



# Afstudeerverslag

---

## Onderzoek Visco Damping Unit

04-06-2015

RUBBER DESIGN B.V.

Auteur: Ronald van Pul  
Student nummer: 10052135



RUBBER DESIGN B.V.

# Afstudeerverslag

---

## Onderzoek Visco Damping Unit

RUBBER DESIGN B.V.

Auteur: Ronald van Pul  
Student nummer: 10052135  
Plaats: Heerjansdam  
Datum: 04-06-2015  
Organisatie: Rubber Design B.V.



## Voorwoord

Dit rapport is geschreven voor mijn afstudeerstage van mijn opleiding werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool in Delft. Het betreft mijn onderzoek over de visco demper waar ik zeventien weken bij Rubber Design B.V. aan gewerkt heb.

Het rapport is gericht aan Rubber Design B.V. Met in het bijzonder voor Bert de Sprong, de opdrachtgever en begeleider van het project. Ook wil ik mijn docentcoach Fatih Erdurcan bedanken.

Ik wil mijn dank betuigen aan mijn collega's binnen Rubber Design voor de input voor het project, mijn dank gaat uit naar:

Bert de Sprong  
Jaco van Sliedregt  
Michiel Huijgen  
Jaap van der Meer  
Pieter Bartlema  
Patrick Goud  
Michel Bodde  
Martijn de Jonge

Als laatste gaat mijn dank uit naar mijn mede stagiair Martijn de Jonge voor de gezelligheid tussen het afstuderen door en het overleg en feedback over het project.



## Bedrijf beschrijving

In verschillende soorten sectoren binnen de techniek komen trillingen, geluid en schok problemen voor. Deze trillingen ontstaan door mechanische werking van machines zoals aggregaten, compressoren en moeten om deze redenen ook voorzien worden van trillingsdempers. Rubber Design is een internationaal toonaangevende bedrijf dat gespecialiseerd is in het dempen van trillingen bij machines. Deze trillingsdempers worden op verzoek ontwikkeld voor de klant. Hierbij worden zowel passieve als actieve systemen toegepast. Daarnaast is Rubber Design ook een specialist in het produceren van schroefas installaties voor de exclusieve luxe yacht industrie en is actief in meer dan 13 landen.

Rubber Design heeft zijn kantoor, assemblage en fabricage samen met Biezepol B.V. Biezepol is een metaal bewerkingsbedrijf en produceert onderdelen voor Rubber Design. Het bedrijf is gevestigd in Heerjansdam aan de industrieweg 21.



## Inhoud

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Voorwoord .....                                                    | 3  |
| Bedrijf beschrijving.....                                          | 4  |
| 1. Samenvatting.....                                               | 7  |
| 2. Inleiding .....                                                 | 8  |
| 3. Opdracht beschrijving .....                                     | 9  |
| 3.1. Oplossingsrichting .....                                      | 9  |
| 3.2. Resultaten.....                                               | 9  |
| 4. Doelen en eisen .....                                           | 10 |
| 4.1 Doelen van het onderzoek .....                                 | 10 |
| 4.2 Eisen van het onderzoek .....                                  | 11 |
| 5. De Schok demper .....                                           | 11 |
| 5.1 De huidige visco demper .....                                  | 11 |
| 5.2 De Plunjer .....                                               | 12 |
| 5.3 Damping vloeistof .....                                        | 13 |
| 5.4 Soorten dempers .....                                          | 13 |
| 5.4.1 De standaard schok demper .....                              | 13 |
| 5.4.2 Schokdempers van Rubber Design.....                          | 15 |
| 5.4.3 Wrijvingsdempers .....                                       | 16 |
| 5.4.4 Damping door plastische vervorming .....                     | 16 |
| 5.5 Concurrentie onderzoek.....                                    | 16 |
| 6. Werking demper.....                                             | 17 |
| 6.1 Demper berekeningen.....                                       | 18 |
| 6.2 Damping ellips .....                                           | 19 |
| 6.2.1 Berekenen van het fase verschil, de delta ( $\delta$ ) ..... | 19 |
| 6.2.2 De dempingsellips .....                                      | 20 |
| 6.3 damping vloeistof.....                                         | 21 |
| 7. testmethode .....                                               | 22 |
| 7.1 Dynamische testbank .....                                      | 22 |
| 7.2 Testmethode .....                                              | 23 |
| 7.3 Testeisen.....                                                 | 23 |
| 7.3.1 Installatie .....                                            | 24 |



|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 7.3.2 Wachtijd tussen opvolgende testen .....   | 24 |
| 7.3.3 Meetstappen .....                         | 24 |
| 7.3.4 Controle test.....                        | 25 |
| 7.4 De test opstelling.....                     | 26 |
| 7.5 test programmeren .....                     | 28 |
| 7.6 Horizontale test .....                      | 30 |
| 7.6.1 Mogelijke test binnen Rubber Design ..... | 31 |
| 8. Test resultaten.....                         | 32 |
| 8.1 Onderzoek testen .....                      | 32 |
| 8.2 Uiteindelijke test resultaten.....          | 34 |
| 8.3 Gemiddelde damping .....                    | 35 |
| 8.4 Testen siliconen vloeistof .....            | 35 |
| 8.4.1 Resultaten siliconen vloeistof. ....      | 35 |
| 9. Toepassing van VDU .....                     | 36 |
| 9.1 Het model.....                              | 37 |
| 9.1.2 Dempingscoëfficiënt stalen veren.....     | 38 |
| 9.1.3 Dempingscoëfficiënt DV1.....              | 38 |
| 9.2 Harmonische trilling .....                  | 39 |
| 9.3. schok berekening .....                     | 40 |
| 10. Conclusie en aanbeveling.....               | 42 |
| Competenties .....                              | 43 |
| Bibliografie .....                              | 45 |
| Bijlage I: Technische tekening DV1 .....        | 47 |
| Bijlage II: Afmetingen VDU .....                | 49 |
| Bijlage III: Dynamische testbank gegevens ..... | 51 |
| Bijlage IV: Horizontale test .....              | 53 |
| Bijlage V: HDV eigenschappen .....              | 55 |
| Bijlage VI: Onderzoek aardbevingen .....        | 57 |
| Bijlage VII: Poster.....                        | 59 |

## 1. Samenvatting

Dit verslag geeft het onderzoek weer van de Visco Demper Unit, ook wel de VDU genoemd. De VDU is oorspronkelijk ontwikkeld door een bedrijf dat is overgenomen door Rubber Design. Hierdoor is veel kennis over de VDU verloren gegaan. Eerst is de werking van de VDU onderzocht. De VDU werkt doormiddel van een hoge viskeuze vloeistof genaamd bitumen. Het wordt afgeraden om bitumen te gebruiken omdat hier schadelijke stoffen in kunnen zitten. Daarom is er een onderzoek verricht naar verschillende soorten dempingvloeistoffen om de huidige dempingvloeistof bitumen te vervangen.

Doormiddel van het onderzoek naar de werking is een testmethode opgesteld om de eigenschappen van de huidige VDU te analyseren. Hiervoor zijn eerst meerdere onderzoekstesten uitgevoerd om de testeisen op te stellen. De testeisen zijn opgesteld zodat bij iedere test dezelfde methode wordt aangehouden. In de testeisen staat bijvoorbeeld hoe de VDU geïnstalleerd moet worden. Op basis van de testmethode zijn de eigenschappen van de DV1 geanalyseerd in verticale richting. Het was niet mogelijk om de horizontale eigenschappen te meten daarom is er met verschillende bedrijven contact opgenomen om deze meting extern uit te voeren. Deze bedrijven hebben mogelijkheden tot testen in horizontale richting. Met de gegevens van de verticale test is de dempingscoëfficiënt van de DV1 bepaald en gebruikt in een voorbeeld model. Bij het voorbeeld model is een harmonische trilling en schok aangebracht. De schok komt overeen met een aardbevingsschok. Hiervoor is eerst een onderzoek gedaan naar de normen over aardbevingen en de toepassing van de normen op stalen veer systemen. Het onderzoek over aardbevingen is in de bijlage VI toegevoegd.



## 2. Inleiding

Dit rapport geeft het onderzoek weer van de Visco Demper Unit, vanaf nu VDU genoemd. De VDU is ontwikkeld door AVM air spring Ltd dat in 1996 is overgenomen door Rubber Design. Hierbij is de kennis over de VDU verloren gegaan. De VDU is een schokdemper die samen met stalen veren een trilling en beweging van een systeem kan isoleren.

Als eerst is er een onderzoek gedaan naar de werking van de VDU. Met de gegevens over de werking is een testmethode ontwikkeld. Voor de testmethode zijn verschillende testen uitgevoerd om testeisen op te stellen. Doormiddel van de testeisen zijn er metingen gedaan om de eigenschappen van de VDU te bepalen.

Uiteindelijk is een gemiddelde dempingscoëfficiënt bepaald doormiddel van deze metingen. Met de gemiddelde dempingscoëfficiënt en andere eigenschappen is een toepassing van de VDU uitgewerkt. Hiervoor zijn berekening gedaan van een stalen veren generator set opstelling met en zonder de VDU.



### 3. Opdracht beschrijving

Een huidige schok demper, VDU, van Rubber Design moet onderzocht worden, De demper gebruikt bitumen als dempingvloeistof. Bitumen is milieu belastend en moet daarom vervangen worden door een nieuwe demping vloeistof. Daarnaast zijn de eigenschappen van de VDU nog onvoldoende bekend. Het doel van deze afstudeeropdracht is het onderzoeken en vaststellen van de demping eigenschappen en indien nodig het ontwerp aan te passen zodat er een andere demping vloeistof gebruikt kan worden. De nieuwe VDU moet toegepast kunnen worden bij een opstelling met stalen veren en er voor zorgen dat bij een schok, bijvoorbeeld een aardbeving, de verplaatsingen binnen de gestelde limiet blijven.

#### 3.1. Oplossingsrichting

Als eerst zal onderzoek moeten worden uitgevoerd over de werking van de VDU en zal er een literatuur studie moeten worden uitgevoerd om de stand ter techniek op het gebied van demping van trillingen en schok vast te stellen. Vervolgens zal van de bestaande en nieuwe demper unit de dynamische eigenschappen moeten worden vastgesteld. Naast de eigenschappen moet ook de toepasbaarheid van de demper worden vastgesteld.

#### 3.2. Resultaten

- Stand der techniek m.b.t. demping
- Eigenschappen huidige en nieuwe demping unit
- Toepasbaarheid vast stellen m.b.v. een voorbeeld
- Rapportage

## 4. Doelen en eisen

Het project bestaat uit een onderzoek naar de werking van de VDU. Voor het onderzoek zijn doelen en eisen opgesteld waaraan het onderzoek moet voldoen.

### 4.1 Doelen van het onderzoek

#### Hoofd doel:

Het in kaart brengen van de werking en eigenschappen van de VDU doormiddel van de DV1.

#### Subdoelen

- Geef en onderzoek en werking van de bestaande soorten schok dempers
- Ontwikkel een test protocol om de eigenschappen van de huidige demper te analyseren
- Onderzoek de huidige en alternatieve damping vloeistoffen
- Onderzoek aardbeving normen en de toepasbaarheid voor de demper met de overeenkomende snelheden

De eigenschappen van de DV1 worden doormiddel van het test protocol gemeten. Daarnaast moet het test protocol ook voor de andere VDU te gebruiken zijn. Het doel van het test protocol is als volgt:

- Het vast stellen van de verticale damping coëfficiënt
- Het vast stellen van de horizontale damping coëfficiënt
- Het verschil weergeven van damping met alternatieve damping vloeistoffen met dezelfde demper
- Test protocol moet ook voor andere VDU te gebruiken zijn

De werking van de DV1 kan bepaald worden door een model op te stellen. Hiervoor is het volgende nodig:

- Ontwikkel een model met stalen veren met en zonder schok dempers en geef de daar bijhorende frequentie en amplitude
- Geef het verschil aan van de werking met en zonder dempers in een stalen veren opstelling
- De schok kracht of versnelling die gebruikt wordt bij het model moet overeen komen met de kracht of versnelling van een aardbeving schok

## 4.2 Eisen van het onderzoek

De eisen en wensen voor het onderzoek zijn samen met de stage begeleider opgesteld.

Eisen:

- Voor het onderzoek wordt de huidige DV1 met huidige dempingvloeistof gebruikt
- Het test protocol moet voor alle VDU te gebruiken zijn
- Bij het gebruik van een andere demping vloeistof moet de vloeistof milieu vriendelijke zijn
- De demper moet kunnen dempen in alle richtingen

Wens:

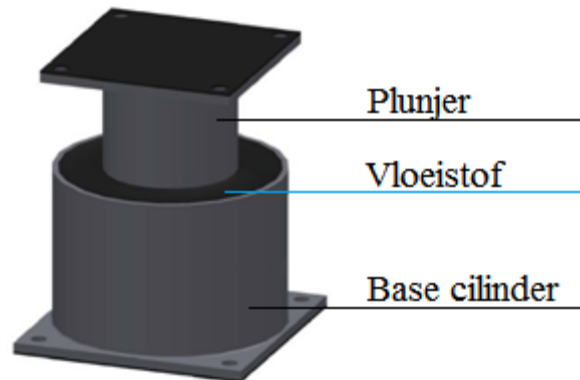
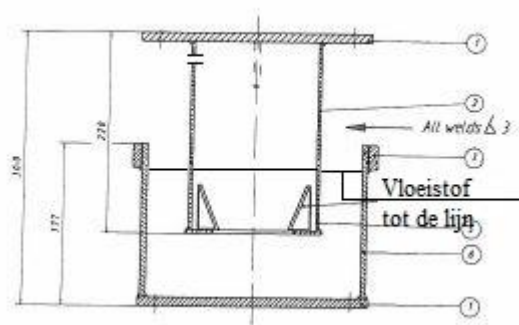
- Het testen van de VDU moet zo veel mogelijk binnen Rubber Design zelf gebeuren.

