groot verschil. Dit komt doordat de elektrische verstelling een veel grotere doorgang heeft dan de mechanische verstelling. Hier kan dus olie met minder weerstand doorheen stromen.



De bump waarden vertonen kleine verschillen. De verschillen zijn groter dan in de eerdere grafieken, namelijk gemiddeld 7,9%. Dit verschil valt buiten de marge.

De rebound lijnen lopen ver uit elkaar, en bij hogere demping komen ze weer dicht bij elkaar te liggen. De elektrische verstelling is grover door het grotere doorstroomoppervlak. Dit zorgt ervoor dat de demping bij open verstelling laag is en bij toenemende bekrachtiging van de spoel de demping sneller toeneemt dan bij de mechanische verstelling. Als de demping helemaal dichtgezet wordt, dus de verstelknoppen dicht en de spoel maximaal bekrachtigd wordt, dan is het verschil in demping 6,8%. Dit verschil is te groot, en komt waarschijnlijk doordat de versteller onder de hoge druk een klein beetje lek vertoont.

5.Conclusies

Uit de voorgaande tests blijkt dat de elektrisch verstelbare demper verstelbaar is. Er zijn duidelijk verschillen in demping te zien bij het meer of minder belasten van de spoel. Dit gegeven maakt dat het is gelukt om een werkend prototype te bouwen.

Het verstelmechanisme heeft enkele tests nodig om zich in positie te brengen. Hierdoor zijn telkens na veranderingen in de spoelbekrachtiging de eerste tests niet bruikbaar. Dit betekent dat de zwevende verstelling niet goed werkt. Dit komt door de zeer kleine gaten die Sun toegepast heeft. De gaten zijn $\varnothing 0,3\text{mm}$. Dit is waarschijnlijk te klein om snel de drukverschillen te herstellen. Door het verstelmechanisme aan te passen met grotere gaten voor de zwevende verstelling kan dit probleem verholpen worden.

De demping tijdens bump vertoont een gelijke demping met de mechanisch verstelbare demper. Wel liggen de waarden constant iets lager. De oorzaak hiervan kan zijn dat de elektrische verstelling een klein beetje lek heeft langs de naald waardoor de olie minder weerstand heeft.

De demping tijdens rebound laat grote verschillen zien tussen de elektrische verstelling en mechanische verstelling. De lage frequenties laten een veel lagere dempingswaarde zien voor de elektrische demper dan voor de mechanische demper. Dit komt doordat het verstelmechanisme van de elektrische demper een grotere naald heeft die een grotere doorgang af moet sluiten. Hierdoor kan de olie met minder weerstand doorstromen en is de demping lager. Als de doorgang kleiner gemaakt wordt met de verstellingen dan neemt de demping van de elektrische demper sneller toe dan de demping van de mechanische demper. Ook dit komt door het gebruik van de grotere naald. De stappen die gemaakt worden zijn daardoor ook groter. Bij volledige sluiting van de verstellers liggen de waarden bijna gelijk. Wel is de elektrische demping nog iets lager. Dit zou ook door het lekken kunnen komen van de naald dat ook als oorzaak voor de bump afwijkingen kan gelden.

Uit de bovenstaande conclusies is op te maken dat het verstellen goed functioneert, maar dat het verstelmechanisme nog niet voldoet. Dit kan de volgende redenen hebben:

- De versteller sluit niet goed aan op het versteller huis
- De zwevende verstelling kan niet snel genoeg reageren op de drukverschillen
- De versteller is te groot

Door deze punten te onderzoeken kan het probleem gevonden en opgelost worden waardoor de elektrische demper dezelfde demping kan genereren als de mechanische demper.

5.1.Algemene conclusie

Er is met succes een werkend prototype gebouwd. Dit prototype heeft een werkende verstelling die zeer precies te regelen is. Het mechanisme van de verstelling voldoet nog niet en moet verder onderzocht en verbeterd worden. Het verstelmechanisme zorgt voor een groter bereik van de demper waardoor de elektrische demper een betere demper kan worden dan de mechanische demper. Dit prototype kan doorontwikkeld worden tot een verkoopbaar product dat niet alleen meer luxe aan de klant biedt, maar ook meer dempingsmogelijkheden.

6.Aanbevelingen

Het prototype heeft de tests doorstaan en aan de hand van de testdata zijn conclusies geformuleerd. Daaruit blijkt dat het prototype op enkele fronten nog verbeterd kan worden. Om het prototype te verbeteren worden alle gevonden mogelijkheden tot verbetering uiteengezet. Allereerst worden de knelpunten en (mogelijke) problemen opgesomd.

1. Lengte spoel. De spoel is erg lang waardoor er veel slag ingeleverd wordt. Door de spoel in te korten kan deze slag teruggewonnen worden. Met het inkorten van de spoel moet de functie van de spoel hetzelfde blijven.
2. Verstelmechanisme. Het verstelmechanisme van Intrax met de kleine naald is zeer precies en stabiel. Uit de tests blijkt dat het elektrische verstelmechanisme nog niet precies en stabiel genoeg is. Daarvoor zijn drie mogelijke oorzaken opgesomd in de conclusies.
3. Kabels. Momenteel is de spoel aangesloten op de driver aan de hand van twee kabels die over de spoel en door de spindel lopen. Deze kabels worden door een gemodificeerde bumpstop beschermd en de gaten waar deze kabels door lopen zijn moeilijk af te dichten omdat de piekdrukken van 90 bar opgevangen moeten worden. Daarbij komt dat standaard stroomdraden niet 100% vloeistofdicht zijn waardoor er toch olie door de kabels heen kan lekken, hetgeen bij de prototype bouw ook een groot probleem was.

De mogelijke oplossingen voor deze punten worden hieronder behandeld.

1. De spoel kleiner maken kan op verschillende manieren. Een externe partner met kennis op het gebied van spoelen kan hierbij zeer nuttig zijn. De spoel kan korter worden door deze breder te maken omdat er in de demperbuis nog ruimte voor is. Afhankelijk van de manier van wikkelen die door Sun toegepast is kan ook door anders te wikkelen de dichtheid van de spoel groter worden waardoor de spoel zelf kleiner geconstrueerd kan worden.
2. Het verstelmechanisme van Intrax is kleiner dan het huidige mechanisme van Sun. Het Sun ontwerp is zo gemaakt dat het principe van de zwevende verstelling ontstaat. Dit is wellicht ook mogelijk met de Intrax verstelling, als hier goed onderzoek naar gedaan wordt. Door de Intrax verstelling om te zetten tot zwevende verstelling kan exact dezelfde verstelling gerealiseerd worden als in de mechanische demper.
3. Om de kabels beter weg te werken kan er aan oplossingen gedacht worden die de kabels helemaal niet meer nodig hebben. De dempers van Intrax met interne verstelpennen maken gebruik van messing bussen om de verstelpennen te geleiden en een olieafdichting te genereren. Als deze messing bussen vervangen worden door een sterk maar niet elektrisch geleidend materiaal dan kunnen via dit kanaal de polen gelegd worden waarbij gelijktijdig een olie dichte afsluiting ontstaat.

6.1.Lengte spoel

De gebruikte spoel in de testopstelling neemt veel plaats in beslag. De testdemper met mechanische verstelling heeft een slag van 132 mm, terwijl dezelfde demper met een geïntegreerde elektrische verstelling een slag heeft van 32 mm. Dat wil zeggen dat de elektrische verstelling 100 mm slag in beslag neemt. De spoel zelf is hier de grootste boosdoener in met een lengte van 50mm. Het verstelmechanisme neemt 35 mm extra in beslag en de kabelbescherming neemt 15 mm in beslag. Als de spoel samen met het mechanisme korter gemaakt kan worden zal de slag veel minder ingekort worden. Om dit te realiseren zijn verschillende bedrijven gecontacteerd die zich onderscheiden in het ontwikkelen van spoelen, waaronder het bedrijf ACE Wikkeltechniek BV gelegen in Horst.

Volgens Frank Moonen van ACE is het goed mogelijk om de spoel een flink stuk in te korten. Daarbij wordt de diameter wel groter, maar zolang deze ruim onder de buisdiameter blijft is dit geen probleem voor de oliestroom. Daarnaast kan het zijn dat de spoel beter te wikkelen is waardoor een compactere spoel ontstaat. Of dit mogelijk is, is afhankelijk van de wikkelmethode die Sun gebruikt voor hun spoelen. Hiervoor zal er een spoel opengemaakt moeten worden.

Het verstelmechanisme kan verschoven worden naar het gedeelte in de zuiger, waar de mechanische verstelling ook plaatsvindt. In combinatie met een nieuwe spoel en spoelkern kan dit mechanisme ontwikkeld worden.

6.2. Verstelmechanisme

De verstelling van Sun werkt, maar door het snelle wisselen van drukken laat de verstelling te wensen over. De verbeterde verstelling zal gebruik maken van meer Intrax componenten zoals de naald, de thermostaat en de needle seat. Hier is een voorbeeld van gemaakt, maar dit voorbeeld kan pas verder uitgewerkt worden in combinatie met de door ACE voorgestelde nieuwe spoel en spoelkern.

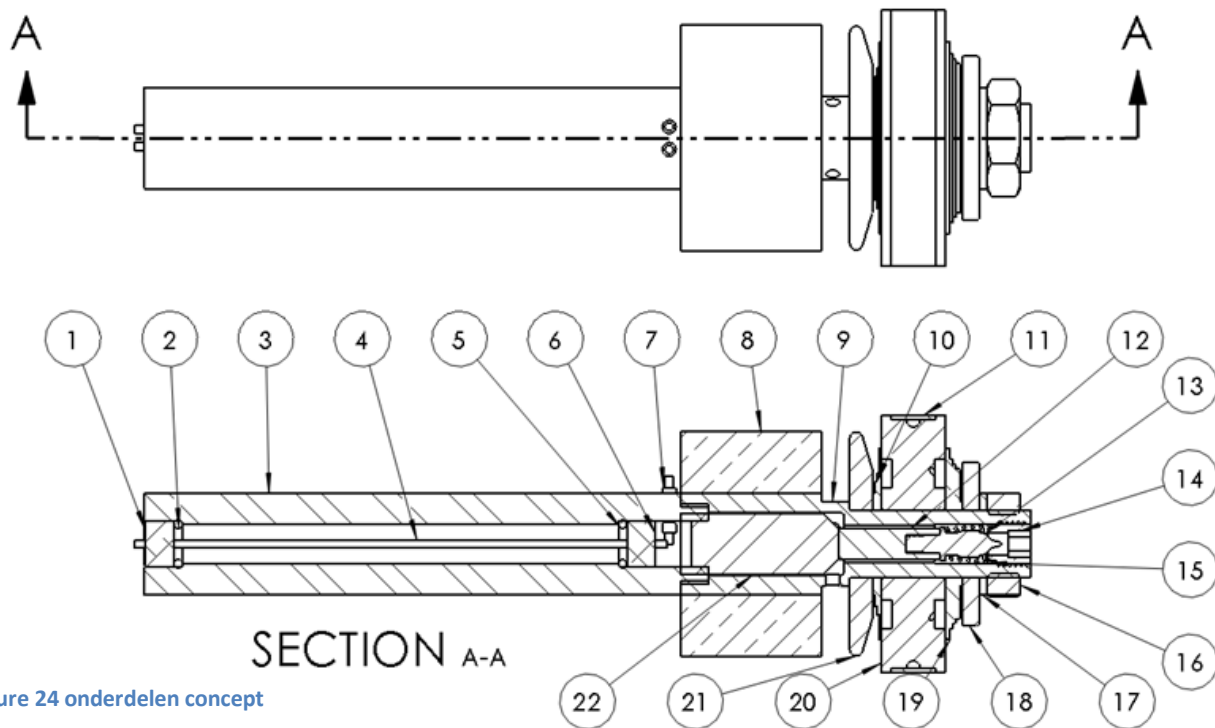


Figure 24 onderdelen concept

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Isolatie bus | 12. Thermostaat |
| 2. O-ring | 13. Verstelnaald |
| 3. Spindel oogdeel | 14. Needle seat |
| 4. Geleider pen | 15. Veer |
| 5. O-ring | 16. Moer |
| 6. isolatie bus | 17. Spacer shim klein |
| 7. Geleider stift | 18. Spacer shim groot |
| 8. Spoel | 19. Shimstack rebound |
| 9. Verstellinghuis | 20. Zuiger |
| 10. Shimstack bump | 21. Shim aanslag |
| 11. Zuigerband | 22. Spoelkern |

In dit concept is de spoelkern voorzien van twee gaten in de lengterichting waardoor de olie met weinig weerstand achter de spoelkern kan komen. Langs de thermostaat is voldoende plaats om de olie erlangs te laten. Dit zorgt ervoor dat de zwevende verstelling sneller in evenwicht kan komen. Doordat er een Intrax naald en needle seat gebruikt worden is de damping gelijkwaardig te regelen als bij de mechanische demper. De veer zal in combinatie met de spoelkracht opnieuw ontworpen moeten worden om het juiste evenwicht te verkrijgen.