## 5. De Schok demper

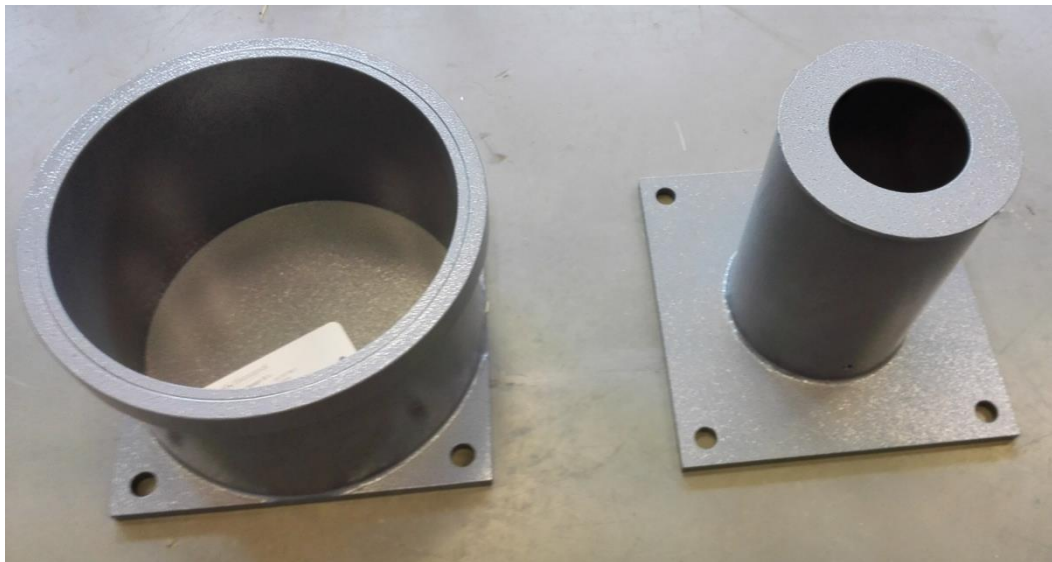
### 5.1 De huidige visco demper

De VDU is een schokdemper. Dit betekent dat wanneer er een beweging bij een installatie met stalen veren ontstaat, de VDU energie uit de beweging haalt. Hierdoor dempt de beweging sneller uit. Op dit moment is er een standaard serie van visco dempers, dit zijn de DV1, DV2 en DV3. Alle drie de dempers zijn volgens hetzelfde principe ontworpen, alleen de afmetingen zijn verschillend. Omdat het principe hetzelfde is, wordt er tijdens de afstudeerstage alleen gewerkt met de DV1. Dit is de demper met de kleinste afmetingen in het assortiment. De afmetingen en technische tekeningen staan in bijlage I en II.

De DV1 bestaat uit twee cilinders. Een van de cilinders kan gezien worden als een reservoir met een demping vloeistof, dit is de base cilinder. De andere cilinder, plunjer, is geplaatst in de demping vloeistof en wordt zodanig geïnstalleerd dat de cilinder in alle richtingen kan bewegen binnen de base cilinder. Hierdoor is er demping in alle richtingen mogelijk. De maximale amplitude van de DV1 is 35 mm in alle richtingen. De VDU is een demper en heeft daarom geen draagkracht. Dit betekent dat de VDU samen met veren moet worden geïnstalleerd. De veren zorgen voor de draagkracht en de VDU voor de demping. De DV1 is te zien in afbeelding 1. Een extra DV1 is besteld omdat de huidige dempingvloeistof niet uit de DV1 te halen was. De nieuwe DV1 is te zien in afbeelding 2.



afbeelding 1: DV1



Afbeelding 2: foto van de DV1

## 5.2 De Plunjer

Om demping te creëren wordt er gebruik gemaakt van een demping vloeistof. De demping ontstaat door de wrijving en eventueel schuifspanning tussen de plunjer en de vloeistof, dit is de tegenwerkende kracht op de plunjer. In een eerder onderzoek is er naar een verband tussen de grote van plunjer en de viscositeit van de vloeistof gezocht. Uiteindelijk is er een formule ontwikkeld voor de dempingscoëfficiënt, maar het verschil tussen de geteste en theoretische waarde was te groot. Hierdoor is de formule niet aangenomen om mee verder te werken. Toch is er nog een onderzoek naar de formule gedaan tijdens de eerste periode van de afstudeer stage, hieruit is gebleken dat het meest voor de hand liggende oplossing het analyseren van de VDU doormiddel van testen is.

### 5.3 Damping vloeistof

Om zo veel mogelijk tegenwerkende kracht te laten ontstaan wordt er in de huidige VDU's een hoge viskeuze vloeistof gebruikt. De viscositeit geeft de stroperigheid aan van een vloeistof. Hoe hoger de viscositeit hoe stroperiger de vloeistof. Op dit moment wordt er gebruik gemaakt van de vloeistof 300 pen bitumen. Het punt van bitumen is dat de eigenschappen, onder andere de viscositeit, totaal afhankelijk zijn van de kwaliteit.

Er zijn verschillende soorten bitumen soorten zoals geblazen, straight run, geblend en gefluxt. De eigenschappen bij iedere soort zijn verschillend. Het is onvoldoende bekend wat voor soort bitumen in de VDU verwerkt is.

Bij het onderzoek is gebleken dat een gefluxte soort de meest voor de hand liggende damping vloeistof is. Bij een gefluxte bitumen is de bitumen zachter gemaakt doormiddel van een olie of oplosmiddel.

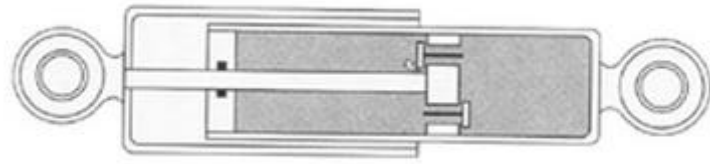
Afhankelijk van de soort bitumen bevat het aromaten, polycyclische aromatische koolwaterstoffen en vluchtige of niet vluchtige organische componenten. Deze stoffen zijn schadelijk voor mens en milieu waardoor er aan de eisen van de Arbo wetgeving moet worden voldaan en bij buitentoepassingen is het besluit van bodemkwaliteit van toepassing. Daarnaast is het mogelijk dat de bitumen door oxidatie verhard. Bij veel schok dempers wordt siliconen vloeistof gebruikt. Er moet onderzocht worden gedaan voor het gebruik van andere dampingvloeistoffen in de VDU.

### 5.4 Soorten dempers

Er zijn verschillende soorten dempers ontwikkeld die allemaal voor een damping van een schok zorgen. Het dempen van een schok is het omzetten van bewegingsenergie in een andere vorm van energie. Verschillende soorten schok dempers worden in dit hoofdstuk beschreven en besproken.

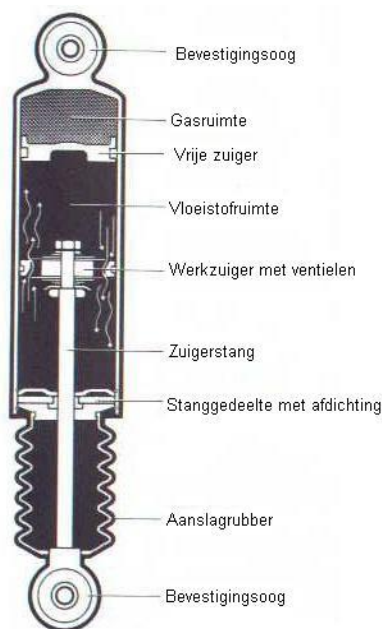
#### 5.4.1 De standaard schok demper

Een standaard demper bestaat uit een zuiger of plunjer en een cilinder met daarin een damping vloeistof naar de andere kant van de zuiger. Wanneer de zuiger op en neer gaat, kan de vloeistof door de zuiger via een kleine opening. Doordat de vloeistof door deze relatief kleine opening gaat ontstaat er weerstand, als de zuiger harder op en neer beweegt ontstaat er een grotere weerstand. De weerstand is de wrijving die ontstaat tussen de vloeistof en de zuiger. Hierdoor is de demper afhankelijk van de snelheid van de vloeistof die door de opening stroomt. Een doorsnede van een demper is te zien in afbeelding 3. De dikte van de vloeistof speelt ook een rol in de grote van de dampingcoëfficiënt. Bij een dikkere vloeistof, dus een hogere viscositeit ontstaat er een grotere tegenwerkende kracht en dus ook meer damping. Een demper wordt gebruikt in massa veer systemen, zoals de verbinding tussen de wielen van een auto. Alle ongelijkheden in de weg worden door de veer met demper opgevangen, daardoor zorgt het systeem voor een prettig rijcomfort. Afbeelding 4 geeft alle onderdelen van een demper weer.



Afbeelding 3: doorsnede schokdemper

Het grote probleem van een standaard schokdemper is dat het alleen in een richting gebruikt kan worden. Om er voor te zorgen dat de schokdemper in meerdere richtingen kan bewegen, moet er een kogel scharnier bij beide aangrijppunten van de schokdemper worden geplaatst. Daarnaast zijn er meerdere schokdempers nodig om alle richtingen goed uit te kunnen dempen. Een voorbeeld van een dempsysteem die werkt in alle richtingen is een hexapod. Dit systeem is te zien in afbeelding 5. Het systeem bestaat uit zes schokdemper die met meerder scharnieren vast is gemaakt zodat iedere schokdemper in alle richtingen kan bewegen. In vergelijking met de VDU heeft een hexapod meer onderdelen nodig en wordt daardoor niet verder uitgewerkt.



afbeelding 4: Standaard cilinder



afbeelding 5: Hexapod met cilinders

#### 5.4.2 Schokdempers van Rubber Design.

Rubber Design beschikt over een aantal schokdempers. Een demper maakt soort gebruik van staalkabels. De staalkabels wrijven langs elkaar waardoor er wrijving ontstaat en dus ook demping. De stijfheid van de kabels geven de schokdemper ook meteen een draagvermogen. Deze soort schokdemper is te zien in afbeelding 6.

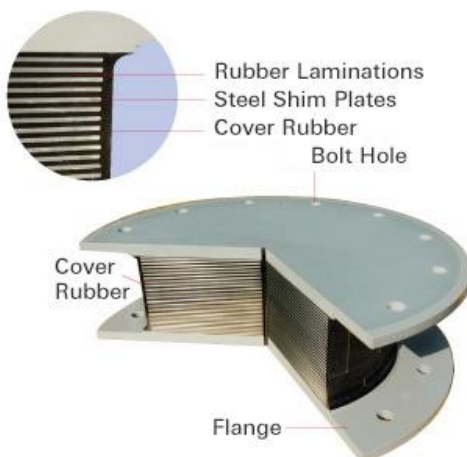
De andere optie demper is een rubber schokveer. Rubber schokveren kunnen gebruikt worden voor diverse toepassingen. Deze dempers zijn van alleen rubber of van rubber met gelamineerd staal gemaakt. Te zien in afbeelding 7 en 8. Bij de demper met staal en rubber worden er stalen platen tussen de rubber geplaatst om de stijfheid van de rubber te vergroten.



Afbeelding 6: kabel schokdemper



Afbeelding 7: rubber schokdemper



Afbeelding 8: rubber demper met gelamineerd staal.

#### 5.4.3 Wrijvingsdempers

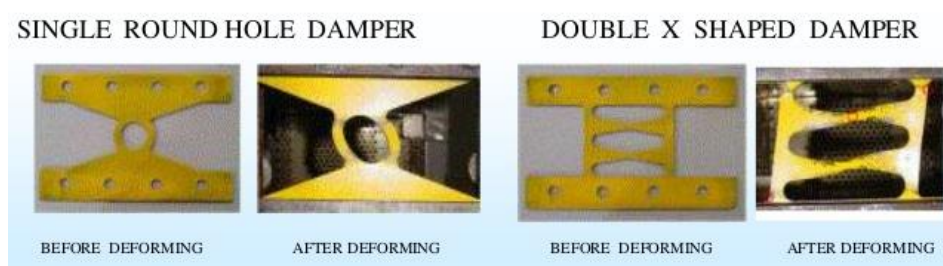
Er zijn ook dempers die gebruik maken van wrijving tussen oppervlaktes. Hiervoor wordt vaak een scharnier gebruikt waarbij het oppervlakte van het scharnier is vergroot door meerdere scharnierende oppervlaktes. Afbeelding 9 geeft een voorbeeld van een wrijvingsdemper. Bij een beweging ontstaat er een wrijving tussen de oppervlaktes. Met een groter oppervlakte ontstaat er ook meer wrijving en dus meer demping bij een beweging.