6.3.Kabels wegwerken

De kabels veroorzaakten veel problemen met de afdichting van de elektrische demper. Door de druk werd de olie door de isolatielaag van de kabels heen geperst en door de kabel naar buiten afgevoerd. Om dit te voorkomen is het nodig om een directe kabel van binnen naar buiten in het vervolg te vermeiden. De holle spindel is in het prototype al gebruikt om deze kabels in weg te werken, maar dit kan verbeterd worden.

6.3.1.Interne versteller

Intrax heeft schokdempers waarbij gebruik gemaakt wordt van een interne versteller. Dat wil zeggen dat de verstelling niet direct onder de draaiknop gebeurt maar dat er een lange pen tussen zit die de verstelling elders regelt. In figure 25 is dit te zien. 1 is de spindel en 2 is de pen. De pen is $\varnothing 4,2\text{mm}$ en de spindel is van binnen $\varnothing 5,0\text{mm}$. Deze pen loopt midden door de spindel en is aan de voorzijde en achterzijde voorzien van messing geleidingsbussen en een afdichting door een o-ring. Deze interne verstelling wordt niet in de elektrisch verstelbare demper gebruikt, maar kan wel de oplossing bieden voor het lekkageprobleem.

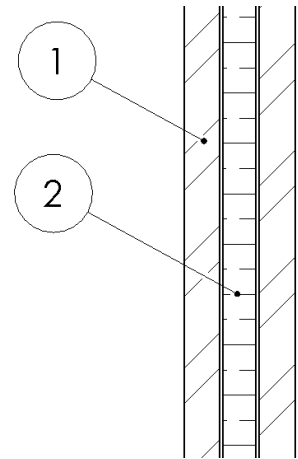


Figure 25 spindel en pen

Er zijn tot dusver drie mogelijke oplossingen gevonden die hieronder uitgewerkt worden.

6.3.1.a.Concept 1

Dit concept maakt gebruik van de spindel en stelpen als plus en min pool. Daarbij moeten beide onderdelen elektrisch van elkaar geïsoleerd worden. Dit kan door de messing busjes te vervangen door kunststoffen busjes. Hierdoor komen ze theoretisch al niet meer met elkaar in aanraking. Door trillingen e.d. kan het toch voorkomen dat de pen de spindel raakt. Om dit op te lossen zal minimaal een van de twee voorzien moeten worden van een niet geleidende laag. Er zijn op de markt elektrisch isolerende coatings en sprays, daarmee kan de isolatie gerealiseerd worden. Voor een test is het wellicht ook mogelijk om de stelpen te voorzien van een krimpkous, afhankelijk van de wanddikte hiervan.

Hiernaast is een schets te zien van het concept. Het rode deel is de spindel, dit zal de - pool zijn en het zwarte is de stelpen, de + pool. De enige kabels die dan gelegd moeten

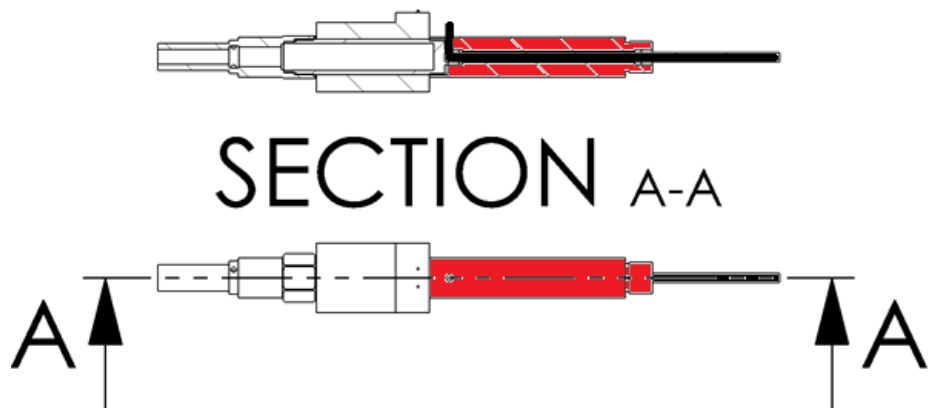


Figure 26 schets concept 1

worden binnen in de schokdemper zijn van de spoel naar de twee polen. Omdat de olie elektrisch niet geleidt mogen deze kabels olie lekken. Buiten de demper kunnen de polen weer op kabels aangesloten worden waardoor de spoel aangestuurd kan worden.

6.3.1.b. Concept 2

Dit concept maakt gebruik van de locatie van de stelpen. De stelpen zelf zal niet gebruikt worden, maar de busjes wel. Ook hier zullen de busjes van kunststof gemaakt worden. De busjes zijn voorzien van twee kleine gaten van $\varnothing 1,5\text{mm}$. zie de afbeelding hieronder.

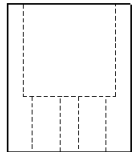
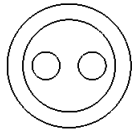


Figure 28 busje

Links is het busje te zien waarmee de polen aan de voor- en achterzijde door de spindel geleid worden. Deze polen zullen stalen pennen zijn. Deze pennen worden tussen de busjes in voorzien van een isolatielaag waardoor ze elkaar niet kunnen raken. In de linker afbeelding is

ook een groot gat te zien, dit is de verbindingkamer. Hierin kunnen de pennen aan de kabels gesoldeerd worden. Daarna zal de kamer gevuld worden met epoxylijm. Hierdoor is de bevestiging permanent en zijn de kleine gaten afgedicht. Tussen de spindel en de busjes wordt de afdichting met een o-ring gerealiseerd zoals dat door Intrax ook gedaan wordt.



SECTION A-A

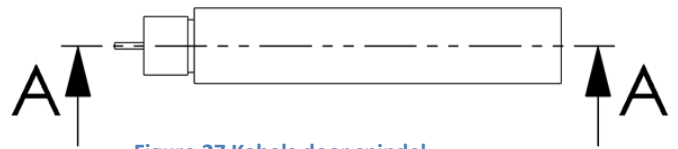


Figure 27 Kabels door spindel

6.3.1.c. Concept 3

Dit concept maakt gebruik van de holle spindel. Dit lijkt het meeste op het prototype. De kabels worden op dezelfde manier door de spindel geleid maar zullen nu niet rechtstreeks naar buiten komen. In plaats daarvan wordt er een soort stekker gemaakt waarbij de poolpennen ingegoten zijn. Dit dicht af en isoleert de twee van elkaar. Hierdoor kan er op de buitenkant met een stekker gewerkt worden waardoor het gebruiksgemak toeneemt. Om dit werkend te krijgen moet het schokdemperoog opnieuw ontworpen worden met de stekker er in verwerkt, of er moet een oplossing gevonden worden om de stekker op het oog te bevestigen.

7.Literatuurlijst

1. Einar H (Mei 2011), Durability of a Magnetorheological Fluid in a Prosthetic Knee Joint, Geraadpleegd op 6 april 2018 van https://skemman.is/bitstream/1946/8828/1/MSc_Thesis_Einar.pdf
2. Bart van Dijk. (2017). 4-weg testschokdemper, Geraadpleegd op 3 april 2018
3. Roloff/Matek machineonderdelen, Theorieboek (2013), Amsterdam, Nederland, Boom uitgevers Amsterdam, Geraadpleegd gedurende de hele stageperiode
4. Roloff/Matek machineonderdelen, Tabellenboek (2007), Amsterdam, Nederland, Boom uitgevers Amsterdam, Geraadpleegd gedurende de hele stageperiode
5. Verschillende auteurs, verschillende artikelen, Geraadpleegd gedurende de hele stageperiode, <https://www.technologyreview.com/>
6. D. Vanherck (15-12-2014), Technical Rapport stepper motor, Geraadpleegd op 4 maart 2018

8.Bijlagen

Inhoud

Projectplan	II
Inhoud	II
1.Inleiding.....	II
2.Aanleiding.....	II
3.Opdrachtgever	II
4. Projectopdracht	III
5. Fasering	VIII
6. Projectbeheersing.....	X
Vooronderzoek.....	XII
Intrax dempers	XII
Dempers andere leveranciers	XVIII
Elektrische mogelijkheden	XXIII
Onderzoek stappenmotor.....	XXIV
Onderdelen cartridge	XXVII
Nieuwe onderdelen voor elektrisch verstelbare demper.....	XXX
Zuigerdeel spindel	XXX
Berekening extra trekkracht aanhaalmoment	XXXII
Oogdeel spindel.....	XXXIII
Berekening afdichting Epoxy.....	XXXVI

Projectplan

1. Inleiding

In de autosport is er niets zo belangrijk als het onderstel van de auto. Het onderstel bepaalt hoe goed de wegligging is, en zonder wegligging ben je nergens. Bij Intrax wordt de verstelling van het onderstel met de hand gedaan. Dit is vaak lastig te doen omdat er verschillende onderdelen in de weg zitten en de bereikbaarheid dus niet al te goed is. In de modernere auto's is het vaak mogelijk te kiezen tussen verschillende afstellingen van het onderstel. Deze variëren van comfort tot sport. Intrax kan als succesvol bedrijf op het gebied van onderstellen niet achterblijven in deze ontwikkeling en heeft zodoende iemand nodig die kennis van zaken kan nemen en hier in kan duiken.

2. Aanleiding

De autowereld is constant in beweging en blijft zich ontwikkelen. Tegenwoordig zijn de meeste nieuwe modellen uitgerust met elektrisch verstelbare schokdempers. De productieauto's hebben dit, maar ook concurrenten van Intrax hebben dit. Bijvoorbeeld Koni heeft dit reeds ontwikkeld. Met het imago van Intrax is het vanzelfsprekend dat ze niet achter kunnen blijven. Daarom wil Intrax zelf ook een elektrisch verstelbare schokdemper ontwikkelen.

3. Opdrachtgever

Intrax is als MKB een toonaangevende ontwikkelaar, producent en leverancier van schokdempers en verlagingsveren voor straat- en circuitauto's. Ze zijn actief (geweest) in ongeveer alle race klassen, tot in de Formule 1. Onder andere het ronde record op de Nordschleiffe (Nürburgring) van een straat legale auto is gezet met een onderstel van Intrax.

Voor meer informatie zie www.intraxracing.nl

4. Projectopdracht

4.1 Doel van het project

Het doel is om een werkend prototype te ontwikkelen van een elektrisch verstelbare schokdempermechanisme dat in de huidige Intrax schokdempers te integreren is. De totstandkoming van het prototype zal in een verslag gedocumenteerd worden. Het prototype zal in de testbank van Intrax getest worden en de data worden vergeleken met een gelijkwaardige mechanisch verstelbare schokdemper. Uit dit vergelijken worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd zodat het project door Intrax voortgezet kan worden als dit wenselijk is.

4.2 Resultaat van het project

Nu de probleemstelling duidelijk is geworden en het doel duidelijk en helder is beschreven, kan er ook gekeken worden naar het te behalen resultaat.

Dit project zal leiden tot het volgende resultaat:

Een prototype dat voorzien is van een elektrisch verstelbaar schokdempermechanisme, welke vergelijkbare damping vertoont met een gelijkwaardige mechanische demper. Het prototype wordt gebouwd en getest en alle bevindingen worden gedocumenteerd in het eindverslag. Dit wordt gerealiseerd voor 12 juni 2018.

4.3 Leerdoelen

Gedurende de stage periode zullen er ook bepaalde leerdoelen gesteld worden om de groei van de stagiaire aan te kunnen tonen. Deze leerdoelen zijn zowel persoonlijk als competentiegericht en zullen aan het eind van de stageperiode gebruikt worden als referentie voor onder andere een reflectie.

4.3.1 Persoonlijke leerdoelen:

De persoonlijke leerdoelen heb ik uit ervaring met werkgevers, collega's en mijn voorgaande stageperiode opgesteld:

- initiatief tonen. Uit ervaring heb ik geleerd dat ik het wel kan, maar soms te lang wacht met het aanpakken. Om snel vooruit te kunnen moet ik niet om iets heen gaan draaien maar het gewoon aanpakken.
- voorbereiden. Het komt wel eens voor dat ik iets ga maken zonder goed voorbereidingen te treffen, hierdoor kan het voorkomen dat iets halverwege niet meer lukt omdat ik iets niet goed voorbereid heb. Dit kost veel tijd en soms ook geld.
- vooruit denken. Doordat ik graag snel dingen aanpak kom ik soms laat pas problemen tegen die ik eerder had moeten zien. Dit kan betekenen dat ik op dit front niet verder kan en daardoor veel tijd had kunnen besparen.
- goed verslag schrijven. Mijn vorige stage bracht naar voren dat ik moeite heb met het schrijven van een goed verslag. Ik maak soms dingen niet duidelijk genoeg en richt me te veel op het verkopen van het product in plaats van de totstandkoming van het product. En dit laatste is de bedoeling. Ik moet goed opschrijven welke keuzes ik gemaakt heb en dit onderbouwen. De lezer van het verslag moet ontdekken hoe ik gewerkt heb en hoe goed ik als engineer ben, niet als verkoper.