Afbeelding 9: wrijvingsdempers

#### 5.4.4 Damping door plastische vervorming

Bij het vervormen van een stalen plaat wordt de energie omgezet in vervorming. Een goed voorbeeld hiervan is de kreukelzone van een auto. Dit zelfde principe kan toegepast worden om demping te veroorzaken. Hierbij is het wel zo dat het systeem maar een keer gebruikt kan worden. Verschillende vervormingsdempers zijn te zien in afbeelding 10. Het voordeel is dat het een goedkope manier van dempen is, omdat de plastisch vervormde dempers vervangen kunnen worden.



Afbeelding 10: vervormingsdempers

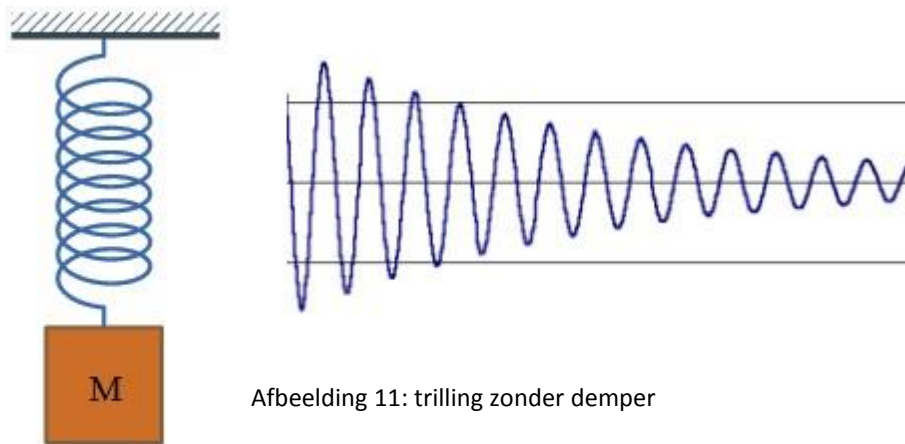
#### 5.5 Concurrentie onderzoek

Naast het onderzoek van standaard dempers is er een onderzoek verricht naar soortgelijke visco dempers van concurrenten. Hierbij is gekeken naar de onderzoeken en testen die zijn uitgevoerd om onder andere de eigenschappen van de VDU te bepalen. Doormiddel van dit onderzoek is er meer inzicht in de VDU gekomen en een test beschrijving opgesteld.



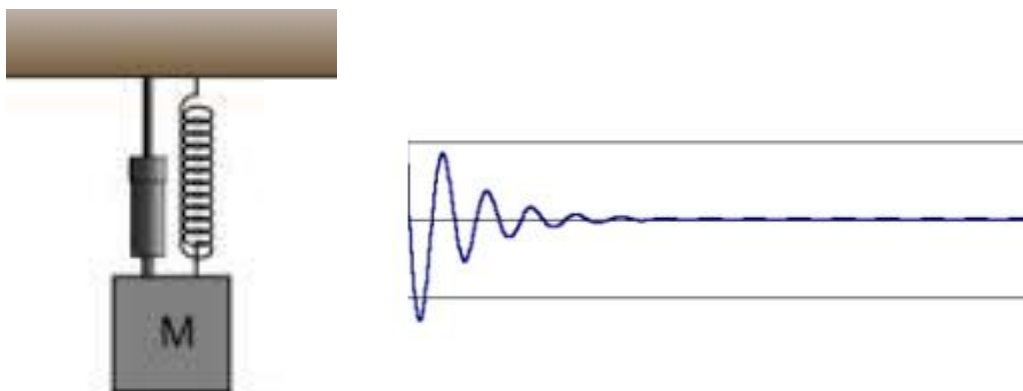
## 6. Werking demper

Dempers worden gebruikt bij schok om de verplaatsing te reduceren. Bijvoorbeeld een massa die op en neer beweegt aan een stalen veer. Deze beweging loopt lang door omdat een stalen veer bijna geen damping heeft, de energie die normaal alleen maar in de veer wordt gestopt komt ook weer uit de veer terug. Damping zorgt voor het omzetten van de bewegingsenergie in andere vorm van energie, meestal komt de damping overeen met de wrijvingsenergie in het systeem. De demper kan de energie opvangen waardoor er steeds minder energie voor de veer overblijft. Hierdoor wordt de verplaatsing steeds lager tot uiteindelijk de verplaatsing stopt. In afbeelding 11 en 12 is het verschil te zien van een veer systeem en een veer demp systeem met demper.



Afbeelding 11: trilling zonder demper

Een veer systeem wordt weinig uitgedempt dus de vermindering van de verplaatsing duurt relatief lang.



Afbeelding 12: trilling met demper

Een gedempt veer systeem is eerder terug bij het nulpunt ten gevolge van de demper.

## 6.1 Demper berekeningen

Veel dempers werken op basis van een dempingscoëfficiënt. De dempingscoëfficiënt is afhankelijk van de snelheid waarbij de zuiger beweegt. De kracht die de demper wordt veroorzaakt is evenredig met de Dampingcoëfficiënt en snelheid van de werkzuiger. De formule voor de kracht van de demper is als volgt:

$$F = C_{demp} * v$$

F: kracht in Newton

C<sub>demp</sub>: Dampingfactor in Ns/m

v: snelheid in m/s

In de praktijk is de snelheid afhankelijk van de tijd en de verplaatsing, daarom wordt er een differentiaalvergelijking gemaakt van het massa veer systeem. Dankzij de differentiaalvergelijking is het mogelijk om een snelheid vanuit een afstand te bepalen in verband met de tijd. Hierdoor ontstaat de volgende formule:

$$F = C_{demp} * \frac{dx}{dt}$$

Om de damping van het totale systeem te bepalen wordt een dampingfactor gebruikt. Hierbij wordt de massa en veerconstante gebruikt om de hoeveelheid damping te kunnen verkrijgen.

Om de Dampingfactor wordt als volgt berekend:

$$\zeta = \frac{C_{demp}}{2 \sqrt{mk}}$$

C<sub>demp</sub> is de dempingcoëfficiënt in Ns/m

m is de massa boven op de demper in kg

k is de veerconstante in de installatie in N/m

ζ is de Dempingsfactor[-]

wanneer er meer dempers in dezelfde richting gebruikt worden, is het mogelijk om alle dempingscoëfficiënt waardes bij elkaar op te tellen. Wanneer de C<sub>demp</sub> verhoogt wordt, wordt de dempingsfactor ook verhoogt.

Met de Dampingfactor is de dempingratio te berekenen. De dempingratio komt overeen met het percentage waarmee het systeem gedempt wordt.

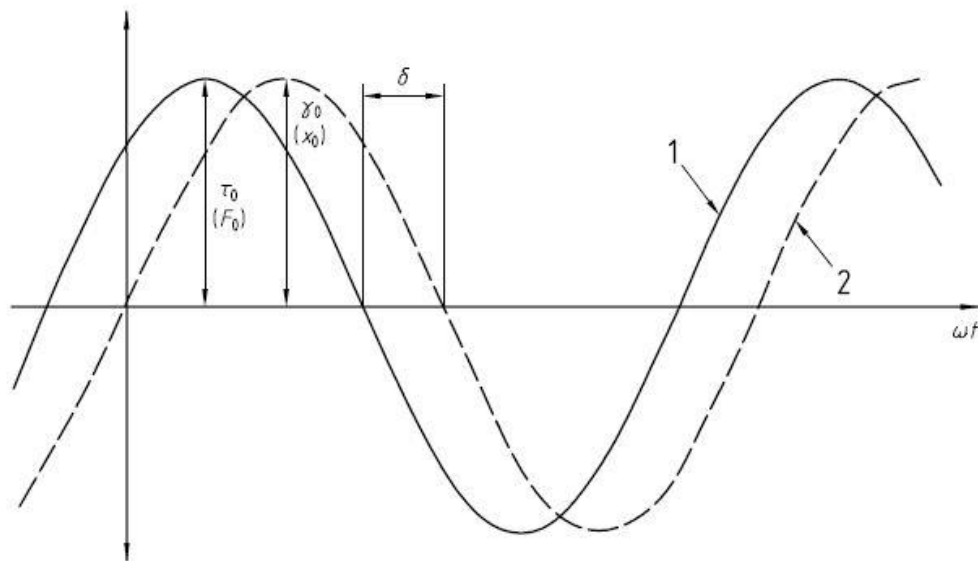
$$dempingsratio = \zeta * 100\%$$

## 6.2 Damping ellips

De hoeveelheid damping kan bepaald worden door een dempingsellips te analyseren. De oppervlakte van de ellips geeft de hoeveelheid damping weer. De dempingsellips wordt bepaald worden door middel van de delta ( $\delta$ ).

### 6.2.1 Berekenen van het fase verschil, de delta ( $\delta$ )

De testbank werkt volgens de normen van ISO 4664. In deze norm wordt ook beschreven hoe de delta wordt berekend. Tijdens de test geeft de testbank een sinus golf van de afstand en kracht. Het verschil tussen de twee sinussen is de delta. De delta is het verschil in de x-as, en wordt vaak omgezet van radiale naar graden. Het verschil in een cyclus is te zien in afbeelding 13.



#### Key

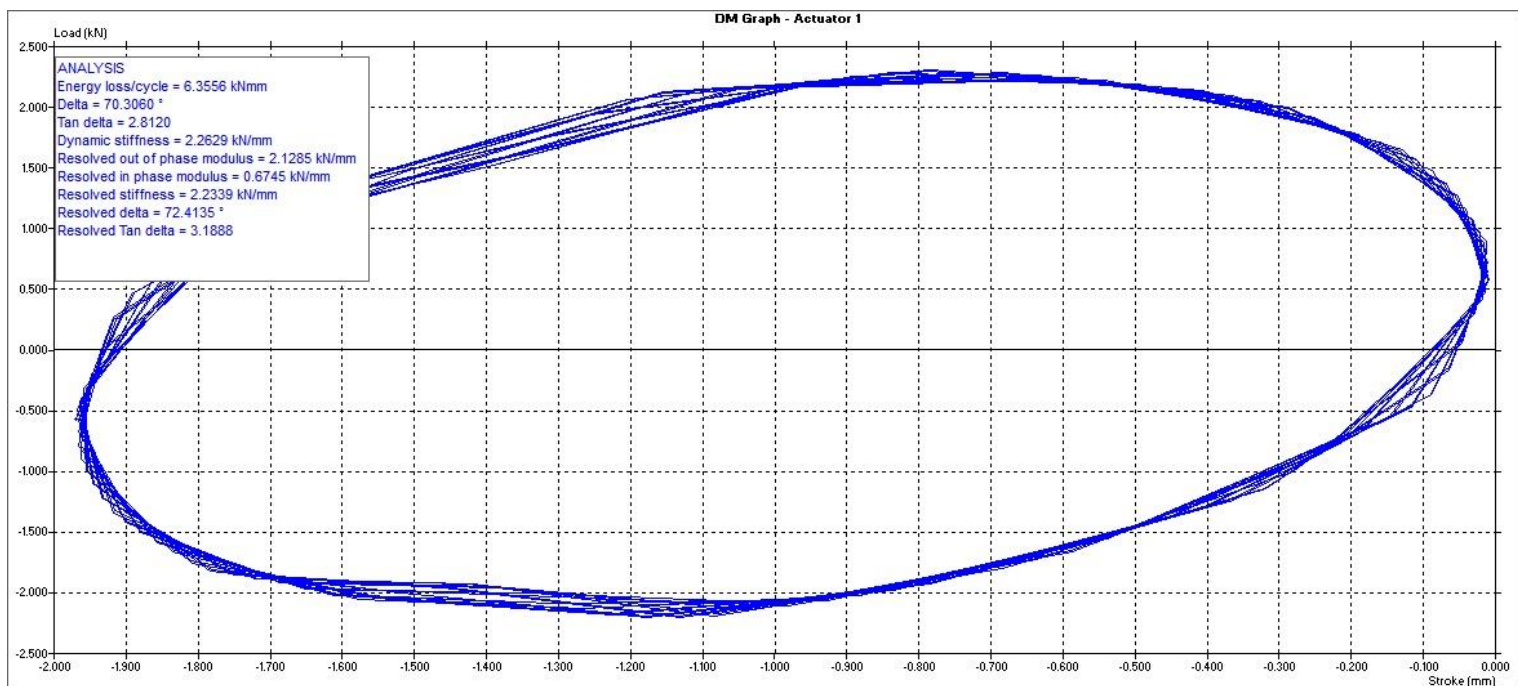
- 1 stress (load)
- 2 strain (deflection)

Afbeelding 13: delta berekenen

De delta door de testbank zelf uitgerekend. Het is niet mogelijk om een grafiek op te vragen die door de testbank wordt gemaakt.

## 6.2.2 De dempingsellips

In afbeelding 14 is een voorbeeld van dempingsellips te zien. Deze dempingsellips is doormiddel van de DV1 te testen. Bij de test is een amplitude van 2 mm en een frequentie van 14 Hz aangehouden. De testbank heeft de delta berekend met dezelfde werkwijze zoals in 6.2.1. besproken is.



Afbeelding 14: dempingellips

De dempingscoëfficiënt (Ns/m) wordt berekenen door middel van de delta ( $\delta$ ), dynamische stijfheid ( $K_{\text{dynamisch}}$ ), omega ( $\omega$ ) en amplitude (mm)

$$C_{\text{demp}} = \frac{K_{\text{dynamisch}}}{\omega} * \sin \delta$$

Met de  $\omega$  in rad/s

$$\omega = 2\pi * f$$

Bij Rubber Design wordt dempingscoëfficiënt niet gebruikt in de berekening. In plaats van de dempingscoëfficiënt wordt de versterkingsfactor gebruikt. dit is een verhouding van de dempingcoëfficiënt en de stijfheid van een stalen of rubber isolator.

in de volgende formule: Versterkingsfactor =  $\frac{1}{\tan \delta}$



### 6.3 demping vloeistof

Bij de huidige VDU wordt bitumen gebruikt als demping vloeistof. Bitumen is een hoge viskeuze vloeistof met ongeveer  $2,3 \cdot 10^8$  Pa.s bij kamer tempratuur. Bitumen wordt veel gebruikt in wegenbouw, om de bitumen te gebruiken wordt het verwarmd zodat het een lagere viscositeit heeft. In plaats van de bitumen is aangeraden om een andere vloeistof gebruiken. De eigenschappen van de bestaande bitumen zijn daarnaast onvoldoende bekend. Een veel gebruikte dempingvloeistof is siliconen vloeistof. Siliconen vloeistof is met verschillende viscositeit beschikbaar. Bij siliconen vloeistoffen wordt de viscositeit in centiStokes (cSt) gegeven.

Er zijn twee verschillende eenheden voor viscositeit. Pa.s is in  $\text{Ns/m}^2$  en St of Stokes in  $\text{cm}^2/\text{s}$ . Vaak wordt de cSt gebruikt, ook wel centiStokes omdat dan de eenheid van  $\text{cm}^2/\text{s}$  naar  $\text{mm}^2/\text{s}$  gaat. De cSt wordt ook wel kinematische viscositeit en de Pa.s wordt dynamische viscositeit genoemd.

Om van Pa.s naar cSt te gaan kan de volgende formule gebruikt worden:

$$\eta = \frac{\mu}{\rho}$$

$\eta$  is de kinematische viscositeit in  $\text{m}^2/\text{s}$ .

$\mu$  is de dynamische viscositeit in Pa.s.

$\rho$  is de dichtheid in  $\text{kg/m}^3$ .

Met deze gegevens is het mogelijk om de kinematische viscositeit van bitumen te berekenen.

De dichtheid van bitumen is  $1050 \text{ kg/m}^3$ .

$$\eta = \frac{2,3 \cdot 10^8}{1050}$$

$$\eta = 2,2 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$$

dit is gelijk aan:  $2,2 \cdot 10^9 \text{ mm}^2/\text{s}$  en dus  $2,2 \cdot 10^9$  cSt.

Omdat er geen andere soort vloeistof met dezelfde viscositeit als de bitumen. Is de beste keuze een siliconen vloeistof die vaker wordt gebruikt voor demping. Hierbij is de viscositeit die binnen Nederland te verkrijgen maximaal  $1\,000\,000$  ( $1,0 \cdot 10^6$ ) cSt.

## 7. testmethode

Om de eigenschappen van een demper te kunnen onderzoeken moet er een analyse van de demper worden opgesteld. Deze analyse moet de Dampingcoëfficiënt en stijfheid van de demper weergeven. De stijfheid geeft een soort veerconstante weer van de demper. De test moet voor zowel de verticale als horizontale Dampingcoëfficiënt gebruikt kunnen worden. Voor de test analyse is ook onderzoek gedaan naar de methodes die door concurrenten wordt gebruikt. In dit hoofdstuk wordt de methode van testen toegelicht en de eisen voor de test opstelling.

### 7.1 Dynamische testbank

Eerst is er onderzoek gedaan naar de verschillende soorten testbanken binnen Rubber Design. Hierbij is samen met collega's besproken hoe de damping te bepalen is. Met de bespreking is bepaald dat de dempingscoëfficiënt doormiddel van de dynamische testbank te achterhalen is. De dynamische testbank bij Rubber Design is een Zwick/Roel Amsler HB100 te zien in afbeelding 15. De capaciteit van de dynamische testbank is in bijlage III geplaatst.



Afbeelding 15: HB 100 dynamische testbank

Ook is onderzocht welke gegevens die de dynamische testbank weergeeft na iedere test. Tussen de gegevens staat ook een dempingscoëfficiënt. De waardes die gemeten worden door de testbank zijn de kracht via de krachtmeter, tijd en de amplitude. Met deze waardes wordt onder andere de dempingscoëfficiënt berekend doormiddel van de formules van ISO 4664.

De Dampingcoëfficiënt is gegeven in Ns/m, de dynamische testbank geeft de Dampingcoëfficiënt weer in kN/mm/Hz. De Dampingcoëfficiënt van de testbank komt overeen met kNs/mm. Dit wordt uitgelegd en verder berekend tot Ns/m in de onderstaande formule(10).

Formule omschrijving:

$$\begin{aligned} \frac{kN}{mm/Hz} &= \frac{kN}{mm/\frac{1}{s}} = \frac{kNs}{mm} \\ \frac{kNs}{mm} * 1000 &= \frac{kNs}{m} \\ \frac{kNs}{m} * 1000 &= \frac{Ns}{m} \end{aligned}$$

## 7.2 Testmethode

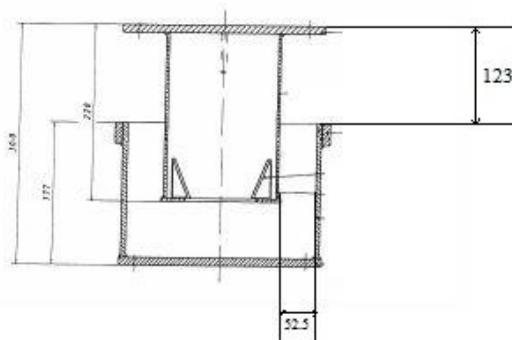
De tegenwerkende kracht van de demper is afhankelijk van de snelheid, dus er moet op verschillende snelheden getest worden om de dempkracht te bepalen. Omdat er gewerkt wordt met een sinus, is de snelheid afhankelijk van de frequentie en de afstand die afgelegd wordt tijdens de frequentie. Om er voor te zorgen dat er bij verschillende snelheden getest wordt, wordt de test uitgevoerd door te beginnen met een lage frequentie waarna de frequentie in stappen wordt verhoogt. Tijdens de test blijft de amplitude wel gelijk. Wanneer er met een bepaalde snelheid de plunjer op en neer beweegt ontstaat er een tegenwerkende kracht door de bitumen. Deze tegenwerkende kracht moet gemeten worden door de testopstelling. Deze methode kan zowel voor de verticale als horizontale richting gebruikt worden.

## 7.3 Testeisen

Om variabele te voorkomen moet de test altijd onder gelijke omstandigheden worden uitgevoerd. Wanneer dit niet gebeurt, kan iedere test van elkaar afwijken. De testeisen geven de voorschriften waaraan iedere test voor de VDU aan moet voldoen. De testeisen zijn doormiddel van onderzoek testen en concurrentie onderzoek opgesteld.

### 7.3.1 Installatie

De demper DV1, wordt ingespannen op de manier waarop het geïnstalleerd moet worden. De afmetingen zijn aangegeven in afbeelding 16. De werktekeningen van de DV1 zijn in bijlage I meegegeven.



Afbeelding 16: DV1 inspanning

### 7.3.2 Wachtijd tussen opvolgende testen

Bij een hoge viskeuze vloeistof is het belangrijk om tussen de testen door een lange wachttijd aan te houden. Dit is om de vloeistof te laten bezinken en ontluchten. De VDU moet geïnstalleerd zijn op de manier waarop het gebruikt gaat worden. Na het installeren moet de bitumen eerst terug vloeien naar de rust positie. Voor pen bitumen 300 is een wachttijd van minimaal 4 uur aangehouden. De wachttijd is alleen nodig wanneer te zien is dat lucht of verplaatsing van de vloeistof aanwezig is. In de testresultaten is ook meteen te zien wanneer er niet aan de wachttijd is voldaan.

### 7.3.3 Meetstappen

Het test programma bestaat uit een test met meerdere frequenties. Bij het invoeren van de gegevens in de testbank is het mogelijk om de aantal stappen tussen de begin en eind frequentie aan te geven. Bij meer stappen wordt er meer meetpunten gemaakt. Bij ieder meetpunt wordt een frequentie en amplitude uitgevoerd en daarbij wordt bitumen verplaatst. Wanneer de bitumen te veel verplaatst is, verminderd de demping. Tijdens de test worden een beperkt aantal stappen tussen de frequenties aangehouden zodat de bitumen niet veel verplaatst binnen de base cilinder.

### 7.3.4 Controle test

Naast de testmethode is er ook een methode om de dempingscoëfficiënt te controleren. Dit is mogelijk doormiddel van een dampingsellips. Een dampingsellips wordt gevormd door een dynamisch test te doen waarbij dezelfde amplitude en frequentie wordt aangehouden. De test geeft een kracht, verplaatsing grafiek weer. De dempingscoëfficiënt van de dampingsellips en de standaard methode test moeten bij dezelfde snelheid overeen komen met elkaar.

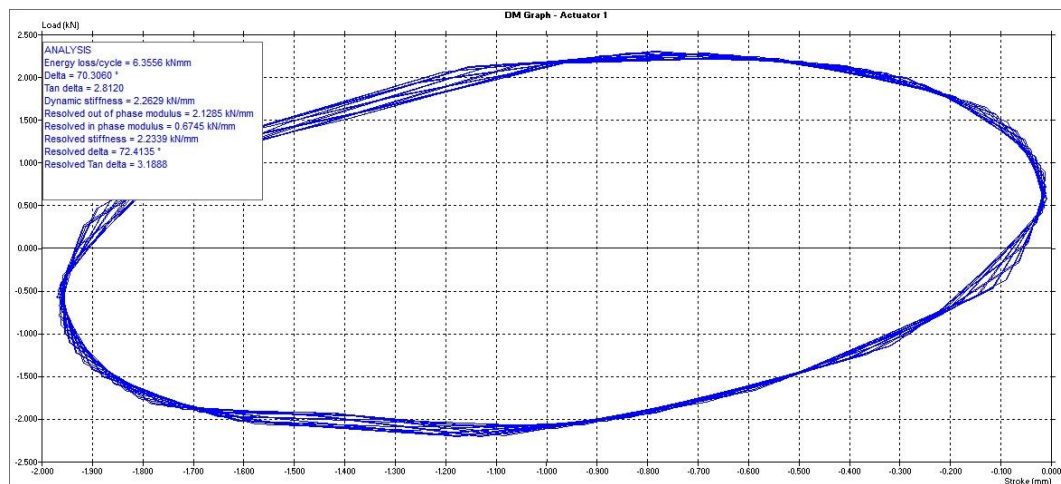
Met de frequentie en amplitude is het mogelijk om de snelheid te bepalen. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$v = \pi * Amp * f$$

v: snelheid in mm/s

Amp: amplitude in mm

Hz: frequentie in hertz

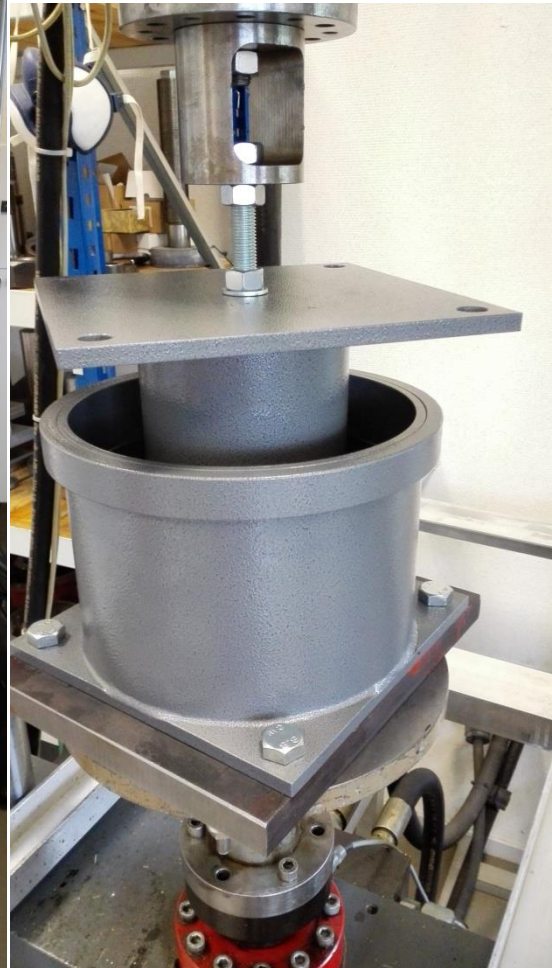


#### 7.4 De test opstelling

In dit hoofdstuk wordt de installatie van de VDU in de dynamische testbank uitgelegd. In een voorgaand onderzoek is de VDU al eerder op de dynamische testbank gemeten. Voor de meting is hulp gereedschap ontwikkeld zodat de VDU base cilinder aan de kracht meter vast gemaakt kan worden. Aan de plunjer is een bout verbinding gemaakt voor de installatie met de dynamische cilinder. In afbeelding 17 is het hulpgereedschap te zien waarmee de DV1 verbonden kan worden met de dynamische testbank. De totale opstelling is te zien in afbeelding 18.