4.3.2 Competentie gerichte leerdoelen:

De competentie gerichte leerdoelen zijn voornamelijk bedoeld als bewijslast voor Fontys Hogescholen. Alle competenties moeten gedurende de opleiding voldoende afgerond zijn om ervoor te zorgen dat de engineer op niveau kan handelen. Hieronder zijn de competenties te vinden en hoe deze behandeld gaan worden in deze stageperiode.

Analyseren

Het analyseren van een engineeringvraagstuk omvat de identificatie van het probleem of klantbehoefte, de afweging van mogelijke ontwerpstrategieën / oplossingsrichtingen en het eenduidig in kaart brengen van de eisen / doelstellingen / randvoorwaarden. Hierbij wordt een scala aan methoden gebruikt, waaronder wiskundige analyses, computermodellen, simulaties en experimenten. Randvoorwaarden op het gebied van o.a. (bedrijfs-) economie & commercie, mens & maatschappij, gezondheid, veiligheid, milieu & duurzaamheid worden hierbij meegenomen. Hij laat dit zien m.b.v. de volgende gedragskenmerken:

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Het analyseren van informatie voor gebruik in een vooronderzoek. Deze informatie moet betrouwbaar en duidelijk zijn zodat er geen verkeerde informatie gebruikt wordt.
- Het opstellen van een projectplan. Hiermee wordt het probleem geanalyseerd waarmee de bijbehorende doelstellingen, eisen en randvoorwaarden kunnen worden opgezet.
- Het analyseren van de uit de testen gewonnen data. Tijdens het testen zal er zeer veel data verkregen worden. Het is mijn taak deze data goed te analyseren om zo uit de bruikbare data een goede conclusie te kunnen trekken.

Ontwerpen

Het realiseren van een engineeringontwerp en hierbij kunnen samenwerken met engineers en niet-engineers. Het te realiseren ontwerp kan voor een apparaat, een proces of een methode zijn en kan meer omvatten dan alleen het technisch ontwerp, waarbij de engineer een gevoel heeft voor de impact van zijn ontwerp op de maatschappelijke omgeving, gezondheid, veiligheid, milieu, duurzaamheid (bijv. cradle-to-cradle) en commerciële afwegingen. De engineer maakt bij het opstellen van zijn ontwerp gebruik van zijn kennis van ontwerpmethodieken en weet deze toe te passen. Het te realiseren ontwerp is gebaseerd op het programma van eisen en vormt een volledige en correcte implementatie van alle opgestelde eisen.

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Het ontwerpen van een 4-wegtestdemper in SolidWorks waarbij rekening wordt gehouden met de maakbaarheid, materialen en de vooraf gestelde eisen.
- Het ontwerpen van een testomgeving met de 4-wegtestdemper, sensoren en een datalogger.
- De onderbouwing van de ontwerpkeuzes in verslagvorm.

- Het maken van 2D werktekeningen welke gebruikt worden voor het vervaardigen van de 4-wegtestdemper.

Realiseren

Het realiseren en opleveren van een product of dienst of de implementatie van een proces dat aan de gestelde eisen voldoet. De engineer ontwikkelt hiervoor praktische vaardigheden om engineeringproblemen op te lossen en voert hiervoor onderzoeken en testen uit. Deze vaardigheden omvatten kennis van het gebruik en de beperkingen van materialen, computer simulatie modellen, engineeringprocessen, apparatuur, praktische vaardigheden, technische literatuur en informatiebronnen. De bachelor is ook in staat om de (veelal niet-technische) gevolgen te overzien van zijn werkzaamheden, bijv. op het gebied van ethiek, maatschappelijke omgeving en duurzaamheid.

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Het realiseren van de 4-wegtestdemper, zowel in een 3D-cad omgeving als in de werkplaats.
- Het realiseren van de testomgeving waarmee de data verzameld wordt.
- Het realiseren van een testplan waarin alle variabelen zijn opgenomen om zo gemeten data gestructureerd op te kunnen slaan en terug te kunnen vinden.
- Het realiseren van een document waarin de gemeten data verwerkt wordt en conclusies en aanbevelingen staan.

Beheren

Het optimaal laten functioneren van een product, dienst of proces in zijn toepassingscontext of werkomgeving, rekening houdend met aspecten op het gebied van veiligheid, milieu, technische en economische levensduur.

- Opgedane kennis en informatie die benodigd was voor het tot een goed einde brengen van het project rangschikken in het eindverslag of bijvoegen als bijlage of verwijzing.
- Opstellen van een planning met daarin de verschillende activiteiten en deadlines binnen het project. Tevens wordt deze planning dagelijks bijgehouden om achterstand te voorkomen.
- De vooraf gespecificeerde eisen en voorwaarden gedurende de stage beheren en vanuit daar naar oplossingen zoeken.
- Het opstellen van een testplan waarin alle variabelen zijn opgenomen om zo gemeten data gestructureerd op te kunnen slaan en terug te kunnen vinden.
- Opleveren van het eindverslag met daarin een duidelijke uitleg van de stappen die zijn genomen om tot het uiteindelijke resultaat te komen.
- Feedback van de begeleiders verwerken in onderzoek, testomgeving en eindverslag.

Managen

De engineer geeft richting en sturing aan organisatieprocessen en de daarbij betrokken medewerkers teneinde de doelen te realiseren van het organisatieonderdeel of het project waar hij leiding aan geeft.

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Opstarten van het project aan de hand van een duidelijke probleemstelling, waarin alle randvoorwaarden worden meegenomen.
- Opstellen van een planning met daarin de verschillende activiteiten en deadlines binnen het project. Tevens wordt deze planning dagelijks bijgehouden om achterstand te voorkomen.
- De gemaakte uren bijhouden om weer te geven hoeveel uur er in totaal besteed is aan het project en eventuele kosten door te kunnen berekenen.
- Tijdig opgeven van onderdelen die gemaakt of besteld moeten worden en deze verwerken in de planning

Adviseren

De engineer geeft goed onderbouwde adviezen over het ontwerpen, verbeteren of toepassen van producten, processen en methoden en brengt renderende transacties tot stand met goederen of diensten.

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Opgedane kennis en informatie die benodigd was voor het tot een goed einde brengen van het project rangschikken in het eindverslag of bijvoegen als bijlage of verwijzing.
- Gedurende het project collega's adviseren door onderbouwde conclusies te trekken uit de meetdata.
- Opleveren van het eindverslag waarin een duidelijke conclusie wordt getrokken om zo een onderbouwd advies te kunnen geven aan Intrax.
- Opleveren onderzoek documenten nevenonderzoeken.

Onderzoeken

De engineer heeft een kritisch onderzoekende houding en maakt gebruik van geschikte methoden en technieken m.b.t. het vergaren en beoordelen van informatie, om toegepast onderzoek uit te kunnen voeren. Deze methoden kunnen zijn: literatuuronderzoek, het ontwerp en de uitvoering van experimenten, de interpretatie van data- en computer simulaties. Hiervoor worden databanken, standaarden en (veiligheids)normen geraadpleegd.

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Een uitgewerkt projectplan waarin de volgende dingen zijn meegenomen: Probleemstelling, pakket van Eisen, leerdoelen, afbakeningen, risico's en randvoorwaarden.
- Een vooronderzoek waarin gezocht wordt naar benodigde informatie en mogelijke oplossingen om zo het project tot een goed einde te brengen.
- Opstellen van een planning met daarin de verschillende activiteiten en deadlines binnen het project. Tevens wordt deze planning dagelijks bijgehouden om achterstand te voorkomen.
- De gewonnen meetdata analyseren en onderzoeken om zo een goed onderbouwde conclusie te trekken
- Opleveren van het eindverslag met daarin een duidelijke uitleg van de stappen die zijn genomen om tot de uiteindelijke regeling te komen.
- Mogelijke extra onderzoeken over andere onderwerpen tijdens de stageperiode voor de verbeteringen van de producten van Intrax.

Professionaliseren

Het zich eigen maken en bijhouden van vaardigheden die benodigd zijn om de engineeringcompetenties effectief uit te kunnen voeren. Deze vaardigheden kunnen ook in breder verband van toepassing zijn. Dit omvat onder meer het hebben van een internationale oriëntatie en het kunnen plaatsen van de nieuwste ontwikkelingen, bijvoorbeeld in relatie tot maatschappelijke normen, waarden en ethische dilemma's.

Deze competentie zal tijdens deze stageperiode aanbod komen door middel van de volgende punten:

- Een uitgewerkt Projectplan waarin de volgende dingen zijn meegenomen: Probleemstelling, pakket van Eisen, leerdoelen, afbakeningen, risico's en randvoorwaarden.
- Opstellen van een planning met daarin de verschillende activiteiten en deadlines binnen het project. Tevens wordt deze planning dagelijks bijgehouden om achterstand te voorkomen.
- Leerdoelen bepalen, uitvoeren en het resultaat terugkoppelen naar het leerdoel.
- Opleveren van het eindverslag met daarin een duidelijke uitleg van de stappen die zijn genomen om tot de uiteindelijke regeling te komen.
- Het duidelijk formuleren van de conclusie om Intrax er zo duidelijk van te maken hoe de testopstelling en/of schokdemper werkt en waar verbeterpunten zitten voor de toekomst.

5. Fasering

5.1 Vooronderzoek

Het ontwerpen van een prototype vereist de nodige voorkennis. Zonder voorkennis is het onmogelijk ergens aan te beginnen. Door vooronderzoek te doen wordt bekend wat wel en niet bestaat en wat wel en niet mogelijk is, ook kan er al een richting voor het verdere verloop van het project duidelijk worden.

De deliverables van deze fase zijn:

- Werking Intrax schokdemper volledig begrijpen en documenteren
- Elektrische mogelijkheden in schokdempers onderzoeken
- Onderzoeken welke mogelijkheden andere schokdemperleveranciers gebruiken

5.2 Afbakening (PvE)

Om het project in goede banen te leiden zal er een programma van eisen opgesteld moeten worden. Dit programma van eisen is aan het begin van het project opgesteld om zo het project af te bakenen en sneller en goedkoper tot resultaten te komen. Ook kan er op deze manier dieper op bepaalde zaken ingegaan worden zodat er meer kennis van zaken is en dit zal de kwaliteit ten goede komen.

Inhoudelijke beschrijving van het PvE

Functionele eisen

- De schokdempers hebben dezelfde afstelmogelijkheden als de mechanisch verstelbare schokdempers binnen een marge van 5% afwijking.
- De schokdempers dienen vanuit het dashboard of een externe bron afgesteld te worden.
- Het elektrische mechanisme past in het huidige ontwerp van Intrax.
- De levensduur van het systeem mag niet minder zijn dan van de mechanische schokdempers.
- Het systeem mag het onafgeveerde gewicht van de auto niet of nauwelijks beïnvloeden, maximale gewichtstoename is 400 gram.

Gebruikseisen

- Het systeem moet onderhoudsvriendelijk zijn. De klant hoeft niet meer aan de dempers te doen op onderhoudsgebied dan nu het geval is.
- De klant hoeft nooit meer onder de auto te kruipen voor de schokdempers in verband met afstellen.

Ontwerpbeperkingen

- Het systeem is zo klein als mogelijk, om de oliestroom nauwelijks te beïnvloeden. Het mag in de testdata niet te zien zijn dat er een extra component tussen zit. Maximaal 1% toename van damping.
- Het systeem moet de extreemste rijomstandigheden aankunnen waarin het toegepast zou kunnen worden.

- Er worden zo veel als mogelijk originele Intrax onderdelen gebruikt om de (productie)kosten laag te houden.

5.3 Ontwerpfase

In de ontwerpfase zal er een keuze gemaakt worden met betrekking tot welke methode van verstelling gebruikt gaat worden en welke onderdelen er besteld moeten worden om deze methode te gebruiken. Ook zullen er indien mogelijk al 3D tekeningen gemaakt worden van de te maken of aan te passen onderdelen.

De deliverables van deze fase zijn:

- Keuze verstelmethode
- Leverancier onderdelen
- Eventueel al 3D tekeningen

5.4 Voorbereidingsfase

In de voorbereidingsfase zal alles klaargemaakt worden voor de realisatiefase. De onderdelen die in de ontwerpfase gekozen zijn zullen worden besteld. De 3D tekeningen zullen omgezet worden naar 2D werktekeningen zodat deze de werkplaats in kunnen. En waar nodig zullen machines ingepland worden voor de bewerkingen zodat de planning van Intrax geen problemen tegenkomt.