Afbeelding 17: Hulpgereedschap

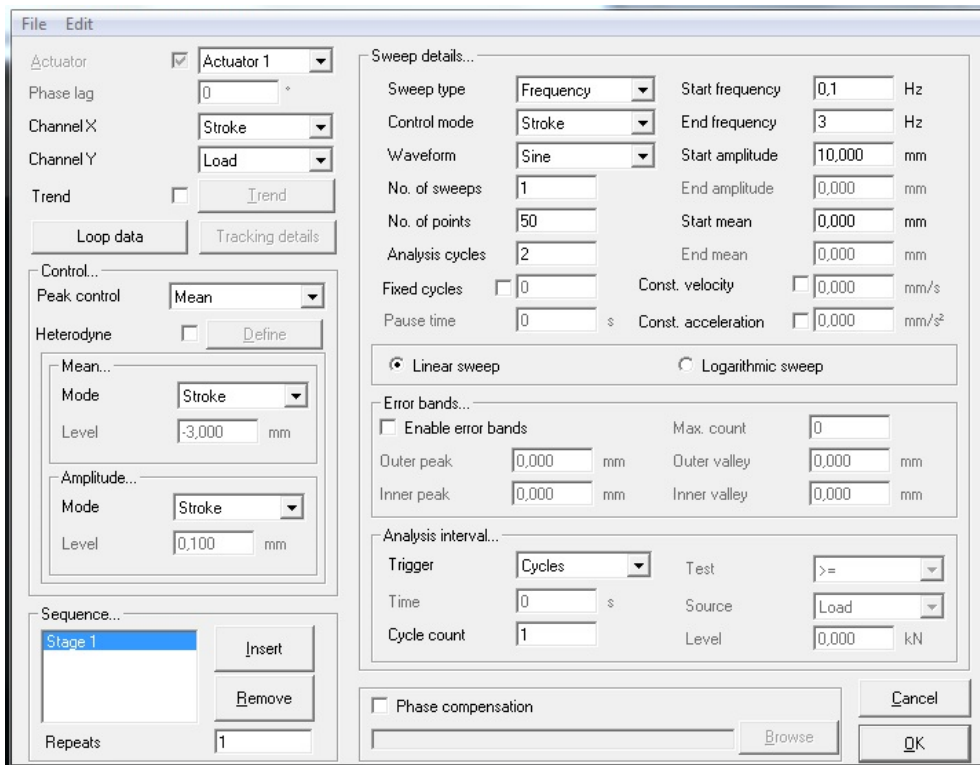


Afbeelding 18: testopstelling

## 7.5 test programmeren

Het programma van Zwick/Roel (workshop release 24) geeft de mogelijkheid om een testmethode in te geven. Hiervoor is de testmethode ingesteld met frequentie en amplitude (stroke). Dit is te zien in de sweep details.

In afbeelding 19 is een voorbeeld van een test programma van de dynamische bank te zien. Hierbij is er een amplitude van 10 mm aangehouden die op en neer beweegt van 0,1 naar 3 Hz. Dit gebeurt totaal in 50 stappen in 2 cyclussen dus totaal 100 stappen. Dit zijn te veel stappen volgens de testeisen, daarom is dezelfde test opnieuw gedaan in 15 stappen en 2 cyclussen, te zien in afbeelding 20.



The screenshot shows the Zwick/Roel test programming software interface. The window is titled "File Edit". The "Sweep details..." panel is active, showing settings for a linear sweep. The "Sweep type" is set to "Frequency", "Control mode" is "Stroke", and "Waveform" is "Sine". The "Start frequency" is 0,1 Hz, "End frequency" is 3 Hz, "Start amplitude" is 10,000 mm, and "End amplitude" is 0,000 mm. The "No. of sweeps" is 1, "No. of points" is 50, and "Analysis cycles" is 2. The "Fixed cycles" checkbox is unchecked, and "Pause time" is 0 s. The "Const. velocity" and "Const. acceleration" checkboxes are also unchecked. The "Linear sweep" radio button is selected, and the "Logarithmic sweep" radio button is unselected. The "Error bands..." panel shows "Enable error bands" checked, with "Max. count" set to 0. The "Outer peak" and "Inner peak" are both 0,000 mm, and the "Outer valley" and "Inner valley" are both 0,000 mm. The "Analysis interval..." panel shows "Trigger" set to "Cycles", "Test" set to ">=", "Time" set to 0 s, "Source" set to "Load", and "Cycle count" set to 1. The "Level" is 0,000 kN. The "Phase compensation" checkbox is unchecked. The "Sequence..." panel shows "Stage 1" selected, with "Insert" and "Remove" buttons. The "Repeats" field is set to 1. The "Control..." panel shows "Peak control" set to "Mean", "Heterodyne" checkbox is unchecked, and "Mean..." settings show "Mode" set to "Stroke" and "Level" set to -3,000 mm. The "Amplitude..." panel shows "Mode" set to "Stroke" and "Level" set to 0,100 mm. The "Loop data" and "Tracking details" buttons are visible in the "Sweep details..." panel. The "Cancel" and "OK" buttons are at the bottom right.

afbeelding 19: Testprogramma



File Edit

Actuator ☒ Actuator 1

Phase lag 0

Channel X Stroke

Channel Y Load

Trend ☐ Trend

Loop data Tracking details

Control...

Peak control Mean

Heterodyne ☐ Define

Mean...

Mode Stroke

Level -3,000 mm

Amplitude...

Mode Stroke

Level 0,100 mm

Sequence...

Stage 1 Insert

Remove

Repeats 1

Sweep details...

Sweep type Frequency Start frequency 0,1 Hz

Control mode Stroke End frequency 3 Hz

Waveform Sine Start amplitude 10,000 mm

No. of sweeps 1 End amplitude 0,000 mm

No. of points 15 Start mean 0,000 mm

Analysis cycles 2 End mean 0,000 mm

Fixed cycles ☐ 0 Const. velocity ☐ 0,000 mm/s

Pause time 0 s Const. acceleration ☐ 0,000 mm/s²

☒ Linear sweep ☐ Logarithmic sweep

Error bands...

☐ Enable error bands Max. count 0

Outer peak 0,000 mm Outer valley 0,000 mm

Inner peak 0,000 mm Inner valley 0,000 mm

Analysis interval...

Trigger Cycles Test >=

Time 0 s Source Load

Cycle count 1 Level 0,000 kN

☐ Phase compensation

Browse

Cancel

OK

Afbeelding 20: Testprogramma met minder stappen



## 7.6 Horizontale test

Het is niet mogelijk om de demper te meten in horizontale richting binnen Rubber Design. De dynamische testbank kan alleen gebruikt worden in verticale richting. Het is niet mogelijk om de VDU op een andere manier te installeren. Als dit gebeurt loopt de dempingsvloei stof uit de VDU. Om deze reden is er naar andere bedrijven gezocht die wel de horizontale test kan uitvoeren. Voor de horizontale test is een horizontale tril tafel nodig of een dynamische testbank die horizontaal is geïnstalleerd. Element, TNO, Laspar en IPS Technology zijn gecontacteerd voor de mogelijkheid voor een horizontale test.

Element heeft de horizontale tril tafel alleen in Amerika staan. Hierdoor is er niet verder gewerkt met Element.

De TNO heeft de mogelijkheid om de horizontale meting uit te voeren. Hiervoor is eerst een gesprek aangegaan voor de test mogelijkheden. Op dit moment is de TNO nog bezig met de kosten berekening.

Laspar is een bedrijf waar Rubber Design vaker mee samen werkt. Laspar maakt onder andere rubber componenten voor Rubber Design. Ook Laspar heeft mogelijkheden tot meten in horizontale richting. De testmethode is in het Engels beschreven en gecommuniceerd met de R&D afdeling van Laspar. De Engelse beschrijving is in de bijlage IV meegestuurd. Uiteindelijk is de meting bij Laspar niet doorgegaan vanwege de hoge kosten van de test.

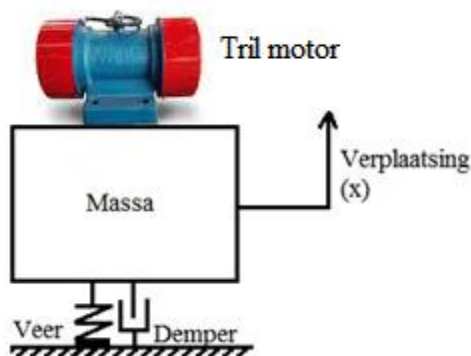
IPS Technology heeft alleen een horizontale tril machine. Het is mogelijk om de test hierop uit te voeren.

### 7.6.1 Mogelijke test binnen Rubber Design

Het is mogelijk om doormiddel van een harmonische trilling de dempingscoëfficiënt te berekenen. De test wordt de gemeten amplitude vergeleken met de theoretische amplitude berekening. De harmonische trilling wordt verder uitgelegd in het hoofdstuk toepassing.

Voor de test opstelling wordt een massa met 4 stalen veren gebruikt. Boven op de massa wordt een tril motor gemonteerd. De trilmotor en massa worden doormiddel van de stalen veren verbonden met de grond. De tril motor veroorzaakt de harmonische trilling, de trilling wordt opgevangen door de veren. Een schematische tekening is te zien in afbeelding 21. Door rond de eigenfrequentie van het systeem te werken is het mogelijk om de amplitude en versnelling te meten. Door een VDU toe te voegen aan de test opstelling met alleen de 4 veren is het mogelijk om de damping te berekenen doormiddel van de amplitude met en zonder VDU.

Bij dit test systeem is het echter wel dat de massa in alle mogelijke richtingen trilt. Hierdoor is het lastig om na te gaan hoeveel damping er precies optreedt in een bepaalde richting. Daarnaast moet de amplitude op een of andere manier gemeten worden. Dit kan ook doormiddel van een versnellingsmeter en de tijd. Het is wel meteen een goed praktisch voorbeeld van een opstelling.



Afbeelding 21: schematische tekening opstelling

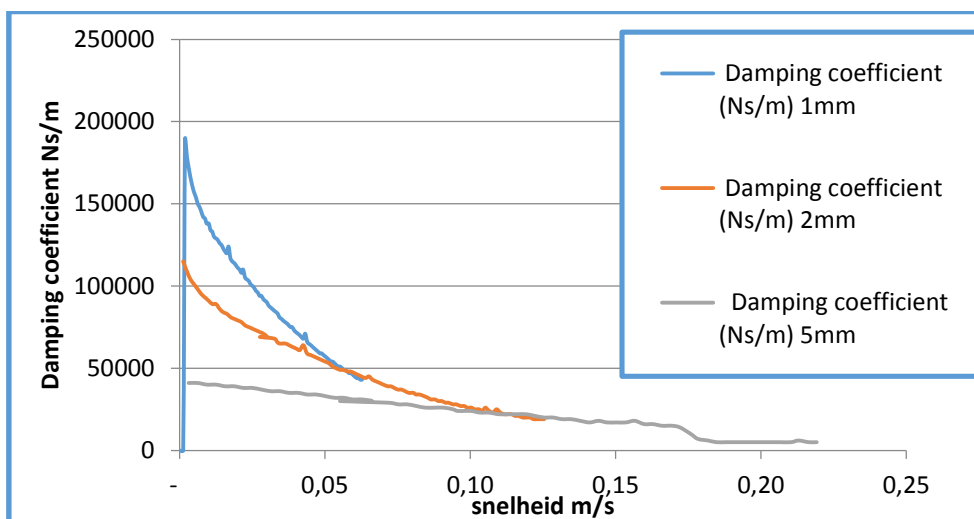
## 8. Testresultaten

In dit hoofdstuk worden de hoofd onderdelen van de onderzoekstesten beschreven. De eerste test resultaten zijn gebruikt om de testeisen op te stellen. Uiteindelijk wordt de gemiddelde dempingscoëfficiënt bepaald van de DV1.

### 8.1 Onderzoek testen

Bij de uitvoering van de test meet en berekend de dynamische bank een dempingscoëfficiënt. Als eerst is er een amplitude van 1, 2 en 5 mm getest. Bij deze test is een frequentie verhoogt van 0,01 naar 10 Hz in 50 stappen.

Bij de amplitude van 5 mm is bij 7 Hz gestopt vanwege de capaciteit van de dynamische bank. In grafiek 1 zijn de gegevens te zien van de test. Bij deze test zijn de testeisen nog niet gebruikt. Alle drie de testen zijn gelijk na elkaar uitgevoerd zonder rust tijd voor de vloeistof.