De deliverables van deze fase zijn:

- Bestellen onderdelen
- Een testplan
- 2D werktekeningen

5.5 Realisatiefase

Tijdens de realisatiefase wordt hetgeen dat in de ontwerpfase bedacht is ook daadwerkelijk toegepast. De onderdelen die aangepast dienen te worden en de nieuwe onderdelen zullen worden gemaakt en worden geassembleerd. Het prototype komt tot stand en deze zal getest worden. Indien nodig worden hier nog aanpassingen aan gemaakt en het eerste testplan wordt doorlopen. Aan de hand van de eerste test wordt een vervolgplan opgesteld en uitgevoerd.

De deliverables van deze fase zijn:

- Vervaardigde onderdelen
- Geassembleerde elektrisch verstelbare demper
- Testrapport van de eerste test
- Vervolg testplan
- Vervolg testrapport

5.6 Nazorgfase

De nazorgfase zal vooral bestaan uit het goed archiveren van het project. Zo moet er een duidelijke uitleg zijn van het testprotocol en wat er precies gemeten wordt om ervoor te zorgen dat er nog meer testen gedaan kunnen worden wanneer de stageloper weg is. Ook de verzamelde en de verwerkte data dienen netjes in een aangegeven map gezet te worden zodat de testresultaten, wanneer nodig, gebruikt kunnen worden voor verdere doeleinden. Ook dient er een verslag ingeleverd te worden welke goedgekeurd dient te worden door zowel de stagebegeleider van Fontys als die van Intrax.

De deliverables van deze fase zijn:

- Naslagwerk van het gehele project
- Getrokken conclusies uit de tests
- Aanbevelingen

6. Projectbeheersing

6.1 Tijd

Het project is op 5 februari 2018 van start gegaan en zal maximaal 21 weken duren. Op 12 juni zal het project uiterlijk afgerond moeten worden. Bij het opstellen van de planning voor dit project wordt een tijd van 21 weken gehanteerd.

6.2 Kwaliteit

Om de kwaliteit te waarborgen zijn er verschillende toetsingsmomenten opgenomen in het project:

- Het projectplan moet goed gekeurd worden waarna het project kan starten.
- Keuzes dienen in overleg doorgevoerd te worden
- Aanschaf van onderdelen gaat altijd in overleg
- Testen worden meerdere malen uitgevoerd onder dezelfde omstandigheden om zo kwalitatief betere resultaten te krijgen.

6.3 Risicoanalyse

Om ervoor te zorgen dat fouten en vertragingen zoveel mogelijk worden uitgesloten wordt, voordat aan het project begonnen wordt, een risicoanalyse gemaakt. Hierdoor komt er een duidelijk overzicht van de verschillende risico's die het project met zich meebrengt en hoe risico's zo klein mogelijk gehouden kunnen worden.

Omschrijving	Kans	Gevolg	Actie
Machines bezet	Groot	Onderdelen prototype niet klaar	Tijdig inplannen machines
Testopstelling bezet	Groot	Geen mogelijkheid tot uitvoeren tests	Tijdig inplannen testbank
Long lead producten	Groot	Lange levertijd op producten	Vroeg bestellen en achteraan bellen voor snellere levering
Testschokdemper faalt	Klein	Onderdelen testschokdemper kapot	Goedkeuring ontwerp door engineer
Teveel tijd besteden aan nevenactiviteiten	Aanwezig	Missen deadlines	Afspraken maken met werkgever
Extra kosten door foutieve onderdelen	Klein	Kosten project hoger dan verwacht	Goedkeuring onderdelen voor fabricage/bestelling

Vooronderzoek

Intrax levert in de basis drie soorten schokdemper. Deze dempers zullen hieronder apart worden behandeld, waarbij de 4 way schokdemper de meeste aandacht krijgt omdat de testdemper ook een 4 way demper is.

Intrax dempers

RS demper

De meest eenvoudige demper van Intrax is de RS demper. Deze demper is niet voorzien van een verstelmecanisme, waardoor het een eerste stap van verbetering van wegligging is na verlagingsveren. RS staat voor Road Sport, hetgeen insinueert dat het een verbetering ten opzichte van standaard is. Intrax garandeert dat dit ook zo is. De wegligging en het comfort worden door deze demper beiden verbeterd doordat er in de auto minder trillingen voelbaar zijn en het geluid wordt minder, en de wielen maken een beter contact met het wegdek omdat de ongelijkheden beter en sneller opgevangen worden door deze dempers.

Bij deze demper is het wel mogelijk om de veer omhoog of omlaag te draaien waardoor de rijhoogte aangepast wordt. Dit zorgt voor een ander weggedrag en ander comfort, hier kan de klant zijn eigen keuzes in maken.



1K2 demper

Als de klant toch wenst om de demping te kunnen verstellen dan kan deze kiezen voor de 1K2 demper. Deze demper kan met een enkele verstelling de ingaande en uitgaande slag aanpassen.



Onder aan de demper zit een draaiknop. Via deze draaiknop wordt binnen in de demper een naald bewogen. Deze naald zal een doorgang groter of kleiner maken, afhankelijk van de draairichting. Als de doorgang groter wordt, kan er makkelijker olie doorheen stromen. Dit zorgt voor minder weerstand en dus minder demping. Hoe dit precies werkt zal in

het onderwerp '4 weg demper' behandeld worden. Naast deze verstelmogelijkheid heeft deze demper dezelfde mogelijkheden als de RS demper.

4 way demper

De meest ingewikkelde demper van Intrax is de 4 way demper. Deze demper heeft niet een maar vier verstelmogelijkheden. Een voor de uitgaande slag, een voor de snelle ingaande slag, een voor de langzame ingaande slag en een verstelling om het hele dempingsgebied te verleggen. De ingaande slag wordt ook wel de bump genoemd, en de uitgaande slag rebound. Deze termen zullen gebruikt worden in het vervolg van dit verslag. Waar deze verstelmogelijkheden zich op de demper bevinden is op de volgende pagina te lezen.

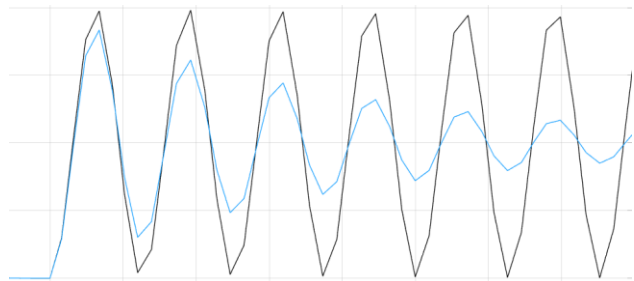
1. reboundverstelling
2. High frequency bump verstelling
3. Low frequency bump verstelling
4. Dampingsgebied verleggen



Damping

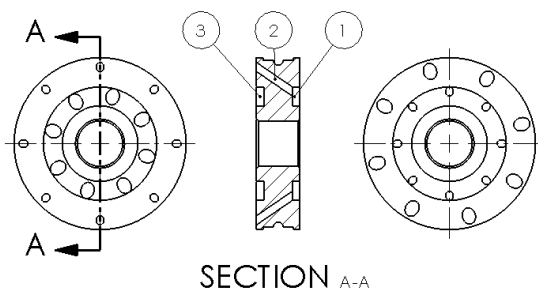
Als een auto omlaag gedrukt wordt, bijvoorbeeld door een drempel, dan zal de veer er voor zorgen dat deze weer omhoog gedrukt wordt. De veer wil namelijk terug naar zijn evenwichtspositie, de positie waarbij de kracht op de veer gelijk is aan de kracht geleverd door de veer. De veer zal door de opgebouwde snelheid van het terugduwen doorschieten en te ver uitgerekt worden. Dit doorschieten zorgt ervoor dat het gewicht boven op de veer weer de overhand krijgt en de veer terug indrukt. Zo zal het geheel om de evenwichtsstand blijven schommelen. Tenzij er damping aangebracht wordt, want dan zal de trilling zijn energie verliezen en (sneller) terugkeren naar de evenwichtstand.

Hiernaast is een Simulink grafiek te zien van een ongedempte trilling (zwart) en een gedempte trilling (blauw). De gedempte trilling zal iedere trilling een bepaald percentage van de energie afstaan aan de demper. De demper zet deze mechanische energie om in warmte.



Zuiger

De dempers van Intrax dempen op verschillende plaatsen. Zo is er de zuiger, deze is verbonden aan de spindel. De zuiger beweegt op en neer in olie. Deze olie zal voorbij de zuiger moeten stromen wil deze beweging mogelijk gemaakt worden, olie kan immers niet gecomprimeerd worden dus moet deze wel verplaatst worden. De zuiger is voorzien van gaten, deze lopen diagonaal van de boven kant naar de onderkant, zie afbeelding.



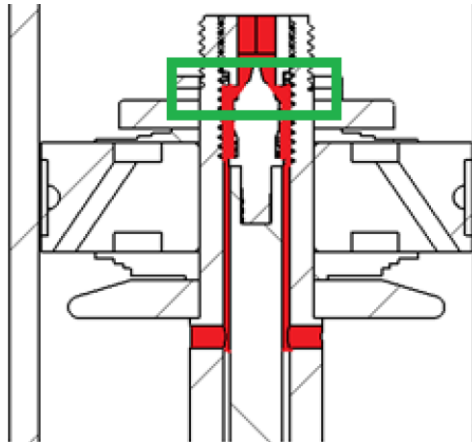
Op de meest linkse afbeelding is te zien dat in de buitenring kleinere gaten zitten dan in de binnenring. De kleine gaten zijn in de middelste afbeelding ook te zien bij nummers 1 en 2. De kanalen lopen diagonaal waardoor aan de andere kant van de zuiger (rechter afbeelding) de kleine gaten in de binnenring liggen. Hier liggen de grote gaten in de buitenring. Dit is zo gedaan

dat aan beide kanten een andere damping creëerd kan worden. Op de binnenring wordt een stapel van hele dunne ringetjes gelegd, shims. Deze shims hebben een dikte van 0,10 tot 1 mm. De shims zorgen ervoor dat de olie niet door de binnenring kan stromen omdat deze afgedekt is. Wel kan de olie via de buitenring naar de andere kant. Als de olie vanuit de binnenring weg van de zuiger wil zal de olie

de shims weg moeten duwen. Deze weerstand zorgt voor extra demping. Hoe de stapel van shims, shimstack, opgebouwd is, is een precieze wetenschap die Intrax niet naar buiten gebracht wil hebben.

Bypass

Naast de demping in de zuiger gaat er ook olie door de zuigerstang, de spindel, heen. Deze oliestroom is een bypass om de zuiger. Dit wordt gedaan om verschillende redenen, zoals het aanbrengen van een

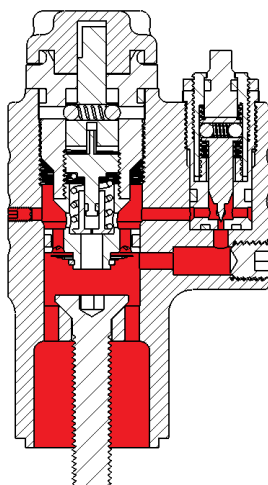
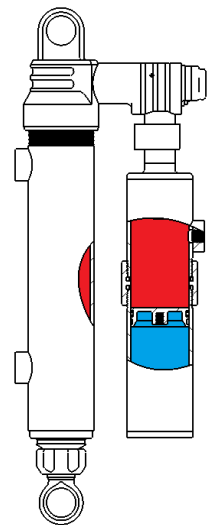


verstelling, en/of het verschil tussen rebound en bump aan te passen.

Het rode gebied is het gebied waar de olie stroomt. De olie kan dus vanuit de gaten onder door de spindel heen naar boven stromen en in omgekeerde richting. De kleinste doorgang bevindt zich in de groene rechthoek. Daar is een naald en een naaldzadel bevestigd. Deze samen zorgen voor de kleine doorgang, en daarmee voor de grootste weerstand. In het onderdeel rebound verstelling zal hier dieper op ingegaan worden.