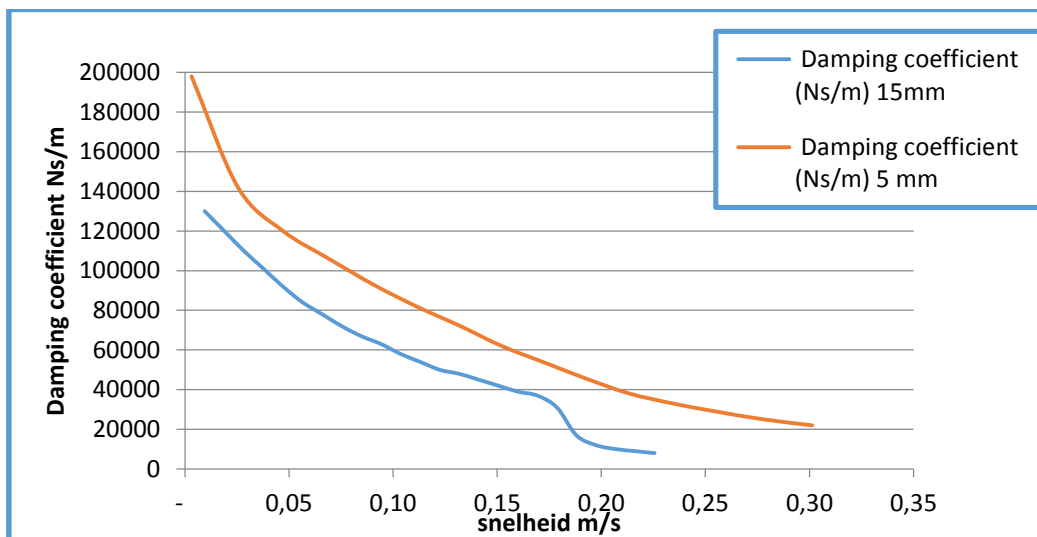


Grafiek 1: Onderzoek test 1

De dempingscoëfficiënten lopen in elkaar over wanneer de demping tegenover de snelheid wordt uitgezet. Om overeenkomsten te ontdekken is de test vaker uitgevoerd met verschillende amplitudes. Hierbij werd duidelijk dat bij meer stappen tussen de begin en eind frequenties, de dempingscoëfficiënt sneller daalde. Door minder stappen tussen de frequenties aan te houden kwamen de dempingscoëfficiënten van verschillende amplitudes dichter bij elkaar te liggen. Hierdoor was de test eis van het aantal meetstappen vastgesteld.

Nadat de stappen tussen de frequenties was aangepast kwam de dempingscoëfficiënt nog steeds niet overeen bij dezelfde snelheid. Er blijft een verschil tussen de twee grafieken. Dit is te zien in grafiek 2. In grafiek 2 zijn twee testen te zien met een amplitude van 5mm en 15mm. De test is meteen na elkaar uitgevoerd.

Het verschil tussen de twee grafieken wordt veroorzaakt doordat de bitumen te weinig tijd krijgt om terug te vloeien naar de rust positie. Hierdoor is bij de tweede meting de dempingcoëfficiënt lager dan in de eerste meting. Ook is te zien dat aan het einde van de meting er een snelle verlaging ontstaat bij de dempingcoëfficiënt van de 15mm amplitude. Dit komt ook doordat de bitumen nog niet snel genoeg is terug gevloeid waardoor er minder bitumen is om te dempen.

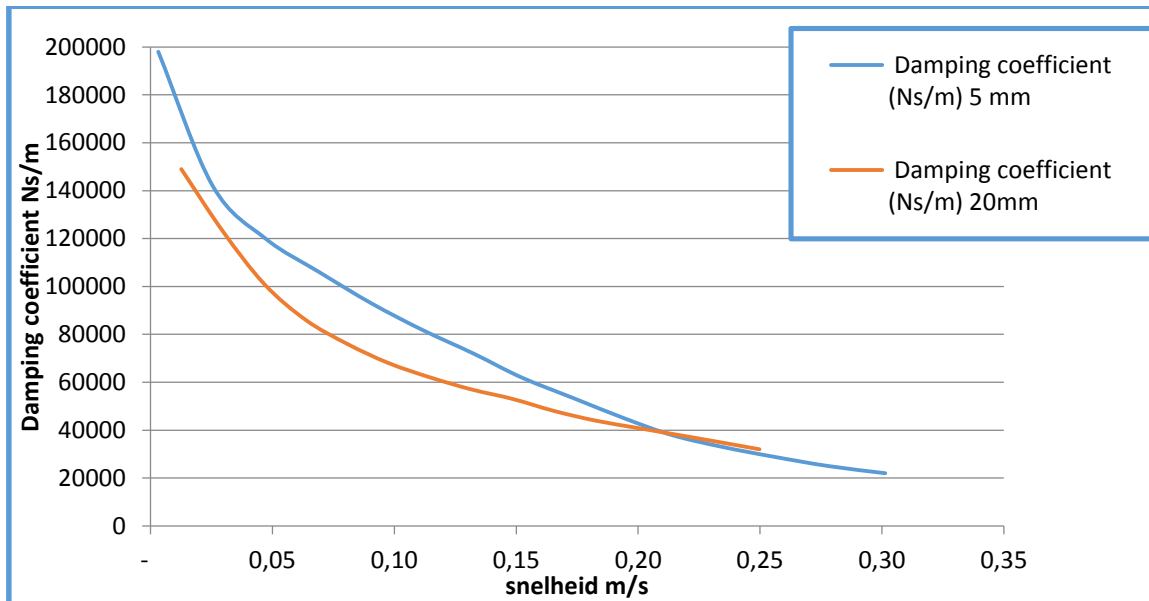


Grafiek 2: onderzoek test 2

Doormiddel van de resultaten van het onderzoek is ontdekt dat tijdens de test de dempingvloeistof niet snel genoeg terug vloeit. De testen zijn te snel achter elkaar uitgevoerd waardoor de demping vloeistof nog niet terug gevloeid was. Hierdoor is de demping lager dan bij een test waarbij de vloeistof al terug is gevloeid. Naast het terug vloeien van de vloeistof is het ook belangrijk hoeveel bewegingen het test programma heeft.

## 8.2 Uiteindelijke test resultaten

Wanneer er meer rekening gehouden wordt met de testeisen is het mogelijk om een gemiddelde demping op te stellen. Verschillende dempingscoëfficiënten die wel aan de eisen voldoen staan in grafiek 3.

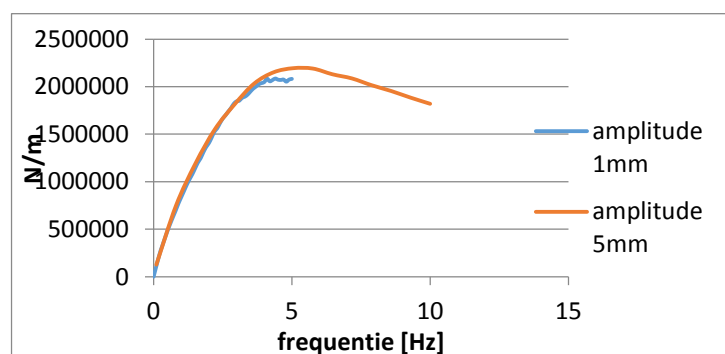


Grafiek 3: Metingen met testeisen

De demping coëfficiënten komen steeds dichterbij elkaar te liggen wanneer er aan de eisen wordt voldaan. Omdat er altijd ongelijkheden bevinden in de vloeistof is het niet mogelijk om altijd op dezelfde dempingscoëfficiënt uit te komen. Daarom wordt er een gemiddelde dempingscoëfficiënt gebruikt voor de DV1.

### Dynamische stijfheid

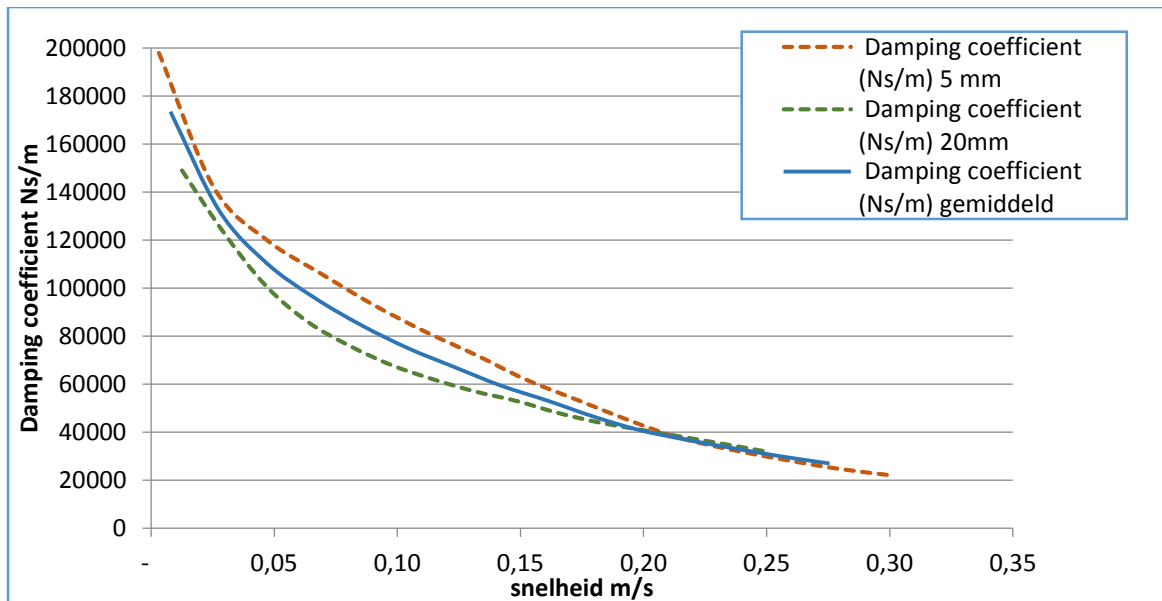
In grafiek is de dynamische stijfheid te zien tegen over de frequentie. Hier is te zien dat bij lage frequenties de stijfheid ook laag is. Bij hogere frequenties wordt de stijfheid van de VDU hoger. Daarna zakt de stijfheid weer doordat de demping vloeistof weg gedrukt is. De dynamische stijfheid is te zien in grafiek 4.



Grafiek 4: dynamische stijfheid

### 8.3 Gemiddelde demping

De gemiddelde demping wordt weergegeven in de grafiek 5. Dit is ook de dempingscoëfficiënt die gebruikt gaat worden voor de toepassing.



Grafiek 5: gemiddelde demping

### 8.4 Testen siliconen vloeistof

Bij een vorig onderzoek is er een nieuwe demping vloeistof besteld voor de VDU. Dit is een siliconen vloeistof van 10 000 centi Stokes. In vergelijking met de bitumen is dit een hele lage viscositeit. Bij een lage viscositeit kan er weinig tegenwerkende kracht vormen. Toch is de test uitgevoerd met dezelfde eisen als in de voorgaande testen en met een DV1. Het was mogelijk om de wacht tijd te reduceren omdat de vloeistof veel sneller naar rust stand toe vloeit.

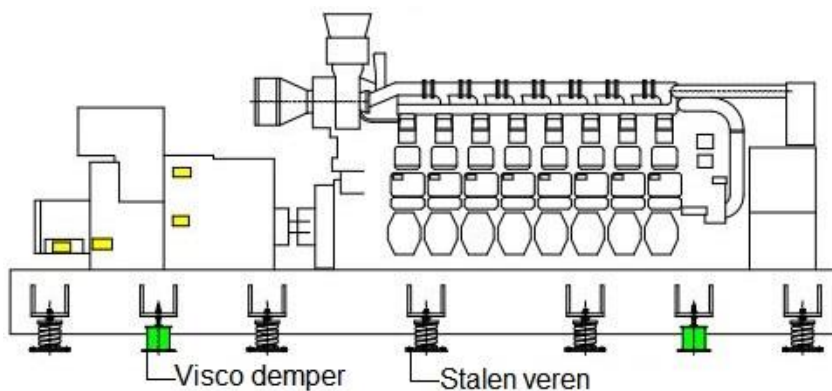
#### 8.4.1 Resultaten siliconen vloeistof.

De dynamische testbank kan krachten meten binnen de 1 en 25 kN meten. Wanneer er een kracht buiten deze metingen vallen is het mogelijk dat de kracht meter een afwijking heeft met de werkelijke waarde. Bij de siliconen vloeistof is er niet boven de 1 kN gemeten. Hierdoor is het niet mogelijk om een dempingscoëfficiënt te bepalen met deze vloeistof.

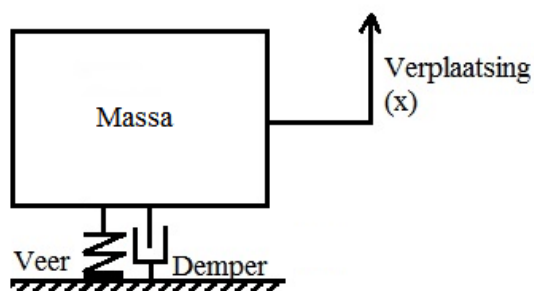
## 9. Toepassing van VDU

De VDU kan in verschillende applicatie worden toegepast. In dit hoofdstuk wordt een veel gebruikte applicatie beschreven en door berekend. De toepassing is een schematische berekening van een generator set in een harmonische trilling. Ook wordt er een schok op het systeem toegepast. Voor de schok wordt een versnelling van een aardbeving gebruikt. De gegevens van aardbevingen staan in bijlage VI De berekeningen worden met en zonder VDU uitgevoerd.