Lage en hoge frequentie

Hierboven is de demping binnen in de demperbuis besproken. Dit is niet alle demping die plaatsvindt in de Intrax 4 way schokdemper. De demperbuis is namelijk niet het enige onderdeel van deze demper, er bevindt zich nog een tweede ruimte in het geheel. Dit noemt men het potje. In dit potje zit voor een gedeelte olie (rood), en een gedeelte gas (blauw). De twee zijn gescheiden door een scheidingszuiger. Het gas zit er om ook zonder belasting toch een minimale druk op de olie uit te oefenen. Dit zorgt ervoor dat cavitatie tegengegaan wordt. Cavitatie is het koken van in dit geval olie door lage druk. Bij lage druk (kleiner dan 1 bar) wordt namelijk het kookpunt van een stof verlaagt en zal deze dus eerder gaan koken. Als de zuiger beweegt zal deze aan een kant drukken en aan de andere kant trekken. Dit trekken zorgt voor een onderdruk waardoor het kookpunt dus afneemt. Als de olie gaat koken zullen er gasbellen ontstaan en raakt de olie vervuult. Hierdoor zal de demper minder goed zijn functie kunnen vervullen. Dit wordt tegengegaan door de gasdruk.

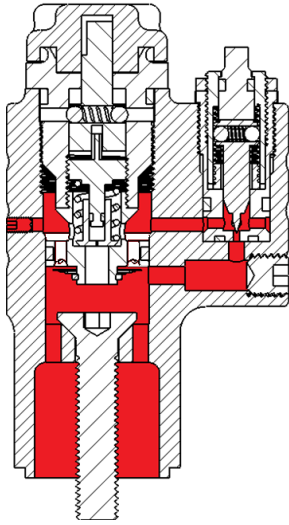


Tussen de demperbuis en het potje zit een verbindingsstuk. In bovenstaande afbeelding is het een vast tussenstuk, maar het kan ook door middel van een slang gebeuren.

Dit tussenstuk is voorzien van enkele onderdelen en kanalen waardoor extra demping wordt verkregen. Hiernaast is een doorsnede van het tussenstuk te zien. Wederom is met rood het olie stroomgebied aangegeven.

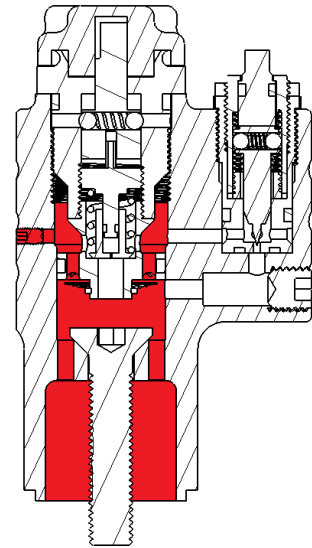
Als heen en terug even buiten beschouwing gelaten worden zijn er in het tussenstuk twee stroomrichtingen mogelijk. Namelijk de hoge frequentie route en de lage frequentie route.

Wat hoge en wat lage frequentie is, verschilt per demper en toepassing. Dit is niet exact vastgesteld en is vooral afhankelijk van weerstand en demperconfiguraties.



Bij de lage frequentie zal de olie de langste weg volgen, namelijk via de zijkamer zoals hiernaast te zien is. De lage frequentie demping wordt voornamelijk gebruikt bij het remmen, optrekken en hangen in de bochten van het voertuig.

Bij een snellere belasting, zoals het rijden over stenen of het nemen van kurbstones zal de weerstand van de lage frequentie te groot zijn omdat het een zeer kleine doorgang is van $\varnothing 1,30$ mm. Door deze hoge weerstand zal de olie een alternatieve route zoeken. Deze route is rechts te zien. De olie kan deze route niet nemen bij lage frequentie omdat de doorgang geblokkeerd is door een shim. Bij de hoge frequentie is de oliedruk hoog genoeg om deze shim opzij te drukken en toch de olie door te laten, bij lage frequentie zal dit niet lukken.

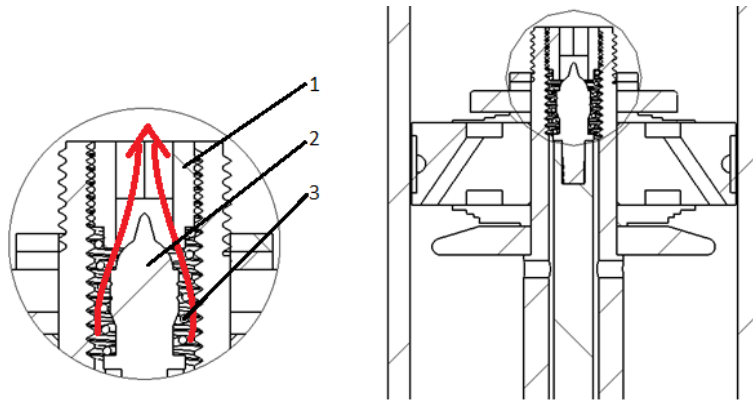


Verstelling

Er zijn dus vier manieren van demping in een Intrax schokdemper zoals hierboven beschreven. Drie van deze manieren zijn voorzien van een of meerdere verstelmechanismen.

Rebound verstelling

De 4 weg schokdemper is zo ontworpen dat voor de bump en voor de rebound de demping apart te regelen is. De rebound verstelling zal dus (bijna) alleen de rebound demping beïnvloeden. Bijna tussen haakjes omdat in sommige dempers van Intrax de bump ook in mindere mate zal mee veranderen met deze verstelling. Hieronder is de verstelling van de rebound versteller te zien. in het rood is het olie stroomgebied aangeduid.



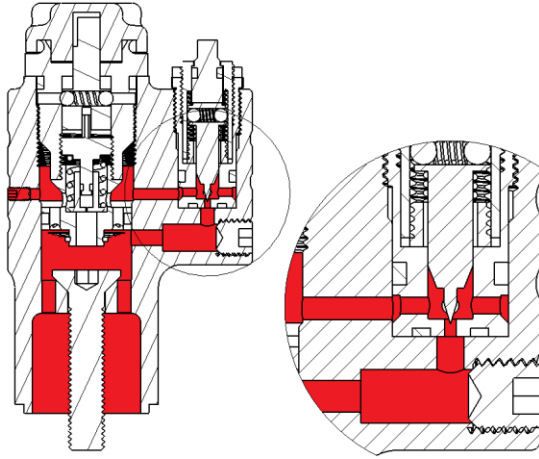
De naald (2) is via een pen verbonden aan de verstelknop. Deze naald wordt door de verstelling naar boven gedrukt, en gelijktijdig door een veer (3) naar beneden gedrukt. Hierdoor blijft de naald constant op dezelfde plaats totdat deze versteld wordt. De doorgang tussen de naald en het naaldzadel (1) bepalen hoe hoog de demping is.

Hoe groter de doorgang, des te kleiner de weerstand is en dus minder demping. Zoals de situatie hierboven beschreven is geldt deze verstelling voor zowel de bump als de rebound. Toch wordt het de rebound verstelling genoemd. Aan de buitenkant van de spindel is schroefdraad getekend. Normaliter wordt op deze draad een moer bevestigd om het geheel op te sluiten. Deze moer is voorzien van een centraal gat en daar omheen nog zes gaten. Het centrale gat is voorzien van schroefdraad. Hierin wordt een schroefje geschroefd met daartussen een shim en een veer. Dit zorgt ervoor dat de gaten in de moer afgedicht zijn. Door deze afdichting kan de olie in bump richting niet langs de moer, alleen in rebound richting aangezien de olie dan de veer in kan drukken waardoor de shim aan de kant gaat.

Eerder werd genoemd dat het ook mogelijk is om toch de bump met deze verstelling ook te beïnvloeden. In dat geval is het schroefje ook doorboord waardoor er toch een kleine doorgang voor de bump ontstaat door de bypass.

Lage frequentie verstelling

De lage frequentie damping is zeer belangrijk om het weggedrag van het voertuig te bepalen tijdens remmen, optrekken en in de bochten. Daarom is het van belang dat deze damping af te stellen is in de 4 way demper van Intrax.

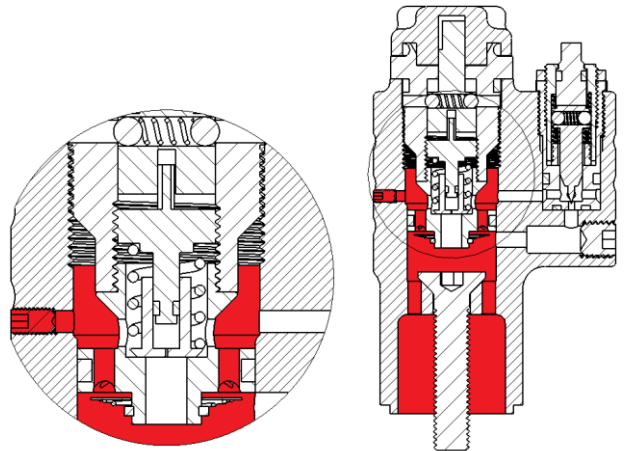


Hiernaast is nogmaals het verbindingsstuk te zien. De lage frequentie oliestroom is wederom aangegeven. In het uitvergrootte deel is de beperkende doorgang te zien. Deze doorgang wordt verder beperkt door de naald die er in steekt. Door boven op het verbindingsstuk aan de lage frequentie verstelknop te draaien wordt deze doorgang gereguleerd op eenzelfde manier als bij de rebound verstelling. Enige verschil is dat hier niet met een veer op de naald gewerkt wordt maar in de verstelling zit een veer waardoor de ingestelde waarde behouden blijft. De lage frequentie damping is voor de

bump en rebound even veel toegankelijk waardoor het effect van verstellen op beide dempingen even groot zal zijn.

Hoge frequentie verstelling

De hoge frequentie verstelling is alleen bedoeld voor de bump damping. Rechts is de oliestroom in het verbindingsstuk te zien voor deze verstelling. Deze verstelling berust als enige niet op het veranderen van een doorgang, maar op het aanpassen van de voorspanning op een veer. Zoals eerder vermeld zijn de gaten door deze verstelling afgedicht met een shim waar een veer tegen aan drukt. Door aan de verstelknop te draaien wordt de aanslag van de veer verplaatst waardoor de veerlengte verandert. Dit zorgt ervoor dat de kracht van de veer op de shim ook verandert. Als de veerlengte kleiner wordt zal de kracht groter worden en dus zal het voor de olie moeilijker worden om de shim aan de kant te drukken. Hierdoor neemt de damping toe. Bij meer veerlengte wordt het tegenovergestelde bereikt, minder oliedruk nodig en dus minder damping.



Bereikverstelling

Er zijn tot nu toe drie van de vier verstellingen aan bod gekomen. Dan blijft er nog maar een over. Dit is de bereikverstelling. Deze verstelling wordt gedaan door de lage frequentie versteller in zijn geheel te verstellen. Dit gebeurt niet met het draaiknopje bovenop maar door de zeskant bovenop de versteller te verdraaien. Deze zorgt ervoor dat het geheel hoger of lager komt te staan. Deze verstelling wordt door de klanten meestal niet benut omdat Intrax de dempers zo aanlevert dat deze verstelling in de meeste gevallen overbodig is.

Dempers andere leveranciers

Een elektrisch verstelbare demper is niet nieuw in de wereld. De allereerste elektrische schokdemper dateert uit de jaren 80 van de vorige eeuw. Tegenwoordig worden ze door veel merken ontwikkeld en geproduceerd. Met name de duurdere automerken komen met steeds betere elektrische schokdempers. Ook de aftermarket leveranciers, en dus concurrenten van Intrax, komen langzaamaan met plug and play elektrisch verstelbare schokdempers.

De 'andere leveranciers' zijn in twee groepen onder te verdelen, namelijk de automerken en de aftermarket leveranciers. Er is onderzoek gedaan naar welke merken een of meerdere vormen van elektrisch verstelbare schokdempers aanbieden en welke manier van verstelling de merken gebruiken in deze dempers. De bevindingen worden eerst uitgelegd en zijn daarna in onderstaande tabel bij elkaar gezet.

Stappenmotor

De handmatige verstelling gebeurt aan de hand van 'clicks'. Een click is een bepaalde verdraaiing waarbij steeds een klikgeluid gemaakt wordt. Iedere click is een verstelling. Deze handmatige clicks kunnen vervangen worden door stappenmotoren die per stap of per aantal stappen precies een click verspringen. Hiermee kan de demper op eenzelfde manier afgesteld worden, zonder aan knoppen te hoeven draaien. De aansturing hiervan kan gebeuren aan de hand van een computer en display met plus en min knoppen voor de drie soorten verstellingen. Door Intrax is er al geprobeerd een stappenmotor op de demper te bevestigen maar dit bleek te zwaar, te kwetsbaar en niet praktisch. Meer informatie over de stappenmotor is te vinden in de bijlage 'onderzoek stappen motor Intrax'.

Spoel

Een spoel is een elektrische component die bestaat uit wikkelingen van (koper)draad. Door een stroom op de spoel te zetten zal er een magnetische kracht ontstaan volgens de rechterhand-regel. Door een magnetiseerbare kern te nemen, zoals ijzer, wordt de magnetische kracht versterkt. Door de magnetische kracht zal de kern in de richting van het ontstane veld geduwd worden. De kern kan zo gekozen worden dat deze de doorgang groter of kleiner maakt, of een grotere of kleinere voorspanning op de veer teweegbrengt.

Voordelen spoel

- Eenvoudig aan te sturen door middel van een variabele voedingsstroom
- Schakeltijden onder 10 ms mogelijk
- Kosten laag door weinig en goedkope componenten
- Accuspanning (12V) is voldoende voor de aansturing

Nadelen spoel

- Zwaar door de vele koperen wikkelingen
- Neemt veel plaats in beslag door de vele wikkelingen

Magnetorheologische vloeistof

Een magnetorheologische vloeistof (MR vloeistof) is een vloeistof, meestal een soort olie, waar zich magnetische deeltjes in bevinden in de grootteorde van 10 micrometer. Wanneer er een magnetisch veld op de vloeistof wordt aangebracht zullen deze deeltjes zich gaan ordenen in de richting van de magnetische veldlijnen, zie afbeelding hiernaast. Door deze ordening wordt de vloeistof viskeuzer. Door het viskeuzer worden zal de dempingswaarde toenemen.



Bij een sterk genoeg magnetisch veld kan de vloeistof zich als een vaste stof gedragen, totdat er voldoende kracht op gezet wordt, dan wordt deze weer vloeibaar.

Het grote nadeel van magnetorheologische vloeistof is dat de relatief grote magnetische deeltjes na verloop van tijd sedimenteren. Dit zorgt ervoor dat de vloeistof zijn eigenschappen verliest en niet meer bruikbaar is.

Voordelen magnetorheologische vloeistof

- Viscositeit zeer precies te bepalen, 0,1% afwijking
- Schakeltijden onder 20 ms mogelijk
- Accuspanning (12V) is voldoende voor de aansturing

Nadelen magnetorheologische vloeistof

- Slijtage aan alle onderdelen door de magnetische deeltjes
- Kosten niet bekend, olie moeilijk te verkrijgen
- Korte levensduur olie door vorming neerslag

Elektorheologische vloeistof

Een elektorheologische vloeistof (ER vloeistof) is te vergelijken met de magnetorheologische vloeistof. Het is een elektrisch isolerende vloeistof met niet geleidende, elektrisch actieve deeltjes erin verwerkt. Deze deeltjes zijn ongeveer 50 micrometer groot. De viscositeit van deze vloeistof kan veranderen door er een elektrische stroom op te zetten. Deze viscositeit kan met een factor 100.000 veranderd worden in enkele milliseconden.

Een dergelijke vloeistof kan gemakkelijk gemaakt worden door maiszetmeel te mengen met plantaardige olie of siliconen olie. Deze olie is niet geschikt voor schokdempers.

Voordelen elektorheologische vloeistof

- Viscositeit zeer precies te bepalen, 0,1% tolerantie
- Reactietijden onder de 10 ms mogelijk
- Accuspanning is voldoende voor de aansturing

Nadelen elektorheologische vloeistof

- Slijtage aan alle onderdelen door de elektrisch actieve deeltjes
- Kosten niet bekend, olie moeilijk te verkrijgen
- Korte levensduur olie door vorming neerslag

Servomechanisme

Een servomechanisme is een apparaat dat een mechanisch systeem kan regelen zonder een directe mechanische verbinding. Het mechanisme meet constant de werkelijke waarde en vergelijkt deze met de gewenste waarde. Deze werkelijke waarde wordt constant aangepast richting de gewenste waarde. Ook wel closed loop systeem genoemd. Hierdoor valt het servomechanisme onder de actieve schokdempers, hetgeen voor Intrax niet wenselijk is omdat de reglementen van alle raceklassen dit niet toelaten.

Voordelen servomechanisme

- Afwijkingen in de gewenste waarde worden direct gecorrigeerd
- Reactietijden onder 50 ms mogelijk

Nadelen servomechanisme

- Terugkoppeling nodig bij closed loop systeem
- Duur omdat er ook een terugkoppelingssysteem nodig is
- Veel componenten nodig in verband met het terugkoppelen

Piëzo element

Een piëzo element is een stuk materiaal die bij het aanbrengen van mechanische kracht een elektrische spanning opwekt. Deze elektrische spanning is afhankelijk van het materiaal en de kracht.

Het effect kan ook omgedraaid worden. Door een elektrische spanning op een piëzo element te zetten zal deze vervormen. Piëzo elementen kunnen 0,1 – 0,15% lengteverandering ondergaan. Stel dat er een element van 40mm genomen wordt dan is de maximale lengteverandering ongeveer 0,06mm. Dit is zeer weinig. Om hier toch gebruik van te maken kan er een schotelveer gebruikt worden. Deze zijn compact en leveren een grote kracht bij een kleine vervorming. De piëzo elementen zorgen voor een zeer stabiele vervorming. De stijfheid van een element ligt in de buurt van 10^9 N/m², afhankelijk van de samenstelling van het element. Ook de reactiesnelheid is zeer hoog, deze kan oplopen tot 100 G, oftewel 981 m/s².

Het probleem bij piëzo elementen is dat er met een hoog voltage gewerkt moet worden, dit kan oplopen tot meer dan 100V, iets wat in een benzine- of diesel auto niet voorkomt.

Hiernaast zijn enkele Piëzo elektrische actuatoren te zien, met een paperclip om de grootte aan te duiden. Zoals te zien is zijn deze actuatoren zeer klein van formaat, en daardoor ideaal om in een schokdemper te verwerken.

De nadelen van deze actuatoren is dat ze een zeer kleine slag maken, maximaal enkele tienden mm. Dit maakt ze dan ook gelijk een stuk minder aantrekkelijk. Maar door enkele aanpassingen in de

schokdemper zou dit alsnog kunnen werken. Het grootste nadeel is de benodigde spanning om deze slag te realiseren. Voor een auto is dit niet ideaal, aangezien de

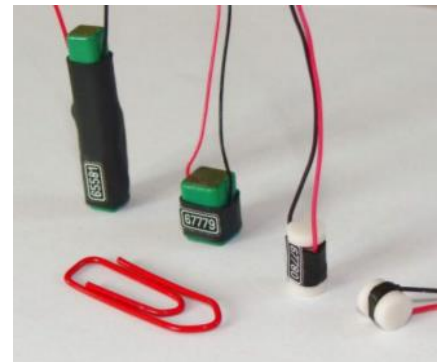


Figure 29 Piezo elementen

meeste componenten werken met maximaal 5 of 12 V.

Voordelen piëzo element

- Zeer stabiel door hoge stijfheid
- Zeer snelle reactie door de hoge acceleratie
- Compact vanwege de kleine elementen
- Lichtgewicht

Nadelen piëzo element

- Niet bruikbaar op een auto accu (12V)
- Zeer beperkte slag, minder dan 1 mm

Hieronder volgt een lijst van schokdemperleveranciers met daarbij de door hun gebruikte methoden.

	Mechanisch				Elektrisch			
Leverancier	Demontage verstelling	Draaiknop doorgang	Draaiknop voorspanning	Andere manier	Stappen motor	ER / MR vloeistof	Servo systeem	Spoel
Autoproducenten								
Audi						X	X	X
BMW						X		
Porsche						X		X
VW						X		
Volvo						X		
Renault						X		
Toyota						X		
Honda						X		
Schokdemper leveranciers								
Koni	X	X	X		X			X
Reiger		X	X					
Bilstein		X	X		X		X	X
Ohlins		X	X		X			
Sachs		X	X					
Weitec	X	X	X					
H&R	X	X	X					
Tractive		X	X					X

Van de autoproducenten is Audi de maatstaf op het gebied van elektrisch verstelbare dempers. Er zijn van de andere merken ook prototypes ontwikkeld maar er zijn nog niet meer elektrisch verstelbare dempers in productie genomen. De ER en MR vloeistoffen hebben de overhand bij de autoproducenten, terwijl deze bij de schokdemper leveranciers helemaal niet in trek zijn. Reden hiervoor lijkt te zijn dat deze vloeistoffen een beperkte levensduur hebben aangezien er microscopisch kleine metaaldeeltjes in de olie zweven die na verloop van tijd neerslag vormen.

De schokdemper leveranciers die een elektrisch verstelbare demper aanbieden maken vooral gebruik van stappenmotoren of spoelen. Deze componenten zijn in allerlei soorten en maten te verkrijgen en zijn daardoor goedkoop. Dit kan reden zijn dat de leveranciers voor deze oplossingen kiezen.

Elektrische mogelijkheden

Bovenstaand zijn alle bekende methoden van elektrische verstelling onder de loep genomen. Deze methoden bieden allemaal kansen, maar sommigen hebben meer de voorkeur dan anderen.

Even kort de methoden die voorbij gekomen zijn:

- Stappenmotor
- Spoel
- MR vloeistof
- ER vloeistof
- Servomechanisme
- Piëzo element

Enkele methoden vallen bij voorbaat af.

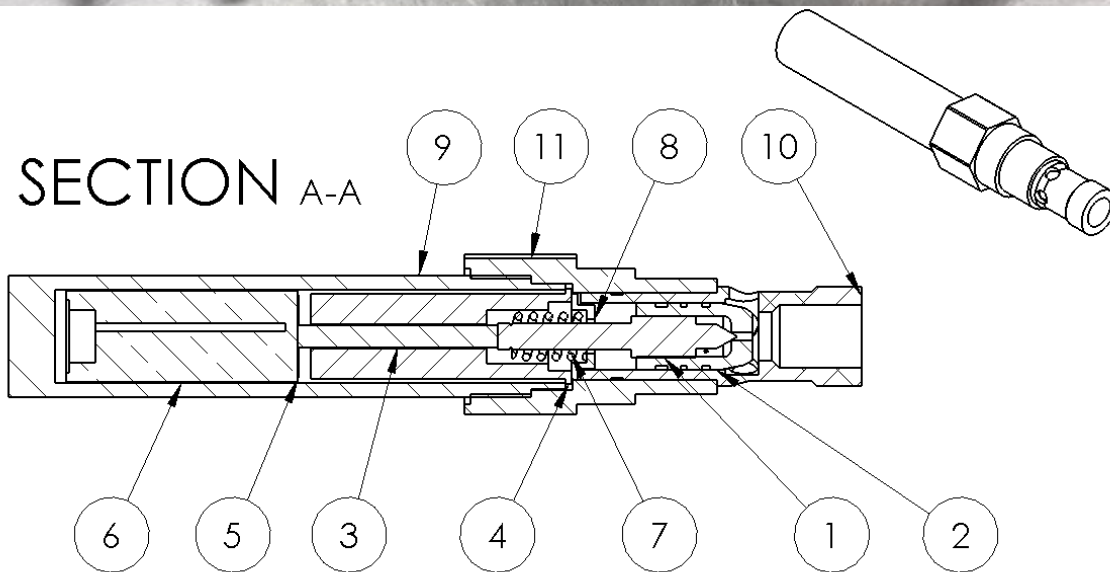
- Stappenmotor wordt niet verder op ingegaan omdat er door Intrax eerder een onderzoek naar gestart is en daaruit is gebleken dat de stappenmotor te veel nadelen heeft. Deze nadelen zijn voornamelijk de kwetsbaarheid en het inleveren van veel plaats bij de inbouw omdat de stappenmotor extern op de schokdemper bevestigd moet worden.
- MR en ER vloeistoffen wordt niet verder op ingegaan omdat de levensduur te beperkt is en omdat de Intrax schokdempers onder extreme omstandigheden gebruikt worden. Tijdens deze omstandigheden moet de olie volledig betrouwbaar zijn en geen slijtage veroorzaken, iets wat met deze oliën niet gegarandeerd kan worden.
- Servomechanisme wordt niet verder op ingegaan omdat er op het moment geen enkele raceklasse is die het toelaat om actieve vering te gebruiken. Hierdoor is het voor Intrax niet interessant om dit door te ontwikkelen.

Deze afvallers zorgen ervoor dat er nog maar twee methoden overblijven, namelijk de spoel en het piëzo element. Hiermee wordt verder gegaan in het vormen van concepten.

Onderzoek stappenmotor

Onderdelen cartridge

De cartridge is het onderdeel waarin de verstelling gerealiseerd wordt. Om deze goed te kunnen integreren zal eerst onderzocht worden hoe deze cartridge de verstelling doet, zodat duidelijk wordt welke onderdelen wel en welke niet aangepast kunnen worden. Om de werking hiervan te onderzoeken wordt de cartridge zo ver als mogelijk uit elkaar gehaald. Hieronder zijn de onderdelen te zien waaruit



de cartridge bestaat.