In de praktijk wordt een installatie op stalen veren gezet. Stalen veren hebben een lage dempingscoëfficiënt. Om de demping van het totale systeem te verhogen kan de VDU worden ingezet. In afbeelding 22 is een schematische weergave van generator set op stalen veren en VDU's te zien. Bij een generator set ligt het zwaartepunt niet het midden. Voor de berekening wordt er een massa veer systeem gebruikt, te zien in afbeelding 23



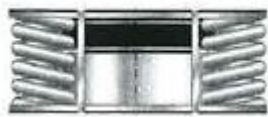
Afbeelding 22: schematische weergave generator set



afbeelding 23: schematische massa veer systeem

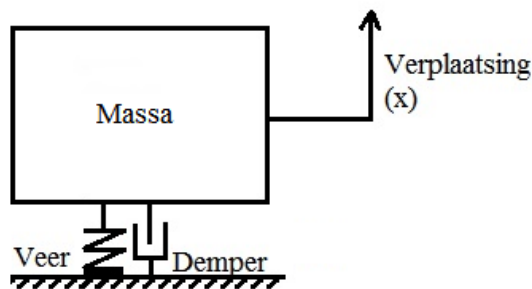
## 9.1 Het model

Het massa veer systeem gebruikt een HDV, dit is een demper die bestaat uit vier veren en een visco demper. De HDV is te zien in afbeelding 24. Voor de visco demper worden de gegevens van een DV1 gebruikt. Naast de berekening van de volledige demper wordt er ook een berekening gedaan zonder DV1. Hierdoor is te zien hoeveel invloed een DV1 op het model heeft. De HDV veer gegevens staan in bijlage V.



afbeelding 24: HDV

De stalenveer van de HDV heeft een veerconstante van 7240 kN/m. Het gewicht op de HDV komt overeen met 110 kN zodat er in beide richtingen een in vering van 15 mm kan plaatsvinden.



In afbeelding 23 is een schematische tekening te zien van het model. In praktijk is de massa een motor die staat te trillen. Doormiddel van een harmonisch trilling grafiek is te zien wat de amplitude van oscillatie is in eigen frequentie.

Ook wordt op het model een versnelling in verticale richting op de massa meegegeven. Hierdoor ontstaat er een verplaatsing in de richting van de kracht. De kracht komt overeen met een aardbeving versnelling. Bij een aardbeving is een versnelling gegeven van 0,26 G. Vanuit de versnelling wordt de kracht berekend. Beide berekeningen worden zowel met als zonder demper berekend.

De gegevens van het model:

|                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| Massa per HDV:               | 110000 Newton, 11213 kg |
| Veerconstante                |                         |
| (K, verticaal)               | 7240000 N/m             |
| (K, horizontaal)             | 2464000 N/m             |
| Versterkingsfactor veer (V): | 25                      |

### 9.1.2 Dempingscoëfficiënt stalen veren

Rubber Design maakt gebruik van de versterkingsfactor. Vanuit de versterkingsfactor is de dempingratio te berekenen. Doormiddel van de dempingratio en de kritische demping wordt de dempingscoëfficiënt bepaald. Dit gebeurt als volgt:

$$\tan(\delta) = \frac{1}{v}$$

$$\tan(\delta) = \frac{1}{25}$$

$$\zeta = \frac{\tan(\delta) * \pi}{2 * \pi}$$

$$\zeta = 0,02$$

Hierna wordt de kritische demping berekend:

$$C_{crit} = 2 * \sqrt{K * m}$$

$$C_{crit} = 569849,5 \text{ Ns/m}$$

Met de kritische demping en de ratio is de demping van een veer te bepalen:

$$\zeta = \frac{C_{demp}}{C_{crit}}$$

$$0,02 = \frac{C_{demp}}{569849,5}$$

$$C_{demp} = 11397 \text{ Ns/m}$$

De dempingscoëfficiënt van de HDV zonder DV1 komt overeen met 11397 NS/m.

### 9.1.3 Dempingscoëfficiënt DV1

De dempingscoëfficiënt van de DV1 is afhankelijk van de snelheid. Bij beide berekeningen wordt daarom andere dempingscoëfficiënt aangehouden. Bij een harmonische trilling is de amplitude vaak zo laag dat het onmogelijk is om hoge snelheden te bereiken. Daarom wordt hiervoor een snelheid aangehouden tussen de 0,034 en 0,081 m/s. Hierbij is de dempingscoëfficiënt gemiddeld 106 334 Ns/m.

Bij een schok is een grotere amplitude mogelijk en dus ook hogere snelheden. De schok komt overeen met een aardbeving van een acceleratie van 0,26 g. Bij deze versnelling kan de snelheid van de trilling tussen de 0,16 en 0,31 m/s liggen. Hierbij is de dempingcoëfficiënt gemiddeld 38 375 Ns/m.

De gemiddelde dempingscoëfficiënten doormiddel van het aardbeving onderzoek verwerkt tussen bepaalde snelheden. Dezelfde dempingscoëfficiënt wordt gebruikt voor het model. In bijlage VI is het onderzoek over aardbevingen te vinden.

## 9.2 Harmonische trilling

Motoren bestaan uit verschillende bewegende onderdelen. Hierdoor is er vaak een onbalans in de motor. Bij een systeem met onbalans komt een harmonische trilling voor. Op het massa veer systeem wordt ook een harmonische trilling gesimuleerd. Hierin wordt de massa steeds aangestoten met een kracht in een frequentie. Als voorbeeld wordt er voor de aanstoting een kracht van 15 kN gebruikt.

Voor de berekening van de trilling wordt een verhouding gebruikt tussen de frequentie en de eigenfrequentie. De amplitude wordt ook gegeven in een verhouding van veerconstante en de kracht van onbalans, te zien in grafiek 6.

De formule voor de harmonische trilling:

$$\frac{XK}{F} = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2)^2 + (2\zeta \frac{\omega}{\omega_n})^2}}$$

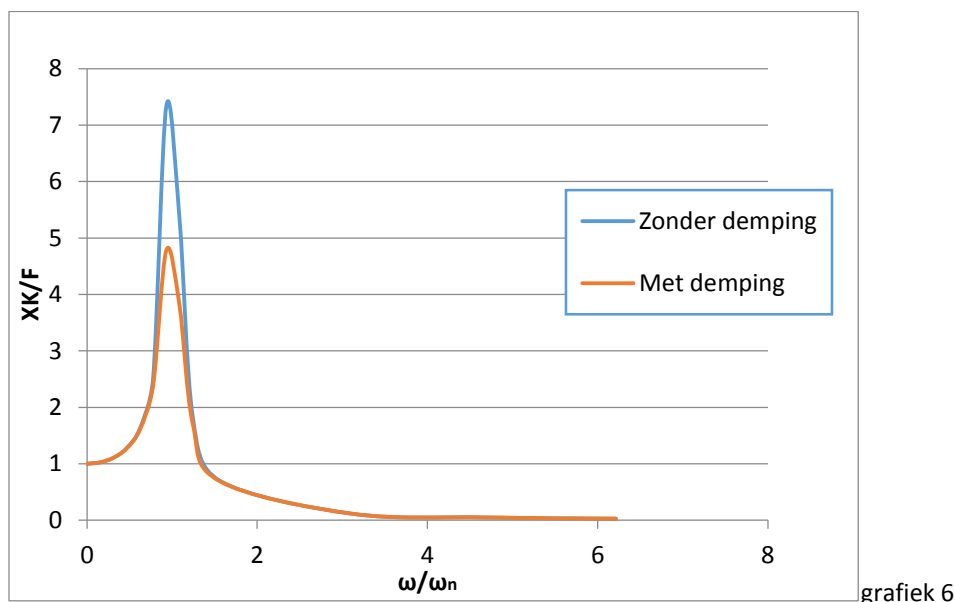
X is de amplitude van oscillatie

K is de veerconstante in N/m

F is de onbalans kracht in N

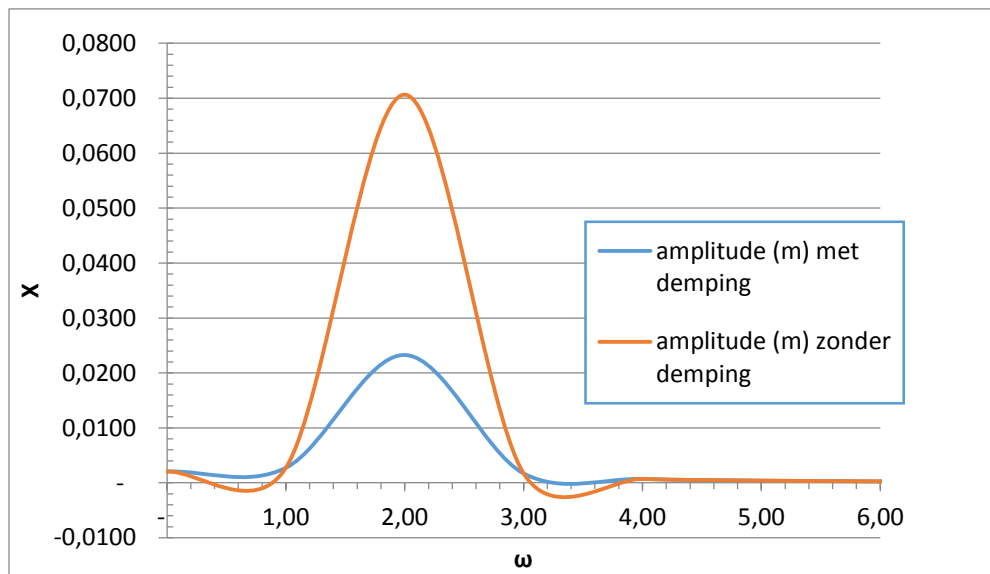
$\omega$  is de trilling snelheid in rad/s

$\omega_n$  is de eigenfrequentie snelheid in rad/s



Door de formule om te schrijven is het mogelijk om alleen de amplitude van oscillatie te berekenen. Te zien in grafiek 7. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$X = \frac{F}{\sqrt{(K - m\omega^2)^2 + (C_{demp}\omega)^2}}$$



grafiek 7

### 9.3. schok berekening

Bij de schok berekening wordt er gebruik gemaakt van een vrije trilling in een richting. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$m\ddot{x} + C_{demp}\dot{x} + Kx = F$$

$m$  is de massa [kg]

$\ddot{x}$  is de tweede afgeleide van de afstand in de tijd [ $m/s^2$ ]

$\dot{x}$  is de eerste afgeleide van de afstand in tijd [ $m/s$ ]

$x$  de afstand [m]

$F$  de kracht [N]

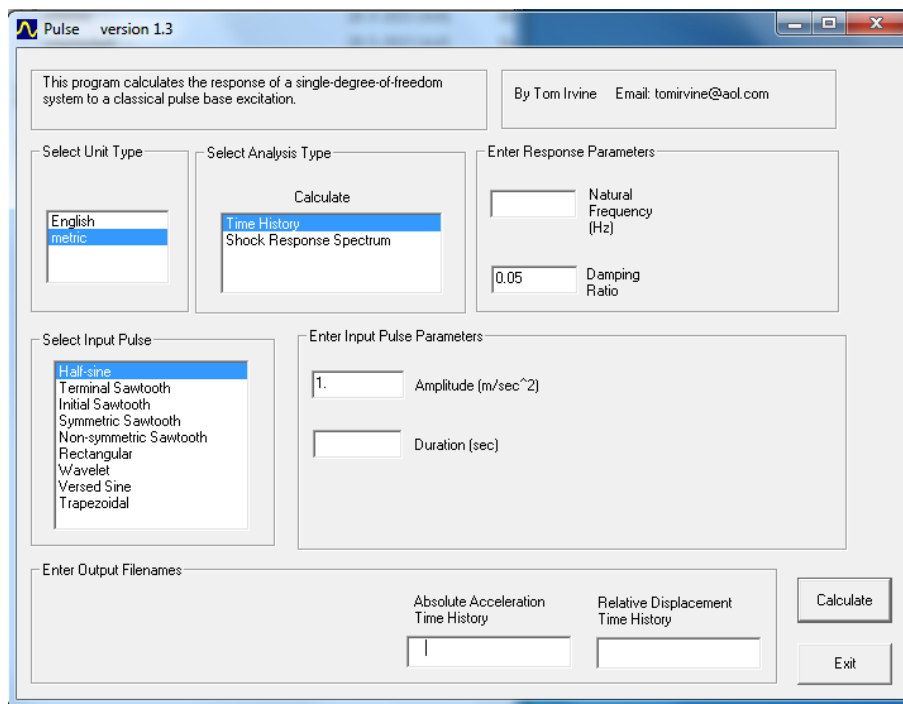
De kracht op de massa wordt berekend door middel van de volgende formule:

$$F = m * a$$

$a$  is hierbij de versnelling van de aardbeving in  $m/s^2$

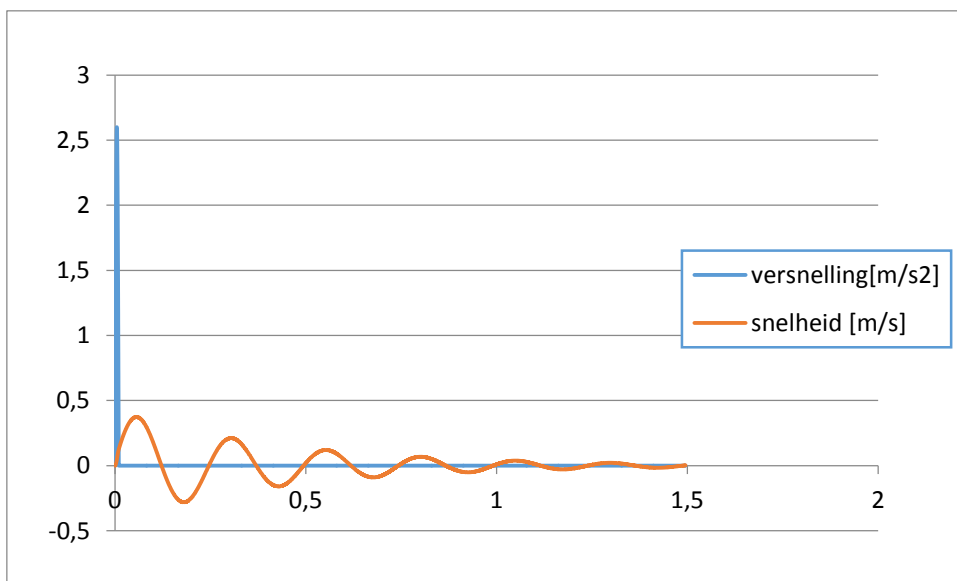
Dit komt overeen met een differentiaal vergelijking. Dit soort vergelijkingen zijn goed op te lossen doormiddel van Simulink of Matlab. Bij Rubber Design komen dit soort berekeningen vaker voor, daarom is er al een programma ontwikkeld die dit soort berekeningen kan uitvoeren. Dit is het programma Pulse.