1. De naald. Deze naald drukt meer of minder, afhankelijk van de output van de spoel, tegen de verstelpel (2) waardoor de verstelpen de opening in het mondstuk (10) kleiner of groter maakt. Bij kleiner worden van de opening zal er minder olie kunnen doorstromen waardoor de dempingswaarde toe zal nemen.
2. De verstelpen. Deze regelt de doorstroming in de cartridge. In het midden zit een klein gaatje. Dit gaatje is er om drukverschillen tussen voor en achter de verstelpen op te vangen. Als er voor de verstelpen, in dit geval rechts, een hogere druk is dan achter de verstelpen dan zal de naald een klein beetje aan de kant gedrukt worden waardoor de druk voor en achter de verstelpen gelijk wordt. Als de druk overal gelijk is wordt de verstelpen onafhankelijk van de druk waardoor het systeem stabiel blijft. Sun noemt dit het 'zwevende verstelling' principe. Als de druk voor de verstelpen lager is dan achter de verstelpen zal er olie van achteren naar voren moeten stromen om dit verschil weg te werken. In de zijwand van de verstelpen zit een gaatje waardoor deze oliestroom kan plaatsvinden. De diameters van beide gaten zijn zeer klein, 1 mm voor het gat bij

de naald en 0,5 mm voor het gat in de zijkant. Omdat het volume olie achter de verstelpen zeer klein is, minder dan 1 cm^3 hoeven de gaten niet groter te zijn doordat een drukverschil snel opgevangen kan worden.

3. De drukstift. De drukstift beweegt de naald, die op zijn beurt de verstelpen beweegt. De drukstift bevindt zich in een geleider (4) die er voor zorgt dat de drukstift alleen in een rechte lijn kan bewegen om zo de verstelling zo accuraat als mogelijk te maken.
4. De geleider. De geleider zorgt ervoor dat de drukstift in een rechte lijn beweegt. Daarnaast is de geleider voorzien van een aanslag. Deze aanslag zorgt ervoor dat de geleider opgesloten is en dus niet kan bewegen ten opzichte van het huis.
5. De shim. De shim is bevestigd tussen de geleider en de spoelkern (6) om de travel van de verstelpen op een door Sun vastgestelde waarde te krijgen. Met deze shim worden productie onnauwkeurigheden weggewerkt.
6. De spoelkern. De spoelkern is hetgeen wat door de spoel bewogen wordt en daarmee de verstelling in gang zet. De spoelkern drukt tegen de drukstift aan. De maximale verplaatsing van de spoelkern is de afstand tussen de geleider en de shim. Als de spoelkern de shim tegen de geleider aandrukt is de maximale verplaatsing bereikt en kan er dus niet meer travel plaatsvinden. In de spoelkern is een kleine doorgang aanwezig om olie tot achter de spoelkern te laten stromen, zodat drukverschillen opgeheven kunnen worden. Dit is gedaan om de zwevende verstelling te realiseren. Als de spoel wordt voorzien van een stroomsterkte groter dan 0 A dan zal deze een elektrisch veld opwekken met een bepaalde richting. Het is een normaal open systeem dus zal bij bekrachtigen van de spoel een elektrisch veld nodig zijn richting de verstelpen. Hierdoor wordt de spoelkern naar rechts gedrukt, de drukstift zal de naald bewegen en deze naald zal de verstelpen met dezelfde afstand verplaatsen. Aan de hand van de rechterhandregel is te bepalen dat de wikkelingen van de spoel van links naar rechts lopen met de klok mee gedraaid. Hoe hoger de stroomsterkte hoe hoger de magnetische veldsterkte waardoor de verstelpen met een grotere kracht naar rechts gedrukt zal worden. Samen met de veer (7) zal hier een evenwicht ontstaan.
7. De veer. De veer zit opgesloten tussen de veerschotel (8) en de drukstift. De veerschotel zit net zoals de geleider opgesloten in het systeem waardoor deze niet kan bewegen. Dit zorgt ervoor dat bij beweging naar rechts van de spoelkern en dus van de drukstift er indrukking van de veer plaatsvindt. Deze indrukking zorgt samen met de veerconstante voor een specifieke veerkracht. De veerkracht werkt in tegengestelde richting van de drukkracht geleverd door het magnetische veld. Op het punt waar deze twee krachten even groot zijn zal zich een evenwicht ontwikkelen waardoor de opening gemaakt door de verstelpen een vaste waarde aanneemt. Deze doorgang laat een specifieke hoeveelheid olie door per tijdseenheid. Omdat het een zwevende verstelling is maakt het niet uit hoe hoog de druk van de olie is, het systeem is hier ongevoelig voor. Sun heeft vastgesteld dat de zwevende verstelling stabiel is tot een druk van 350 bar.
8. De veerschoten. De veerschotel is het aanlegvlak van de veer en zorgt er voor dat de veer ingedrukt kan worden door de drukstift. De veerschotel ligt tegen het verstelpenhuis (10) aan.
9. Het spoelhuis. Het spoelhuis zorgt samen met het koppelstuk (11) dat alle eerder benoemde onderdelen samen opgesloten zijn en in die ruimte hun werk kunnen doen. Over het spoelhuis wordt de spoel geschoven die het geheel zal aansturen. De spoel wordt opgesloten door de sluitmoer (12). Het spoelhuis wordt met M16x0,75 draad in het koppelstuk gedraaid.

10. Het verstelpenhuis. Het verstelpenhuis zorgt samen met de verstelpen voor de voor het creëren van de specifieke doorlaat. Het verstelpenhuis is met een afdichting in het koppelstuk geperst.
11. Het koppelstuk. Het koppelstuk is verbonden met het spoelhuis en het verstelpenhuis. Daarnaast is het koppelstuk voorzien van M16x1,5 draad waarmee de complete cartridge in een ventielenblok bevestigd kan worden.

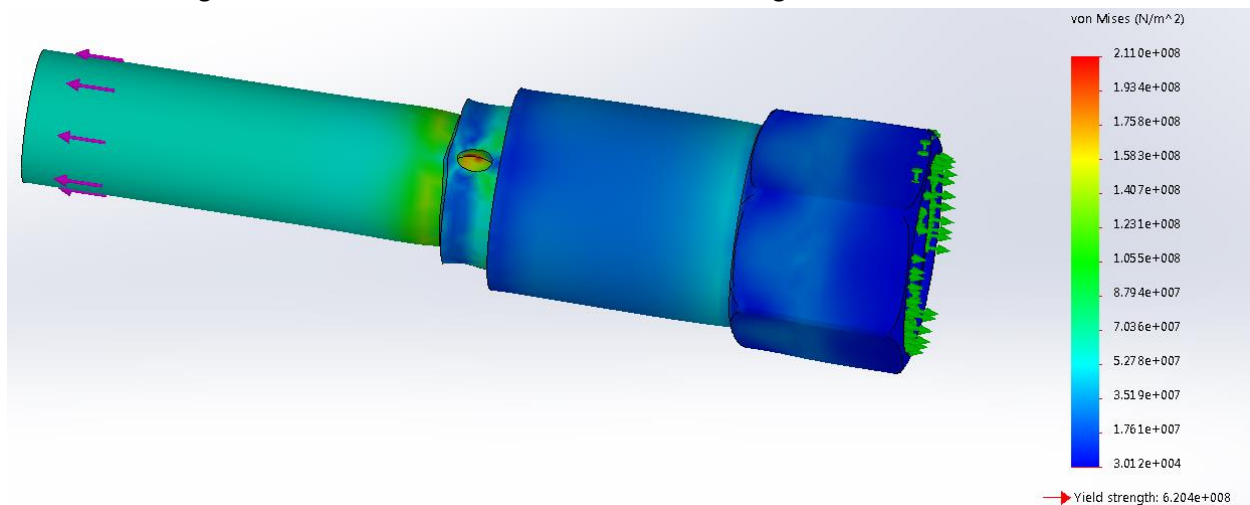
Nieuwe onderdelen voor elektrisch verstelbare demper

Zuigerdeel spindel

Om de spoel te verwerken in de spindel zijn er enkele nieuwe onderdelen nodig. Een onderdeel hiervan is het deel waar de zuiger met de shimpakketten opkomt. Deze moet de trekkracht aankunnen die de zuiger te verwerken krijgt.

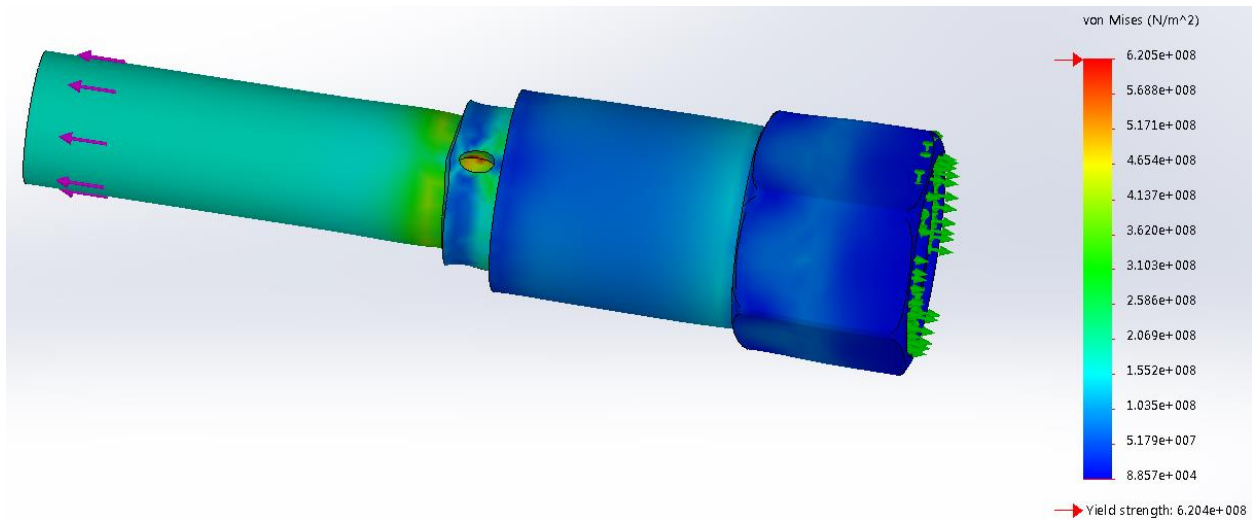
Uit de test met de demper zonder elektrische verstelling, de standaard testdemper, blijkt dat de maximale trekkracht bij de hoogste dempingswaarde 5113 N is. Om te beginnen zal gekeken worden of het nieuwe onderdeel deze kracht aan kan. Daarna zal bepaald worden bij welke kracht het deel wel kapot zal gaan, als dit nog niet gebeurd is. Zo wordt de veiligheidsfactor voor dit onderdeel bepaald. Als de factor $K > 2$ dan wordt het onderdeel goedgekeurd.

De eerste meting met een trekkracht van 5113 N leverde het volgende resultaat:



Zoals te zien is haalt de Von Mises stress een maximale waarde van $2,110 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ terwijl de Yield Strenght een waarde heeft van $6,204 \cdot 10^8$. De rek die optreedt in het onderdeel is maximaal $1,58 \cdot 10^{-2}$. De Von Mises stress is dus lager dan de Yield Strenght, en omdat het onderdeel in de praktijk ook alleen lineair belast wordt mag geconcludeerd worden dat het onderdeel bij een trekkracht van 5113 N heel blijft.

Na enkele simulaties is de trekkracht gevonden waarbij het onderdeel plastisch vervormd wordt. Plastische vervorming treedt op wanneer de Von Mises stress hoger is dan de Yield Strenght.



Hierboven is deze simulatie te zien. De aangebrachte trekkracht is 15035 N. De hierbij behorende maximale verplaatsing in het deel is $4,65 \cdot 10^{-2}$ mm waarna het onderdeel plastisch vervormt.

Als deze trekkracht vergeleken wordt met de werkelijke trekkracht dan volgt daar de veiligheidsfactor uit. Deze factor is $K = \frac{F_{kapot}}{F_{test}} = \frac{15035}{5113} = 2,94$

$2,94 > 2$ dus het onderdeel is goedgekeurd, maar er is in de simulatie geen rekening gehouden met de voorspankracht veroorzaakt door de sluitmoer op het shimpakket. De draad van deze moer is M14x1 en het aanhaalmoment is 25 Nm. De daarbij behorende trekkracht is 15,7 N. de berekening hiervan is uitgewerkt op de volgende pagina.

In vergelijking met de trekkracht van 5113 N is de 15,7 N verwaarloosbaar klein. Aangezien de trekkracht een $K = 2,94 > 2$ heeft mag de 15,7 N inderdaad verwaarloosd worden. Het is dus niet nodig deze kracht in de simulatie bij te voegen.

Berekening extra trekkracht aanhaalmoment

De extra trekkracht in de spindel veroorzaakt door het aanhaalmoment van 25 Nm op de M14x1 moer wordt hieronder berekend. De formules komen uit het boek van Roloff en Matek en de ontbrekende gegevens komen van www.werktuigbouw.nl.

De situatie betreft metrische ISO schroefdraad met een tophoek van 60° en de wrijvingscoëfficiënten $\mu_G = \mu_K = \mu_{tot}$ zijn gelijkgesteld.

$$M_A = F_{VM} \left[0,159 * P + \mu_{tot} \left(0,577 * d_2 + \frac{d_K}{2} \right) \right] \quad (8.26)$$

$$F_{VM} = \frac{M_A}{0,159 * P + \mu_{tot} \left(0,577 * d_2 + \frac{d_K}{2} \right)}$$

$$M_A = 25 \text{ Nm}$$

$$P = 1 \text{ mm (M14x1)}$$

$$\mu_{tot} = 0,12 \text{ (Normaal geval, tabel 8 – 12a)}$$

$$d_2 = 13,350 \text{ mm (www.werktuigbouw.nl)}$$

$$d_K = 8,4 \text{ mm}$$

$$\frac{d_K}{2} \approx \frac{d_w + d_h}{4} = \frac{1,4 * d + d_h}{4} = \frac{1,4 * 14 + 14}{4} = 8,4 \text{ mm}$$

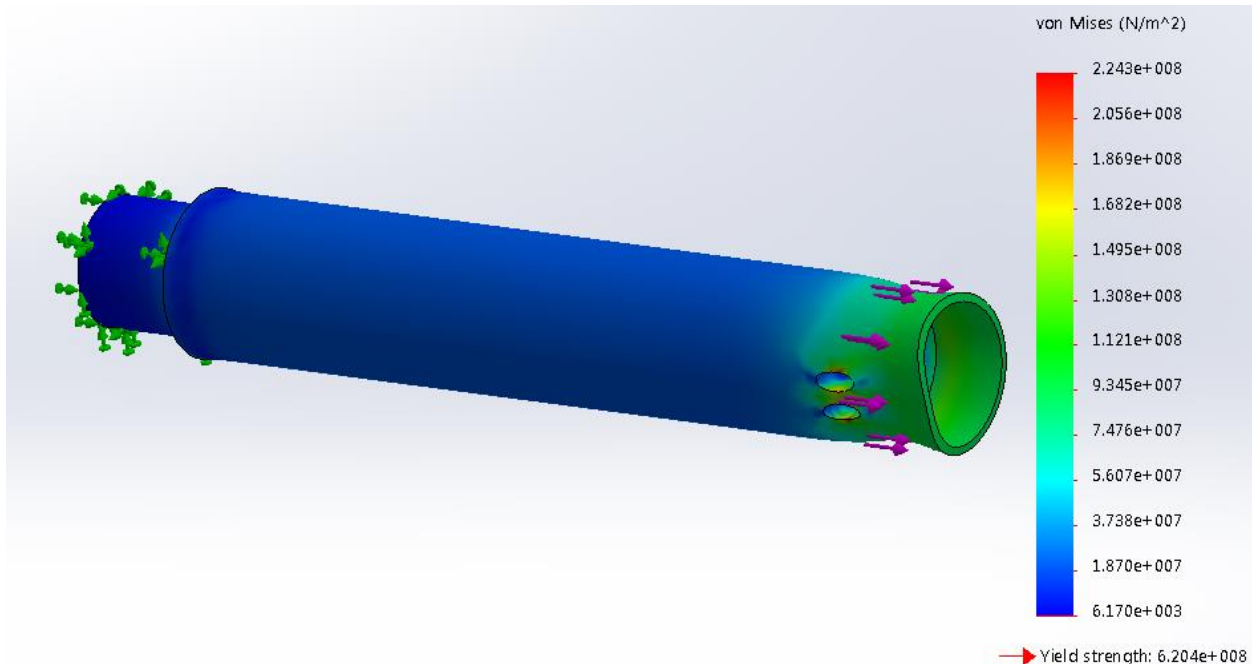
$$F_{VM} = \frac{25}{0,159 * 1 + 0,12 \left(0,577 * 13,350 + \frac{8,4}{2} \right)}$$

$$F_{VM} = 15,7 \text{ N}$$

Oogdeel spindel

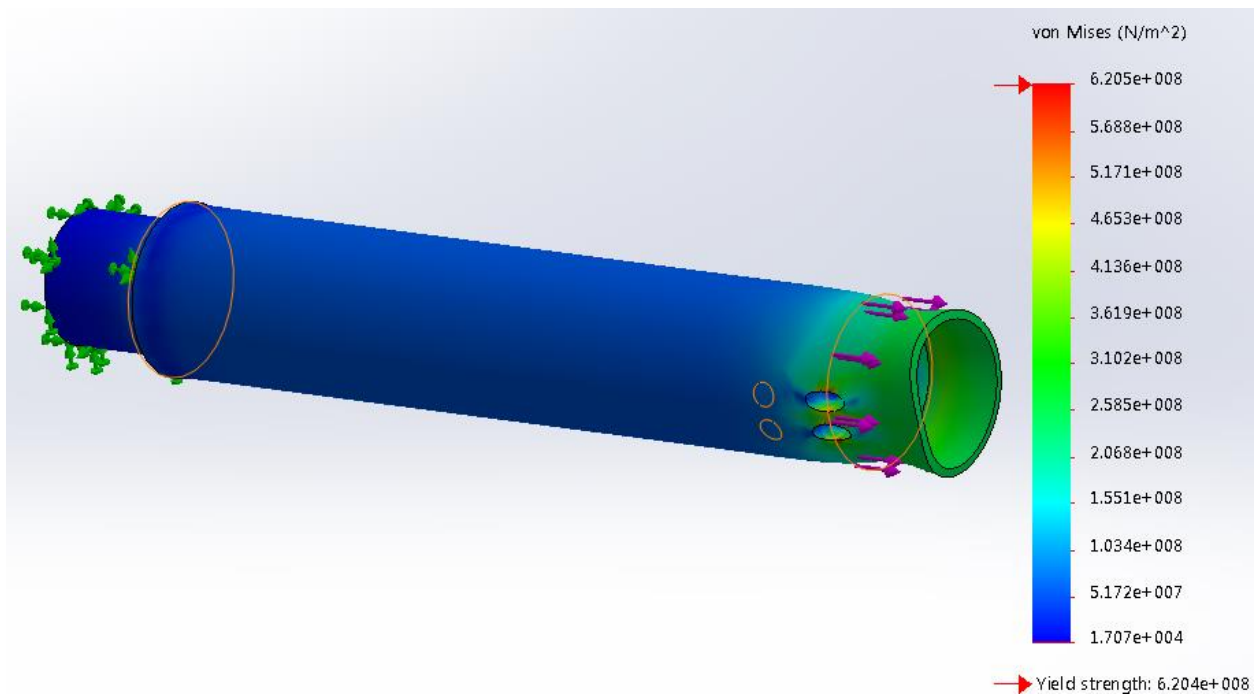
Aan de andere kant van de solenoïde wordt ook een spindeldeel bevestigd. Dit onderdeel zal de zuiger via de solenoïde aan het demperoog verbinden. Dit onderdeel wordt op de spoelkern geschroefd. De draad op de spoelkern aanwezig is M16x1,5 en de buitendiameter van de spindel is 18mm. Hierdoor blijft er weinig wanddikte over waardoor ook dit deel gesimuleerd moet worden. Mocht deze wanddikte te weinig blijken te zijn dan zal er een andere oplossing gezocht moeten worden. Met te weinig wanddikte wordt bedoeld dat het onderdeel de trekkracht uit de test aankan met een veiligheidsfactor van $K > 2$.

Wederom zal de eerste simulatie gedaan worden met een trekkracht van 5113 N. Het resultaat is hieronder te zien.



De Von Mises stress is maximaal $2,24 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ terwijl de Yield Strength $6,204 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ is. De vervorming die door deze trekkracht wordt veroorzaakt is maximaal $1,38 \times 10^{-2} \text{ mm}$. Het onderdeel zal tijdens de belasting van 5113 N dus niet plastisch vervormen.

De kracht waarbij het onderdeel wel plastisch vervormd is aan de hand van verschillende simulaties gevonden. deze kracht is 14145 N. De maximale verplaatsing die bij deze kracht optreedt is $3,83 \cdot 10^{-2}$ mm. Het resultaat is hieronder te zien.



De veiligheidsfactor die bij dit onderdeel hoort volgt uit de volgende berekening.

$$K = \frac{F_{kapot}}{F_{test}} = \frac{14145}{5113} = 2,77$$

$2,77 > 2$ dus het onderdeel wordt goedgekeurd en kan in productie.

De bevestiging van dit onderdeel gebeurt door schroefdraad M16x1,5. Omdat de spoel bepaald is, zijn er maar 3 omwentelingen draad beschikbaar die dragend zijn voor de verbinding. Deze mogen niet afschuiven bij maximale belasting. Hier is ook een veiligheidsfactor $K > 2$ vastgesteld.

Draad is M16x1,5:

$$d_2 = 15,026 \text{ mm}$$

De berekening is op de flankdiameter (d_2) uitgevoerd omdat theoretisch hier de binnen en buitendraad een gelijke dikte hebben en daarom hier het beste de krachten doorgeven.

$$A = h * \text{omtrek}$$

$$h = n * P * 0,5 = 3 * 1,5 * 0,5 = 2,25 \text{ mm}$$

$$\text{omtrek} = \pi * d_2 = \pi * 15,026 = 47,20 \text{ mm}$$

$$A = 2,25 * 47,20 = 106,2 \text{ mm}^2$$

$$F_{test,max} = 5113 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{F_{test,max}}{A} < \tau_{max} \quad \frac{5113}{106,2} = 48,1 \text{ N/mm}^2 < 120 \text{ N/mm}^2$$

De maximale belasting tijdens de test kan gedragen worden door de draad, want $48,1 < 120$.

Als de maximale kracht F berekend wordt kan de veiligheidsfactor gevonden worden.

$$F_{max} = A * \tau_{max} = 106,2 * 120 = 12744 \text{ N}$$

$$K = \frac{F_{max}}{F_{test,max}} = \frac{12744}{5113} = 2,49$$

$$2,49 > 2, \text{ dus voldoet}$$

Dit is de kleinste maximale kracht dus is dit de kritische kracht voor het systeem. Om schade te voorkomen mag de trekkracht in de spindel nooit boven de 12744 N komen.

Berekening afdichting Epoxy

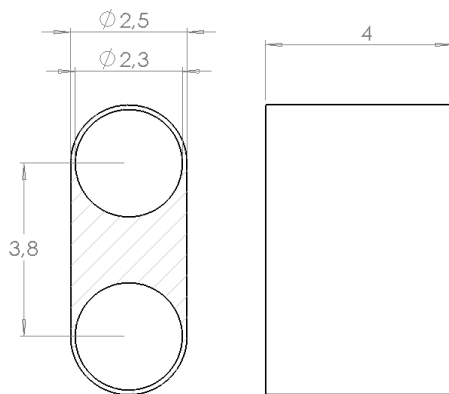
Het afdichten van de kabels is gedaan met een epoxyhars. De gebruikte variant is *Loctite EA 3430*. Dit is een twee componenten epoxyhars. De volgende gegevens zijn na volledig uitharding (24 uur+).

Treksterkte =	36 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus =	3210 N/mm ²
Druksterkte =	65 N/mm ²
Hechtsterkte staal =	15 N/mm ²
Hechtsterkte kunststof =	5 N/mm ²



Gedrag in olie: na 3000+ uur onder belasting minimaal 75% van de sterkte behouden.

Het gebruikte gebied is hieronder te zien:



Het drukoppervlak (links) is 6,1 mm²

$$A_{druk} = \frac{\pi}{4} * 2,5^2 + 3,8 * 2,5 - 2 * \frac{\pi}{4} * 2,3^2$$

Het contactoppervlak tussen epoxy en staal (spindel) is 61,8 mm²

$$A_{Ep-St} = 4 * (\pi * 2,5 + 2 * 3,8)$$

Het contactoppervlak tussen epoxy en kunststof (kabels) is 57,8 mm²

$$A_{Ep-Ku} = 4 * (\pi * 2,3) * 2$$

De drukkracht bij 90 bar (9 N/mm²) is 54,9 N

$$90 \text{ bar} = 9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{druk} = P * A = 9 * 6,1 = 54,9 \text{ N}$$

De hechtkracht tussen epoxy en staal is 927 N

$$F_{Ep-St} = \sigma * A = 15 * 61,8 = 927 \text{ N}$$

De hechtkracht tussen epoxy en kunststof is 289 N

$$F_{Ep-Ku} = \sigma * A = 5 * 57,8 = 289 \text{ N}$$

289 >> 54,9 en 927 >> 54,9 dus de afdichting voldoet. De epoxyafdichting is bestand tegen drukken boven 90 bar.