Bij het Pulse programma kan de eigenfrequentie en dempingratio worden ingevuld. Ook wordt er een versnelling met een bepaalde tijd gevraagd. Het pulse programma is te zien in afbeelding 25.

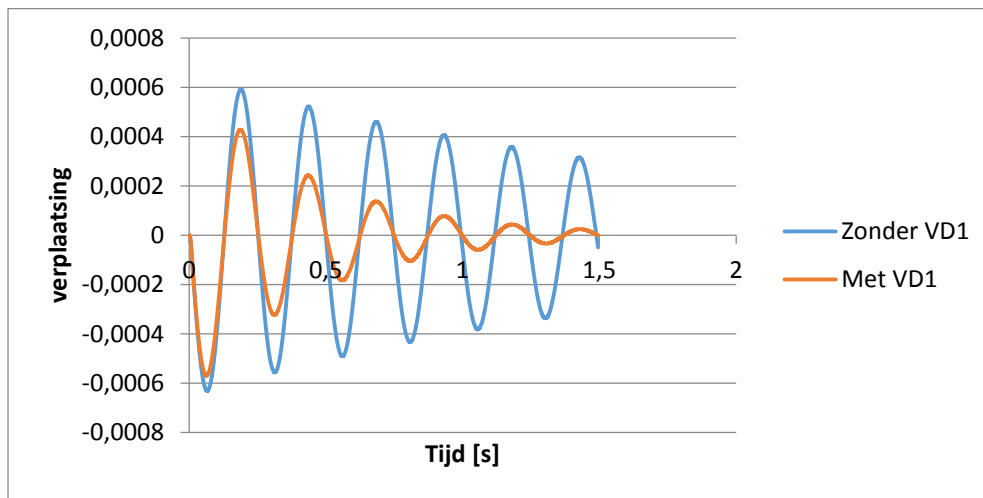


Afbeelding 25: pulse programma

Er wordt gebruik gemaakt van een versnelling van  $2,6 \text{ m/s}^2$ . De versnelling wordt in 0,01 seconde bereikt. Er is een plot van de versnelling en snelheid gemaakt in grafiek 8.



grafiek 8



grafiek 9

In de grafiek 9 is de verplaatsing van de generator set te zien. Hierbij is duidelijk een verschil te zien tussen de HDV met en zonder DV1 bij een schok. Wanneer er een DV1 wordt toegepast is de schok sneller uit getrild.

## 10. Conclusie en aanbeveling

De werking van de VDU is doormiddel van een onderzoek vastgesteld. Er is een testmethode opgesteld om de eigenschappen te bepalen van de DV1. Hetzelfde principe van testen kan gebruikt worden om de andere VDU's te analyseren. Er is een horizontale test beschrijving ontwikkeld om de horizontale eigenschappen te bepalen. Voor de horizontale test zijn verschillende bedrijven gecontacteerd. Naast de dynamische test is ook een test beschreven om de dempingscoëfficiënt te meten doormiddel van een harmonische trilling. Voor deze test was helaas te weinig tijd tijdens de afstudeerstage. Naast het bepalen van de eigenschappen is ook een nieuwe dempingvloeistof aanbevolen. Dit is een siliconen vloeistof met een viscositeit van 1000 000 cSt. Uiteindelijk is met de eigenschappen van de DV1 een berekening gemaakt van een motor opstelling. Hierbij is duidelijk te zien dat de VDU voor hogere damping zorgt. Ook wordt de amplitude van oscillatie verkleind door het toepassen van de VDU.

## Competenties

Bij het afstuderen behoren een aantal competenties met taakrollen die vervuld moeten worden door de student. De competenties bestaan uit 9 beroep specifieke en 6 algemene hbo competenties. Er moeten minimaal 2 taakrollen worden vervuld tijdens het afstudeer traject.

| taakrollen                                            |                                                                                                             | onderzoeker | ontwerper | adviseur | beheerder | projectleider | ondernemer |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------|-----------|---------------|------------|
| <b>competentieset werktuigbouw &amp; hbo algemeen</b> |                                                                                                             |             |           |          |           |               |            |
| <b>nr.</b>                                            | <b>competenties werktuigbouwkunde</b>                                                                       |             |           |          |           |               |            |
| 1                                                     | projectmanagement uitvoeren (organiseren, plannen, uitvoeren, verslag opstellen)                            | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 2                                                     | een onderzoeksopdracht uitvoeren                                                                            | 3>          |           | 3>       |           |               |            |
| 3                                                     | het kunnen opstellen van productdefinitie, pva en pve voor een duurzaam product of proces                   | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 4                                                     | het realiseren van een functioneel duurzaam product of voortbrengingsproces                                 |             | 3>        |          |           |               | 3>         |
| 5                                                     | het realiseren van een detailontwerp voor een duurzaam product of voortbrengingsproces                      |             | 3>        |          |           |               | 3>         |
| 6                                                     | het realiseren van een prototype/model van een duurzaam product of voortbrengingsproces                     |             | 3>        |          |           |               | 3>         |
| 7                                                     | het voorbereiden van een voortbrengingsproces                                                               |             |           | 3>       |           | 3>            | 3>         |
| 8                                                     | het produceren van een duurzaam product                                                                     |             |           |          |           | 3>            | 3>         |
| 9                                                     | het beheren of onderhouden van een product of proces                                                        |             |           | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| <b>nr.</b>                                            | <b>algemene hbo competenties</b>                                                                            |             |           |          |           |               |            |
| 10                                                    | kritisch handelen (analytisch en probleemoplossend vermogen en het onderbouwen van keuzen, oordeelsvorming) | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 11                                                    | systematisch een probleem aanpakken (creatieve, plan- en projectmatige werkhouding)                         | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 12                                                    | samenwerken (sociaal communicatieve vaardigheden)                                                           | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 13                                                    | persoonlijke en professionele ontwikkeling                                                                  | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 14                                                    | zelfverantwoordelijk werken                                                                                 | 3>          | 3>        | 3>       | 3>        | 3>            | 3>         |
| 15                                                    | kunnen functioneren in een internationale en/of multiculturele context                                      |             |           |          |           |               |            |

evt. aanpassen

verplicht

De competentie set onderzoeksopdracht uitvoeren en het opstellen van een product definitie is van toepassing voor mijn afstudeeropdracht. Hierbij zijn de taakrollen onderzoeker en adviseur aan bod gekomen. Naast de werktuigbouw competentie set zijn alle algemene HBO competenties tijdens de afstudeeropdracht voorgekomen.

Voor het project moet er veel onderzoek verricht worden als het gaat over de werking van dempers. Zelfs bij de TNO werd verteld dat het een lastig onderwerp is. Vooral de soort demper waarmee gewerkt wordt is een uitzonderlijk geval. Omdat er onvoldoende kennis over de VDU binnen het bedrijf was, is het onderzoek zelfstandig uitgevoerd.

| Taakrol: onderzoeker |        |             |         |  |
|----------------------|--------|-------------|---------|--|
|                      | Geleid | Zelfstandig | Sturend |  |
| Simpel               | 1      | 2           | 3       |  |
| Lastig               | 2      | 3           | 4       |  |
| Complex              | 3      | 4           | 5       |  |

Met het onderzoek wordt een advies gegeven. Dit advies komt vanuit de onderzoeken en opgebouwde kennis van de VDU. De stage begeleider werd tijdens de afstudeer periode geadviseerd over de VDU.

| Taakrol: adviseur |         |        |             |         |
|-------------------|---------|--------|-------------|---------|
|                   |         | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|                   | Simpel  | 1      | 2           | 3       |
|                   | Lastig  | 2      | 3           | 4       |
|                   | Complex | 3      | 4           | 5       |

Vanuit een product is een product definitie en toepassing ontwikkeld doormiddel van een zelfstandig onderzoek.

| Taakrol: onderzoeker |         |        |             |         |
|----------------------|---------|--------|-------------|---------|
|                      |         | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|                      | Simpel  | 1      | 2           | 3       |
|                      | Lastig  | 2      | 3           | 4       |
|                      | Complex | 3      | 4           | 5       |

## Bibliografie

B. Johnkutty, R. V. (2012). *High viscous dampers for controlling seismic response of piping systems*. India: Department of mechanical engineering.

Clearco. (n.d.). *Pure silicone super high viscosity*. Retrieved from <http://www.clearcoproducts.com/pure-silicone-super-high-viscosity.html>

Constantionou, M., & Symans, M. (1992). *Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers*. National center for earthquake engineering research (NCEER).

European committee for standardization. (2009). *Bitumen and bituminous binders — Specifications for paving grade bitumens*. Brussels: European committee for standardization.

Gerb GmbH. (2010). *specific issues for seismic performance of power plant equipment*. Berlin: Ernst & sohn.

Gerb. (sd). *vibration control of piping systems*. Germany: Gerb.

Hibbeler, R. (2007). *Mechanica voor Technici: Dynamica* (2de editie ed.). Amsterdam: Pearson Education Benelux bv.

International code council. (1997). *Uniform building code*. Californië: International code council.

López, I., Busturia, J., & Nijmeijer, H. (2003). Energy dissipation of a friction damper. *Journal of sound and vibration*(278), 1-23.

Macioce, P. (2002). *Viscoelastic damping 101*. Roush industries Inc.

makris, N. (2014). *Fractional derivative maxwell model for viscous dampers*. University of notre dame.

Mohan D. Rao, S. G. (2001). *Measurement of Dynamic parameters of automotive exhaust hangers*. Society of automotive engineers, inc.

Nuclear safety standards commission (KTA) . (2011). *KTA 3205.3 component support structures with non integral connections part 3*. Germany : KTA.

Nynas. (2012). *veilig omgaan met bitumen*. UK: Hesketh design limited.

Reinsch, D. E. (sd). *advantages of viscodampers for npps uprading*. Berlin, Germany: Gerb & Co, KG. .

standard, I. (2005). *ISO 4664-1 rubber, vulcanized or thermoplastic determination of dynamic properties*. International standard.

Symans, M., & Constantinou, M. (1997). Seismic testing of a building structure with a semi-active fluid damper control system. *Earthquake engineering and structural dynamics*(Vol. 26).

Symans, M., & Constantinou, M. (1998). Passive fluid viscous damping systems for seismic energy dissipation. *ISET journal of earthquake technology.*, 4(35), 185-206.

Thomson, W. T. (1981). *Theory of vibration with applications*. London: George Allen & Unwin LTD.

University of colorado. (sd). 22. *Modal Analysis of MDOF Forced Damped Systems*. Van <http://www.colorado.edu/engineering/CAS/courses.d/Structures.d/IAST.Lect22.d/IAST.Lect22.pdf>



## Bijlage I: Technische tekening DV1

INDUSTRIEWEG 21  
POSTBUS  
2995 ZG HEERJANS DAM  
HOLLAND  
TEL. +31 (0)78 6778778  
FAX +31 (0)78 6771038



**Rubber Design**  
vibration and noise control



## Bijlage II: Afmetingen VDU

INDUSTRIEWEG 21  
POSTBUS  
2995 ZG HEERJANS DAM  
HOLLAND  
TEL. +31 (0)78 6778778  
FAX +31 (0)78 6771038



**Rubber Design**  
vibration and noise control



## Bijlage III: Dynamische testbank gegevens

INDUSTRIEWEG 21  
POSTBUS  
2995 ZG HEERJANS DAM  
HOLLAND  
TEL. +31 (0)78 6778778  
FAX +31 (0)78 6771038



**Rubber Design**  
vibration and noise control



## Bijlage IV: Horizontale test

INDUSTRIEWEG 21  
POSTBUS  
2995 ZG HEERJANS DAM  
HOLLAND  
TEL. +31 (0)78 6778778  
FAX +31 (0)78 6771038



**Rubber Design**  
vibration and noise control



## Bijlage V: HDV eigenschappen

INDUSTRIEWEG 21  
POSTBUS  
2995 ZG HEERJANS DAM  
HOLLAND  
TEL. +31 (0)78 6778778  
FAX +31 (0)78 6771038



**Rubber Design**  
vibration and noise control



## Bijlage VI: Onderzoek aardbevingen

INDUSTRIEWEG 21  
POSTBUS  
2995 ZG HEERJANS DAM  
HOLLAND  
TEL. +31 (0)78 6778778  
FAX +31 (0)78 6771038



**Rubber Design**  
vibration and noise control



## Bijlage VII: Poster